

Территория NDT

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЖУРНАЛ ПО НЕРАЗРУШАЮЩЕМУ КОНТРОЛЮ

3, 2015

июль – сентябрь (15)

15-я Юбилейная международная выставка
сварочных материалов, оборудования
и технологий

6–9 октября
2015 года

Москва, КВЦ «Сокольники»

weldex
россварка



Получите билет
www.weldex.ru



Организатор:
Группа компаний ITE
Тел.: +7 (495) 935 81 00
E-mail: weldex@ite-expo.ru

Официальная поддержка:



Российское
научно-техническое
сварочное общество



European Welding Association



ММАГСИ



Генеральный информационный партнер:

Журнал
«Сварочное производство»



СОВМЕСТНЫЙ ПРОЕКТ ОДИННАДЦАТИ НАЦИОНАЛЬНЫХ ОБЩЕСТВ ПО НЕРАЗРУШАЮЩЕМУ КОНТРОЛЮ



GERMAN
SOCIETY FOR
NON-DESTRUCTIVE
TESTING

EXCLUSIVE SPONSOR

OLYMPUS®

19th WCNDT 2016



World Conference on Non-Destructive Testing

June 13 – 17

Servus and hello!
Don't forget
your Lederhose...
See you in



MUNICH



CONFERENCE – EXHIBITION – POSTER SHOW – NETWORKING
www.wcndt2016.com



27–29.10.2015

МОСКВА, КРОКУС ЭКСПО



www.testing-control.ru

12-я Международная выставка испытательного
и контрольно-измерительного оборудования

Testing & Control

Организатор:



Группа компаний ITE
+7 (495) 935 7350
control@ite-expo.ru

**ВОТ УЖЕ 20 ЛЕТ МЫ ПРЕДЛАГАЕМ ВАМ
ТОЛЬКО ЛУЧШЕЕ. ТЕПЕРЬ И**



ОПТИКО-ЭМИССИОННЫЕ АНАЛИЗАТОРЫ

SPECTROLAB



ISORT

SPECTRO TEST



ВЫСТАВКА СРЕДСТВ
И ТЕХНОЛОГИЙ НК

ОТРАСЛЕВЫЕ
КРУГЛЫЕ СТОЛЫ
«НК В ПРОМЫШЛЕННОСТИ»



2–4 МАРТА 2016, МОСКВА

ЕЖЕГОДНЫЙ ВСЕРОССИЙСКИЙ ФОРУМ ПО НЕРАЗРУШАЮЩЕМУ КОНТРОЛЮ

Организатор	Российское общество по неразрушающему контролю и технической диагностике (РОНКТД)
Место проведения	Москва, «Экспоцентр» на Красной Пресне Павильон №3
Деловая программа	Серия научно-практических семинаров по актуальным вопросам применения НК в промышленности
Участники	Более 130 компаний Разработчики и поставщики оборудования Сервисные компании Учебные и сертификационные центры Специализированные издания Национальные общества НК
Посетители	Более 3000 экспертов и специалистов авиационной, атомной, химической и нефтехимической, нефтяной, газовой, металлургической и многих других отраслей
On-line бронирование выставочной площади	www.expo.ronktd.ru

на правах рекламы



2 – 4 МАРТА 2016, «ЭКСПОЦЕНТР» НА КРАСНОЙ ПРЕСНЕ

www.expo.ronktd.ru

info@ronktd.ru



Вихретоковый дефектоскоп
OmniScan ECA с матричным
преобразователем.

ВИХРЕТОКОВЫЙ КОНТРОЛЬ. РЕШЕНИЯ.

Компания Olympus имеет широкую линейку оборудования для классического и матричного вихретокового контроля. Наши дефектоскопы позволяют решать широкий круг задач: от контроля сварных швов до коррозионного мониторинга. Вихретоковые матрицы выявляют любые несплошности, такие как поры, трещины, расслоения и коррозионные повреждения. Дефектоскопы компании Olympus отличаются высоким качеством, универсальностью, их практической направленностью и простотой использования.

Классические и матричные вихретоковые дефектоскопы.



OmniScan ECA

OmniScan EC

Nortec 600

Вихретоковые преобразователи и
калибровочные образцы

Внутритрубный контроль



MultiScan MS5800

Вихретоковый дефектоскоп для
контроля бойлерных труб и
теплообменников

Детальная информация - на olympus-ims.com

ООО ОЛИМПАС МОСКВА

107023 Россия, г. Москва, ул.Электrozаводская, д.27 стр.8

Тел : (495) 956-66-91

e-mail : industrial.oms@olympus-europa.com

Территория NDT

СОДЕРЖАНИЕ

№3 (июль – сентябрь), 2015

Главный редактор
Клюев В.В. (Россия, академик РАН)

Заместители главного редактора:
Троицкий В.А.
(Украина, президент УО НКД)
Клейзер П.Е. (Россия)

Редакционный совет:
Азизова Е.А.
(Узбекистан, председатель УзОНК)
Аугутис В. (Литва)
Клюев С.В.
(Россия, вице-президент РОНКТД)
Кожаринов В.В.
(Латвия, президент LNTB)
Маммадов С.
(Азербайджан, президент АОНК)
Миховски М.
(Болгария, президент BSNT)
Муравин Б.
(Израиль, зам. президента
INA TD&CM)
Ригишвилли Т.Р.
(Грузия, президент GEONDT)
Зайтова С.А.
(Казахстан, президент КАНКТД)
Ткаченко А.А.
(Молдова, президент НОНКТД РМ)

Редакция:
Агапова А.А.
Клейзер Н.В.
Сидоренко С.В.
Чепрасова Е.Ю.

Адрес редакции:
119048, Москва, ул. Усачева, д. 35, стр. 1,
ООО «Издательский дом «Спектр»,
редакция журнала «Территория NDT»
[Http://www.tndt.idspekt.ru](http://www.tndt.idspekt.ru)
E-mail: tndt@idspekt.ru
Телефон редакции +7 (499) 393-30-25

Журнал зарегистрирован в Федеральной
службе по надзору в сфере связи, ин-
формационных технологий и массовых
коммуникаций (Роскомнадзор). Свидетель-
ство о регистрации средства массовой ин-
формации ПИ № ФС77-47005

Учредители:
ЗАО Московское научно-производственное
объединение «Спектр»
(ЗАО МНПО «Спектр»);
Общероссийская общественная органи-
зация «Российское общество по неразруша-
ющему контролю и технической диагнос-
тике» (РОНКТД)

Издатель:
ООО «Издательский дом «Спектр»,
119048, Москва, ул. Усачева, д. 35, стр. 1
[Http://www.idspekt.ru](http://www.idspekt.ru)
E-mail: info@idspekt.ru
Телефон +7 (495) 514 76 50

Корректор Смольянина Н.И.
Компьютерное
макетирование Смольянина Н.И.
Сдано в набор 27.06.2015
Подписано в печать 05.08.2015
Формат 60x88 1/8.
Бумага офсетная. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 8,93. Уч.-изд. л. 8,46.
Заказ Тираж 5300 экз.

Оригинал-макет подготовлен
в ООО «Издательский дом «Спектр».
Отпечатано в ОАО «Подольская фабрика
офсетной печати»,
142100, Московская область, г. Подольск,
Революционный проспект, д. 80/42

НОВОСТИ

- Сясько В.А.** Отчет о работе круглого стола РОНКТД «Контроль качества нанесения покрытий» на 18-м Международном форуме «Защита от коррозии 2015» 4
- Зайтова С.А.** NDT Kazakhstan: выставка и конференция 2015 года 5
- Дни неразрушающего контроля 2015 в Болгарии** 6

ВЫСТАВКИ, СЕМИНАРЫ, КОНФЕРЕНЦИИ

- 11-й Московский** международный инновационный форум
«Точные измерения – основа качества и безопасности 2015» 8
- Клюев В.В., Артемьев Б.В., Матвеев В.И.**
Преобразователи и устройства для НК на «Фотоника – 2015» 10
- Кузелев Н.Р., Матвеев В.И.** VII Международный форум «Атомэкспо-2015» 14

МЕТОДЫ, ПРИБОРЫ, ТЕХНОЛОГИИ

- Панков В.В., Померанцев Д.С.**
Контроль стресс-коррозии с помощью вихретоковых матриц 18
- Борисков Ю.В.** Вихретоковые матрицы для контроля углеродистых сталей 20
- Киселев А.В., Хадиев Р.З., Белов Д.А.** Повышение эксплуатационной надежности технологического оборудования ЗАО «Сибур-Химпром» путем внедрения системы TesTex для сплошного сканирования трубопроводов 26
- Ефимов А.Г., Бакунов А.С., Шубочкин А.Е.** Применение вихретоковых средств неразрушающего контроля в промышленности 32
- Лунин В.П., Жданов А.Г.** Алгоритмическое обеспечение систем обработки данных вихретокового контроля труб парогенераторов АЭС 40
- Дубов А.А.** Контроль напряженно-деформированного состояния рельсового пути – недостающее звено в обеспечении безопасности движения поездов 47
- Богомолов И.А.** Измерения размеров дефектов с помощью ультразвукового дефектоскопа Harfang Prisma UT 52
- Троицкий В.А.** Разнонаправленное локальное намагничивание металлоконструкции при магнитопорошковом контроле 56

ОТЧЕТ О РАБОТЕ КРУГЛОГО СТОЛА РОНКТД «КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ» НА 18-м МЕЖДУНАРОДНОМ ФОРУМЕ «ЗАЩИТА ОТ КОРРОЗИИ 2015»



19–22 мая 2015 г. в Санкт-Петербурге, в Конгрессно-выставочном центре «ЭКСПОФОРУМ», состоялся ведущий отраслевой Форум инновационных решений противокоррозионной защиты в промышленности — 18-я Международная выставка-конгресс «Защита от коррозии 2015».

В рамках выставки 21 мая 2015 г. Российским обществом по неразрушающему контролю и технической диагностике был проведен круглый стол на тему «Контроль качества нанесения покрытий». В работе круглого стола участвовали более 20 ведущих специалистов по антикоррозионной защите предприятий машиностроения, судостроения, автомобилестроения и прочих отраслей, в том числе специалисты региональных подразделений ОАО «Газпром».

Модератор круглого стола — профессор кафедры приборостроения минерально-сырьевого университета «Горный» д-р техн. наук В.А. Сясько выступил с докладом «Перспективные методы и приборы бесконтактного измерения толщины покрытий на производстве», в котором рассказал о современных исследованиях и разработках отечественных и зарубежных компаний. В докладе рассмотрены теоретические и практические вопросы применения рентгенофлуоресцентного, радиационного бета-отра-

жения, вихретокового фазового и активного синхронного теплового методов и современного и перспективного оборудования на их базе в производственных условиях для бесконтактного измерения толщины металлических и диэлектрических покрытий.

Генеральный директор ООО «НДТ-Маркет» Е.Н. Шаповал представил участникам актуальную информацию о современных электромагнитных толщиномерах защитных покрытий. В его сообщении подробно проанализированы технические характеристики оборудования ведущих производителей электромагнитных толщиномеров: Elcometer, ElectroPhysik, Phynix, Helmut Fischer, List Magnetik, «Константа», Oxford Instruments, Defelsko, Time Group.

Доклад генерального директора ООО «К-М» Е.Н. Пилатова «Методы комплексного контроля качества лакокрасочных покрытий» был посвящен современным методам контроля лакокрасочных покрытий и материалов на их основе. В нем дан обзор действующих в РФ стандартов по методам и приборам контроля, а также сертифицированного оборудования, отвечающего их требованиям.

Ведущий специалист ООО «КОНСТАНТА» Р.И. Нестерова в докладе «Современное отечественное испытательное оборудование для контроля качества лакокрасочных материалов и покрытий» представила краткий обзор и сравнительную характеристику отечественных приборов и оборудования для контроля наиболее значимых характеристик защитных покрытий и материалов. Автор отметила, что в России около десяти компаний производят приборы и оборудование надлежащего качества, соответствующего требова-

ниям отечественных и международных стандартов.

Директор по инновациям и развитию компании «Аргус Пайплайн Сервис» С. Е. Жаринов выступил с докладом об электроискровых дефектоскопах фирмы BUCKLEY'S. Из доклада и дискуссии следует, что существуют различия между требованиями отечественных и международных стандартов, регламентирующих применение электроискрового метода контроля сплошности защитных покрытий (в частности, ASTM G 62, ASTM D 5162, ISO 2746). Участники круглого стола сделали вывод о необходимости адаптации международных стандартов или разработке соответствующего национального стандарта.

В завершение круглого стола «Контроль качества нанесения покрытий» советник председателя совета директоров «Стилпейнт-Ру. Лакокрасочная продукция» канд. техн. наук. В.М. Мезенов представил обзор новой книги «Защита от коррозии металлических и железобетонных мостовых конструкций методом окрашивания». Авторы (И.Г. Овчинников, А.И. Ликверман, О.Н. Распоров, Е.С. Иванов, В.М. Мезенов, И.И. Овчинников) рассматривают актуальные проблемы продления срока службы металлических и железобетонных конструкций мостовых сооружений. Книга дает полное представление о защите от коррозии металлических и железобетонных конструкций методом окрашивания высокоэффективными современными лакокрасочными материалами.

*Проф. кафедры приборостроения
минерально-сырьевого
университета «Горный»,
д-р техн. наук В.А. Сясько*



NDT KAZAKHSTAN: ВЫСТАВКА И КОНФЕРЕНЦИЯ 2015 ГОДА

В этом году к странам — организаторам специализированных выставок в области неразрушающего контроля присоединился и Казахстан. Совместный проект КАНКТД и казахстанской выставочной компании Itesa был организован оперативно — за два месяца — благодаря огромному опыту проведения аналогичных мероприятий в России. NDT Kazakhstan проходила вместе с другими индустриальными выставками с 7 по 9 апреля 2015 г. в Астане. В выставке приняли участие 16 экспонентов из России, Германии, Арабских Эмиратов, Италии, Чехии в области NDT, стенды которых посетили более двух тысяч специалистов. Более подробная информация представлена на сайте <http://www.ndtexpo.kz/ru/>

Параллельно с выставкой была организована I Международная конференция «Неразрушающий контроль и техническая диагностика», в которой приняли участие 155 человек как представителей бизнес-сообщества, так и потенциальных заказчиков и представителей государственных уполномоченных органов. Программа конференции включала в себя следующие секции и доклады:

- **Секция:** Вопросы законодательного и технического регулирования отрасли неразрушающего контроля и технического регулирования в Республике Казахстан.

Доклады:

«Нормативно-правовое обеспечение деятельности сервисных компаний и вопросы государственных закупок услуг в области неразрушающего контроля и технической диагностики».

С.А. Заитова, ОЮЛ «КАНКТД».
«Техническое регулирование отрасли. Состояние технических регламентов и нормативного обеспечения по применению новых технологий в отрасли. Сертификация персонала».

О.В. Тиванова,

ТК 76 «Неразрушающий контроль и техническая диагностика».

- **Секция:** Приборы неразрушающего контроля.

Доклады:

«Современные тенденции и решения в неразрушающем контроле GE».

А.Л. Степчиков,
ТОО «КПД-НДТ»/GE.

«Мониторинг канатов буровых установок».

О. Потехин, ТОО «КПД-НДТ» / ООО «ИНТРОН ПЛЮС».

«Глобальные тенденции в развитии оборудования НК».

И.А. Любич, ООО «ПЕРГАМ».

«Приборы неразрушающего контроля производства Группы компаний «ИНТЕРЮНИС».

С.В. Елизаров,

ООО «ИНТЕРЮНИС».

- **Секция:** Технологии инструментального обследования.

Доклады:

«Применение геофизических приборов неразрушающего контроля при обследовании строительных конструкций и поиска инженерных сетей».

М. Широбоков,

ТОО «КПД-НДТ» /

Группа компаний «ЛОГИС-ГЕОТЕХ»

«Обследование и диагностика промышленных объектов, применяющих стальные канаты, резинотросовые ленты, стальные резервуары/сосуды».

А.В. Анисимов, ТОО «КПД-НДТ» /

ООО «ИНТРОН ПЛЮС».

«Применение метода магнитной памяти металла при контроле различного оборудования».

А.А. Собранин,

ООО «ЭНЕРГОДИАГНОСТИКА»

- **Секция:** Техническая диагностика и промышленная безопасность.

Доклады:

«Современные методы неразрушающего контроля, применяемые в работе с автоматической сваркой трубопровода».

А.А. Донских,

ТОО «КАЗПРОМДИАГНОСТИКА».

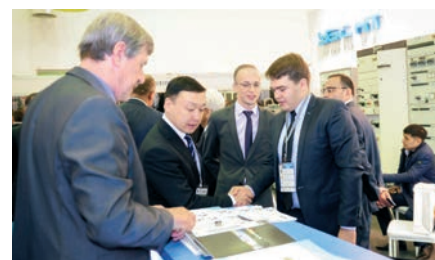
«Волоконно-оптические датчики и системы мониторинга. Технология, опыт применения, перспективы».

Е. Гавронин, ТОО «КПД-НДТ» /

ООО «ИНВЕРСИЯ-СЕНСОР».

Ведущие мировые производители NDT-оборудования и российские разработчики технологий презентовали свои новинки и ответили на вопросы практиков. В ходе конференции компания OLYMPUS передала ОПС-П КАНКТД образцы для проведения аттестации по ультразвуковому контролю (СТ РК ISO 17024-2012 схема СТ РК ISO 9712).

По итогам выставки были подписаны соглашения о совместной дея-



тельности в Республике Казахстан компаний АТГ (Москва) и АСИ — учебный центр Русского Регистра (Санкт-Петербург) с ОЮЛ КАНКТД.

Большой вклад в успех NDT Kazakhstan внес Посол Российской Федерации в Республике Казахстан Михаил Николаевич Бочарников, который принял личное участие в организации деловых контактов заинтересованных сторон.

В 2016 году NDT Kazakhstan пройдет с 26 по 28 апреля в выставочном центре «Корме» Астана.

С.А. Заитова,
президент ОЮЛ «Казахстанская ассоциация неразрушающего контроля и технической диагностики»,
председатель ТК 76 «Неразрушающий контроль и техническая диагностика»,
руководитель ОПС-П КАНКТД

ДНИ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ 2015 В БОЛГАРИИ



С 15 по 19 июня 2015 г. в г. Созополь (Болгария) прошли Дни неразрушающего контроля 2015.

Сопредседателями Дней НК были президенты российского (РОНКТД) и болгарского (ННТДД) обществ по неразрушающему контролю — академик Е.С. Горкунов и д-р техн. наук проф. М. Миховски.

Приветствия были представлены: от РОНКТД, Украинского общества НКТД (д-р техн. наук, проф. В.А. Троицкий), Санкт-Петербургского энергетического института повышения квалификации, Израильского общества неразрушающего контроля (ISRANDT) (президент д-р Й. Шоеф, почетный член ННТДД и почетный председатель ISRANDT г-н Г. Шоеф), от д-ра техн. наук проф. Е. Барканова, руководителя европейского проекта INNOPIPER с участием Болгарии, Литвы, Польши, России, Беларуси и Украины, от Института механики Болгарской академии наук, Технического университета в Варне, почетного члена ННТДД проф. д-ра техн. наук В. Ковтуна (Беларусь).

На открытии Дней НК были вручены следующие награды:

- акад. Е.С. Горкунову (выбраному почетным членом Института меха-

ники БАН) — диплом от имени Института механики Болгарской академии наук;

- маг., инж. Й. Мирчеву — приз ННТДД им. Сл. Попова за вклад в развитие научных исследований и активную работу в Болгарском обществе неразрушающего контроля;
- д-ру техн. наук проф. А. Назарычеву — диплом почетного члена ННТДД;
- д-ру А. Поволоцкой — диплом почетного члена ННТДД;
- маг., инж. В. Борисову — приз почетного члена ННТДД.

В работе Дней НК приняли участие более 220 специалистов из Болгарии, России, Беларуси, Украины, Литвы, Латвии, Румынии, Польши, Македонии, Италии, Хорватии, Сербии.

В научной программе Дней НК в Болгарии было представлено более 135 докладов, которые будут изданы в журнале «Известия Научно-технического общества машиностроения».

В организованной в рамках Дней НК выставке приняли участие 12 фирм, занимающиеся распространением оборудования для неразрушающего контроля, а также фирмы — производители оборудования.

Программа Дней НК 2015 включала в себя:

- 1) XXX Международную конференцию «Дефектоскопия 2015», научные руководители: д-р техн. наук проф. М. Миховски, акад. Э.С. Горкунов;
- 2) XXV молодежную школу «Неразрушающий контроль структуры и физико-механических свойств материалов», научный руководитель доц. д-р Й. Иванова;
- 3) болгаро-русский семинар «Диагностика электроэнергетических систем», научные руководители: доц. д-р Хр. Драганчев, д-р техн. наук проф. А. Назарычев;

- 4) семинар по проекту INNOPIPER, научные руководители: проф. Е. Барканов, проф. М. Миховски;
- 5) круглый стол «Порошковая металлургия»;
- 6) семинар «Иновационные технологии и оборудование для неразрушающего контроля»;
- 7) круглый стол «Развитие стандартизации в области НК»;
- 8) семинар «Проблемы бизнеса»;
- 9) круглый стол «Кластер «Неразрушающий контроль Болгарии»;
- 10) выставка фирм.

Также в рамках программы Дней НК были организованы:

- общее отчетное собрание ННТДД за 2014 г.;
- заседание Технического комитета 24 Болгарского института стандартизации по проблемам стандартизации в неразрушающем контроле;
- заседание экспертов Сертификационного центра сертификации персонала в области неразрушающего контроля;
- рабочая встреча экспертов европейского проекта INNOPIPER;
- заседание правления ННТДД.

На закрытии Дней неразрушающего контроля в Созополе было отмечено, что программа мероприятия была выполнена полностью, а само мероприятие является очередным шагом в развитии неразрушающего контроля в Болгарии.

Дни неразрушающего контроля 2016 г. планируется провести с 6 по 10 июня 2016 г. в Созополе.

ПРИГЛАШАЕМ!

Информация о Днях НК в Созополе на сайте ННТДД: www.bg-s-ndt.org

*Президент ННТДД,
д-р техн. наук, проф.
М. Миховски*



КАЛЕНДАРЬ РУКОВОДИТЕЛЯ

СОБЫТИЕ

✓ Конференция с Международным участием
«Совершенствование и функционирование систем
в области промышленной безопасности», приуроченная
к 20-летию юбилею подразделения «СертиНК»

КТО ПРОВОДИТ?

ФТАУ «НУЦСК при
МГТУ им. Н.Э.Баумана»,
подразделение «СертиНК»

ГДЕ?

Республика Крым, г. Ялта,
Гостиничный комплекс
«Ялта-Интурист»

КОГДА?

В период
с 03.10.15
по 10.10.2015

КТО УЧАСТВУЕТ?

Представители Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору, ОАО «НПЦ «ГБ», ЧАКС, РОЧКПД, руководители эксплуатирующих и экспертных организаций, руководители и экзаменаторы региональных и отраслевых экзаменационных центров, ведущие специалисты ФТАУ «НУЦСК при МГТУ им. Н.Э. Баумана»

ЗАЧЕМ УЧАСТВОВАТЬ?

1. В рамках Конференции будет проводиться обсуждение следующих вопросов:
 - изменения в нормативных правовых актах в области ГБ;
 - новое в аттестации экспертов в области ГБ;
 - порядок проведения оценки профессиональной квалификации на соответствие профессиональному стандарту «Специалист по НК»;
 - изменения в процедуре проведения дополнительной аттестации специалистов НК, осуществляющих работы на объектах ОАО «АК «Транснефть».
2. В период проведения Конференции участникам будет предоставлена возможность подтвердить свою квалификацию в качестве специалистов:
 - НК (аттестация по ГБ 03-440-02);
 - в области технического диагностирования;
 - в области строительного контроля (технического надзора)

ГДЕ УЗНАТЬ ПОДРОБНОСТИ?

Более подробная информация, заявка на участие, программа Конференции на сайте:
www.settink.ru

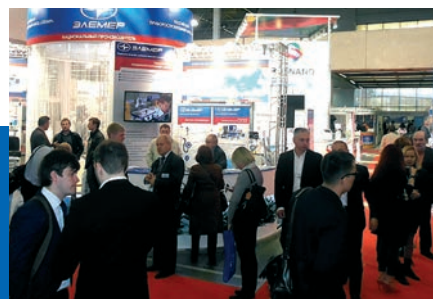
Оператором Конференции является ООО «ТКЕ Инжиниринг»
т/ф. (4922) 778-600, tkeinzhinizing@mail.ru, Карелина Елена Теиновна

РЕШЕНИЕ

Ехать обязательно !



Подразделение «СертиНК» Федерального государственного автономного учреждения «Научно-учебный центр «Сварка и контроль» при МГТУ им. Н.Э. Баумана было создано в 1995г. В настоящее время подразделение оказывает широкий спектр услуг в области подготовки производства по вопросам неразрушающего контроля, технической диагностики и экспертизы промышленной безопасности.



11-й МОСКОВСКИЙ МЕЖДУНАРОДНЫЙ ИННОВАЦИОННЫЙ ФОРУМ «ТОЧНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ – ОСНОВА КАЧЕСТВА И БЕЗОПАСНОСТИ» 2015»

С 19 по 21 мая 2015 г. в Москве, на ВДНХ, успешно завершил работу 11-й Московский международный инновационный форум «Точные измерения – основа качества и безопасности» 2015», приуроченный к Всемирному дню метрологии. Юбилейная дата форума – 90 лет государственной стандартизации.

В рамках форума были проведены пять специализированных выставок:

- средств измерений, испытательного оборудования и метрологического обеспечения «MetrolExpo»;
- средств неразрушающего контроля, технической диагностики и КИПиА «Control&Diagnostic»;
- коммерческого и технологического учета энергоресурсов «ResMetering»;
- измерительного и испытательного лабораторного оборудования «LabEquipment»;
- автоматизированных систем управления технологическими процессами «AutomaticSystem».

Выставочные разделы были сведены в единую профессиональную деловую программу Московского международного симпозиума «Точность. Качество. Безопасность», который включал в себя также Всероссийское совещание метрологов.

Программа симпозиума была оптимально сформирована для содействия конструктивному диалогу между производителями и потребителями приборостроительной продукции и успешной демонстрации достижений инновационной инженерии. Модераторами секционных заседаний и круглых столов были заявле-

ны руководители федеральных министерств, ведомств и учреждений, а также известные российские ученые, внесшие значительный вклад в решение обсуждаемых проблем.



Организатором мероприятий выступили Министерство промышленности и торговли РФ (Минпромторг России) и Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт) при поддержке правительства РФ, международных организаций (BIPM, OIML, CoOMET), под патронажем Торгово-промышленной палаты РФ, при участии: Министерства энергетики РФ (Минэнерго России), Министерства внутренних дел РФ (МВД России), Федерального космического агентства (Роскосмос), Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор), Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом», Государственной корпорации «Ростехнологии», ОАО

«РОСНАНО», ОАО «РЖД», Фонда «Сколково», Союза машиностроителей России и др.

«Точные измерения – основа качества и безопасности» – крупнейший авторитетный общероссийский форум в области приборостроения, на котором представители научно-технического сообщества, власти и бизнеса знакомятся с последними достижениями мирового приборостроения, обсуждают актуальные проблемы, стоящие перед российской промышленностью для обеспечения глобальной конкурентоспособности и полномасштабной интеграции в современный мировой рынок товаров и услуг за счет внедрения инновационных измерительных технологий.

В 2015 г. на площади 6500 м² представили свои экспонаты 306 компаний, в том числе 10 компаний из США, Великобритании, Германии, Италии, Франции, Австрии, Чехии, Японии, Китая и Беларуси. Коллективные экспозиции представили 8 организаций ГК «Росатом», ГК «Ростехнологии», ОАО «РОСНАНО», ОАО «РЖД», МВД России, Ростехнадзор, региональные ЦСМ, метрологические институты. Количество представленных приборов составило 2800.

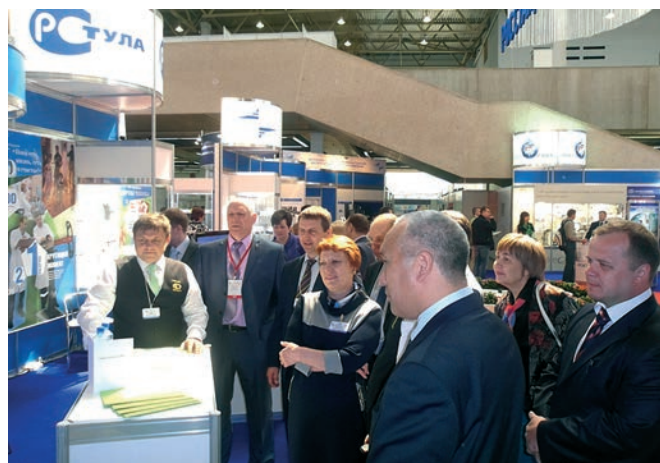
Форум посетило 5150 специалистов. В симпозиуме участвовало 1350 человек. Представлено 86 докладов и презентаций. Лауреатами конкурсной программы «За единство измерений» стали 77 участников.

19 мая на Всероссийском совещании метрологов президиум симпозиума возглавили: зам. руководителя Росстандарта С.С. Голубев, зам. руководителя Федеральной службы по аккредитации С.В. Мигин, зам. директора Департамента государственной политики в области технического регулирования и обеспечения единства измерений Минпромторга России Д.А. Кузнецов, президент организации сотрудничества государственных метрологических учреждений стран Центральной и Восточной Европы КООМЕТ В.Н. Крутиков, вице-президент Метрологической академии Л.К. Исаев, руководитель дирекции форума И.Г. Зимин.

21 мая выставку посетили руководитель Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии А.В. Абрамов и начальник управления административной работы и внешних связей Росстандарта Б.М. Потемкин. Руководитель Росстандарта посетил наиболее интересные экспозиции российских разработчиков и производителей средств измерений и метрологического обеспечения, выставочные стенды национальных метрологических институтов и региональных ЦСМ, а также высоко оценил уровень организации и проведения форума.

Форум завершился торжественной церемонией награждения лауреатов Всероссийской выставочно-конкурсной программы «За единство измерений» за 2015 г., которая проходила на базе конкурсной комиссии ФБУ «Ростест-Москва».

Основная цель конкурса – аттестация приборов и оборудования, относящихся к различным средствам измерений, диагностики, испытаний и аналитики, на соответствие по метрологическим характеристикам и качеству.



В награждении лауреатов приняли участие: зам. директора Департамента государственной политики в области технического регулирования и обеспечения единства измерений Минпромторга России Д.А. Кузнецов, зам. начальника Управления метрологии Росстандарта Е.Р. Лазаренко, руководитель дирекции форума И.Г. Зимин, директор выставки А.Б. Пучков.

Конкурсная комиссия на основании заключений экспертного центра постановила наградить: Знаком качества по одной из пяти номинаций 26 средств измерений, Золотой медалью выставки – по 43 номинациям, Платиновой медалью выставки – по 7 номинациям.

Памятные дипломы были вручены 37 региональным ЦСМ и 8 национальным метрологическим институтам, принявшим непосредственное участие в выставочной экспозиции форума.

Официальный сайт форума: www.metrol.expoprom.ru

По материалам, предоставленным организаторами

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ И УСТРОЙСТВА ДЛЯ НК НА «ФОТОНИКА – 2015»



КЛЮЕВ
Владимир Владимирович
Академик РАН



АРТЕМЬЕВ
Борис Викторович
Д-р техн. наук, проф.



МАТВЕЕВ
Владимир Иванович
Канд. техн. наук

ЗАО «НИИИИ МНПО «Спектр», Москва

10-я юбилейная Международная специализированная выставка лазерной, оптической и оптоэлектронной техники прошла в ВК «ЭкспоЦентр» (Москва) 16–19 марта 2015 г. По решению Генеральной ассамблеи ООН (от 20 декабря 2013 г.) 2015 год был объявлен Международным годом света и световых технологий. Мероприятие проводилось совместно с Лазерной ассоциацией СНГ при поддержке технологического центра «Объединение немецких инженеров», Европейского оптического общества, Государственного комитета по науке и технологиям Республики Беларусь, под патронатом Торгово-промышленной палаты РФ.

Более 160 фирм-участниц из 12 стран показали самые актуальные разработки для российского рынка. Насыщенные экспозиции представили компании: «Интегри-

рованные системы», «Ламинные системы», «Смарт Системс», OG-LEX. Кроме того, выставка пополнилась новым разделом — «Салон голографии».

На выставке посетители смогли ознакомиться с новейшими разработками лазерных технологий и оптоэлектроники в области металлургии, строительства, медицины, сельского хозяйства, оборонной промышленности, для информационных и телекоммуникационных технологий, для создания высокоточного измерительного оборудования и т.п.

Более чем 20 направлений и тематик в лазерной индустрии, которые были представлены на выставке, были дополнены двумя новыми направлениями — лазерная медицина и голографическое оборудование. Особо стоит отметить большое количество новых первичных преобразователей, использование которых сулит расширение возможностей применения приборов для неразрушающего контроля и технической диагностики (НК и ТД) [1, 2].

Известная компания ЗАО «НТК «АЗИМУТ ФОТОНИКС» является поставщиком оптоэлектронных компонентов ведущих мировых производителей на территории России. Из представленной номен-

клатуры изделий хотелось бы выделить рентгеновские сканирующие модули, КМОП-матрицы и плоские панели. Так, рентгеновские сканирующие модули серии X-Scan представляют собой готовые рентгенодиагностические модули для применения в пищевой и фармацевтической отраслях, а также в промышленном неразрушающем контроле. У одних моделей рабочий диапазон энергий находится в области 20–160 кэВ, у других — 160 кэВ–5 МэВ. Последние модели рентгеновских детекторных модулей предназначены для высокоэнергетических применений в промышленном неразрушающем контроле. Ряд моделей разработан для специализированных применений, например X-Scan iCT — для промышленной компьютерной томографии с использованием линейного ускорителя, X-Scan U-Shape — для рентгенографической диагностики колес легковых и грузовых автомобилей, X-Scan LCS — для работы в составе инспекционно-досмотровых комплексов с применением в качестве источников излучения бетатронов и линейных ускорителей.

Рентгеновские КМОП-матрицы серии RadEye и состыкованные из них плоские детекторные панели применяют в цифровой рентгенографии в медицине для маммографии и биопсии мышечных тканей, в неразрушающем контроле и кристаллографии.

Представили интерес также кремниевые детекторы рентгеновского излучения без использования сцинтилляторов. Они обладают чувствительностью к частицам с энергиями 6 эВ–17,6 кэВ (200 нм–0,07 нм) или в другом исполнении с энергиями более 17,6 кэВ для использования в ядерной физике и физике высоких энергий.

Стенд ФГУП «ВНИИОФИ» привлек внимание посетителей не только развитием метрологического обеспечения при выполнении





многочисленных оптико-физических измерений, но и большим ассортиментом оптического оборудования. В частности, была представлена рентгеновская камера K010X для регистрации изображений и измерения пространственно-временных параметров быстропротекающих процессов в области мягкого рентгеновского излучения в однокадровом режиме и в режиме линейной развертки регистрируемого изображения. Запись изображения с экрана ЭОП проводится с помощью ПЗС-считывающего устройства с вводом изображения в персональный компьютер.

Вызвала также интерес пикосекундная камера K016 с линейной разверткой для регистрации изображений быстропротекающих процессов и измерения их пространственно-временных параметров в режиме линейной развертки в ближнем инфракрасном и видимом спектральном диапазонах. Запись изображения с экрана ЭОП выполняют с помощью широкоформатного ПЗС-считывающего устройства с вводом изображения в персональный компьютер.

Самую скоростную инфракрасную камеру с приемником из InGaAs можно было увидеть на стенде бельгийской фирмы Xenics Infrared Solutions. Камера Cheetah-640CL работает в диапазоне 0,9–1,7 мкм с частотой кадров до 1730 Гц при разрешении 640×512 пикселей, позволяя проводить динамические испытания с тепловизионной съемкой и люминесцентной спектроскопией.

На стенде «КАМЕРА IQ» посетители могли ознакомиться с южно-корейскими высокопроизводительными промышленными видео-

камерами нового поколения. Это прежде всего высокоскоростные программируемые цифровые видеокамеры серии VA с разрешением до 29 Мп, предназначенные для инспекции полупроводниковых пластин, контроля качества в электронной промышленности, плоскостельных дисплеев, для аэрофотосъемки и т.п. Для систем машинного зрения и решения различных научно-исследовательских задач специально разработаны цифровые видеокамеры серий VC и VH. А видеокамеры серии VN используют технологию нанопозиционирования Pixel Shift, основанную на применении прецизионного пьезоэлектрического координатного модуля перемещения, что позволяет регистрировать изображения с разрешением до 99 Мп на видеокамерах VN-11MC и до 260 Мп с видеокамерой VN-29MC.

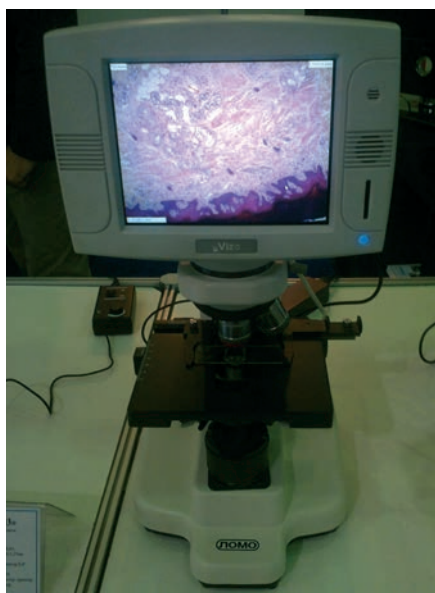
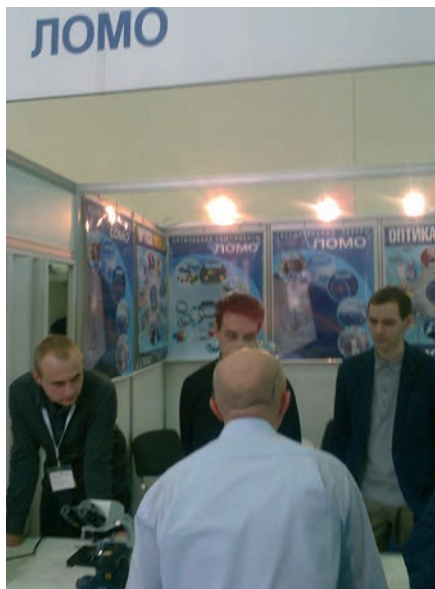


Безусловно, впечатляет продукция компании HAMAMATSU. Здесь была представлена лишь малая часть огромной номенклатуры

оптоэлектронных изделий высокого японского качества: лазеры, камеры (в том числе для регистрации рентгеновского излучения), модульные излучатели оптического диапазона, опто-полупроводниковые изделия (в том числе микроспектрометры) и многое другое. На стенде можно было узнать о широких возможностях практического применения данной продукции — от науки, медицины, аналитики, неразрушающего контроля до специальных применений, включая безопасность, например изделие InGaAs Area Image Sensor G12242-0909W.



Компания NYTEK Instruments предоставила возможность широкого выбора аналитического оборудования от 14 ведущих мировых производителей, включая HORIBA Scientific, для проведения молекулярной спектроскопии, элементного анализа, атомно-силовой микроскопии, анализа частиц и поверхности. Среди новинок — новая версия рамановского микроскопа LabRAM HR с полной автоматизацией анализа, мощным программным обеспечением, быстрым сканированием и многообразием фильтров для качественного улучшения результатов анализа. Рамановская спектроскопия является современным неразрушающим бесконтактным методом изучения внутренней структуры, механиче-



ских свойств и химического состава образцов без специальной подготовки.

Современные металлографические микровизоры отраженного света серии μ Vizo—MET можно было увидеть на стенде ЛОМО. Микровизор представляет собой компактное рабочее место, заменяющее комплекс из микроскопа, видеокамеры с оптическим адаптером и компьютера со специализированным программным обеспечением. Микровизор обеспечивает визуальное наблюдение на экране встроенного монитора цветного прямого увеличенного изображения прозрачных и непрозрачных материалов в отраженном свете при светодиодном освещении. Области применения — не только металлография и материаловедение, но и практическая медицина, криминалистика, научные исследования и т.д.

С многообразием средств угловых измерений и прецизионных контрольно-измерительных приборов можно было ознакомиться на стенде НПК «Диагностика», где были представлены современные гоноиметры, автоколлиматоры и угловые измерительные системы. Следует добавить, что продукция данной российской компании востребована и за рубежом, в частности в метрологических центрах и лабораториях Швейцарии, Испании, Италии, Германии, Китая и Южной Кореи.

Проблемы метрологии и их решения в оптической отрасли наглядно были показаны компанией MAHR GmbH (Германия). На стенде компании можно было ознакомиться с контактно-щуповыми и бесконтактными средствами контроля размеров, формы и параметров поверхности оптических деталей сложной формы.

Лазерные технологии получили широкое распространение при создании и прототипировании электронной техники, обеспечивая прецизионную высокопроизводительную микрообработку изделий из различных материалов. Выполняемые технологические операции — это формирование топологий и деметаллизация, прошивка отверстий, контурная вырезка, скрайбирование, создание

3D-рельефа с переменным профилем и мезоструктур, формовка и контурная вырезка тонколистового припоя. Обработываемыми материалами являются: керамика, полупроводники, композиты, ферриты, нитрид алюминия, твердые материалы (кубический нитрид бора, карбид кремния) и др. Система прецизионной лазерной микрообработки материалов электронной техники «МИКРО СЕТ», выполняющая описанные операции, была представлена в действии на стенде «Лазерного Центра».

Прогрессивная технология резки приборных пластин на кристаллы методом лазерного управляемого термоскалывания (пат. РФ № 2024441 и 2404931) была представ-



лена на стенде Института высоких технологий МГУПИ. Данная технология получила международное признание и применяется за рубежом.

Широкое распространение лазерной техники и технологий на их основе потребовало совершенствования подготовки соответствующих специалистов. Белорусско-японским совместным предприятием LOTIS ТП разработан современный Лабораторный практикум по лазерной физике. В основе использованы лазеры LS-2132Y и LS-2134Y, позволяющие оптимизировать исследования в области лазерной физики и нелинейной оптики. А на стенде Института физики НАН Беларуси им. Б.И. Степанова демонстрировались одноволновая 1,57 мкм и двухволновая 1,06/1,57 мкм лазерные системы для более широкого практического использования.

Холдингом «ШВАБЕ» было представлено несколько устройств по тематике выставки: 3-полосный стационарный лазерный измеритель скорости транспортных средств «ЛУЧ-С», мобильный вариант «ЛУЧ-М», портативный лазерный измеритель скорости и дальности с фотофиксацией транспортного средства ЛИСД-2Ф и сканирующий обнаружитель средств наблюдения «СОСНА». Скорость измеряют в диапазоне

0...250 км/ч на дальности до 1 км. Узконаправленное лазерное излучение исключает измерение скорости двух и более транспортных средств.

Одно из подразделений (ООО «АИБИ») Физико-технического института им. А.Ф. Иоффе РАН ознакомило посетителей с результатами работ по созданию оптоэлектронных приборов среднего инфракрасного диапазона, включая выращивание гетероструктур, фотолитографию, сборку и тестирование. Как итог – производство полной серии полупроводниковых светодиодов для спектрального диапазона 0,7–4,6 мкм, лазерных диодов для диапазона 2,0–3,6 мкм, а также фотодиодов, полностью перекрывающих диапазон 1,2–4,8 мкм. Одним из перспективных направлений применения светодиодов и фотодиодов среднего инфракрасного диапазона является создание компактных и высокочувствительных газовых сенсоров, так как в этом диапазоне находятся интенсивные полосы поглощения большинства промышленных вредных газов.

Экспонентами техники с использованием терагерцового излучения, к которой проявляется последнее время повышенный интерес, были компании Gigahertz-Optik GmbH и TYDEX. В частности, были показаны новые разработки детекторов терагерцового излучения на основе ячеек Голя и термоакустического эффекта. Детекторы Голя, имея высокую чувствительность при комнатной температуре, обеспечивают неселективный фотоклик в широком диапазоне длин волн. Термоакустический детектор TAD-1 измеряет и регистрирует импульсы с длительностью 1–500 нс в диапазоне частот 3–300 ГГц. Его работа основана на эффекте генерации акустических сигналов при поглощении терагерцовых импульсов в слоистой структуре. Можно было также ознакомиться с новыми дифракционными оптическими элементами для управления терагерцовым излучением.

На современных предприятиях по производству изделий оптоэлектроники необходимы помещения

особой чистоты. Компания LAM-SYSTEMS продемонстрировала в связи с этим продукцию для обеспечения чистоты помещений – антистатическое оснащение, средства защиты при работе в микробиологических лабораториях и т.п.

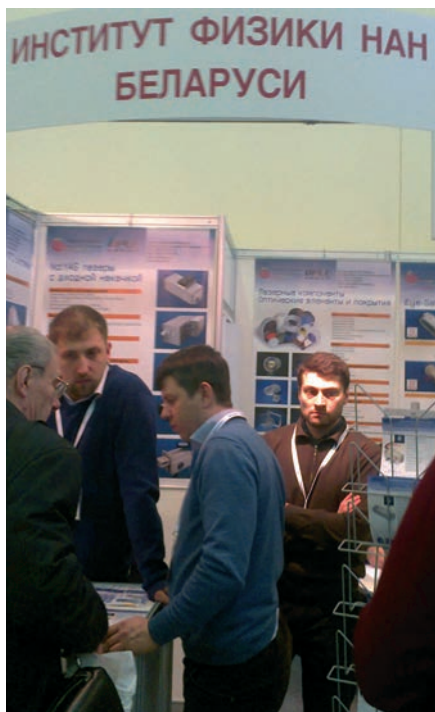
Центральным событием деловой программы стал IV Конгресс технологической платформы РФ «Фотоника», включивший в себя 11 тематических научно-практических конференций и 2 пленарных заседания. Аддитивные лазерные технологии на сегодняшний день являются одним из современных прогрессивных направлений, которое может стать драйвером в модернизации промышленности и развитии новых рыночных сегментов.

На пленарном заседании «О задачах лазерно-оптической отрасли в части модернизации отечественной промышленности» выступил с докладом зам. министра промышленности и торговли РФ А.В. Потапов. Другой пленарный доклад «О волоконных лазерах» сделал проф. Н.Н. Евтихий, руководитель департамента НТО «ИРЭ-Полюс», г. Фрязино. По всем основным направлениям развития и применения лазерной и оптоэлектронной техники было заслушано и обсуждено более 90 докладов известных в этой области ученых и специалистов.

Прошедшее мероприятие стало важным событием в развитии как отечественной оптоэлектроники и фотоники, так и приборостроения в целом.

Библиографический список

1. **Неразрушающий контроль.** Россия. 2012 / В.В. Клюев, Б.В. Артемьев, Б.В. Туробов и др. М.: ИД «Спектр», 2012. 527 с.
2. **Клюев В.В., Артемьев Б.В.** О развитии неразрушающего контроля и технической диагностики в России // *Контроль. Диагностика.* 2014. № 3. С. 45–60.
3. **Nondestructive testing:** handbook: in 8 v. V. 1: 3 books. T. 1 / V.V. Klyuev, V.F. Muzhitskiy, E.S. Gorkunov et al., ed. by V.V. Klyuev. M.: Publishing house Spektr, 2010.





VII МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ «АТОМЭКСПО-2015»



КУЗЕЛЕВ
Николай Ревокотович
Д-р техн. наук, проф.

ЗАО «НИИИН МНПО «Спектр», Москва



МАТВЕЕВ
Владимир Иванович
Канд. техн. наук

импульс социально-экономического развития». Модератором выступила А. Ризинг. Она отметила, что более 80 % населения Венгрии поддерживает развитие атомной энергетики. Теперь у наших стран имеется правовая основа для сотрудничества в сфере мирного атома, которое распространяется на фундаментальные и прикладные исследования, проектирование, строительство и эксплуатацию ядерных энергетических установок.



Сергей Кириенко



Жак Регальдо



Агнетта Ризинг



Такуя Хаттори

3 июня 2015 г. в Москве завершился VII Международный форум «АТОМЭКСПО-2015». В этом году форум отличался насыщенной деловой программой и высоким уровнем представительства. В форуме приняли участие более 4200 человек, а в его деловой программе — более 2200 человек, из них около 600 делегатов из 47 зарубежных стран. В рамках форума было организовано 16 круглых столов и заседаний по актуальным для атомной энергетики темам.

В частности, на пленарной сессии «Атомная энергетика — импульс социально-экономического развития» присутствовало более 600 делегатов. Активное обсуждение развернулось на сессии «Атом-

ная энергетика в странах БРИКС», посвященной международному сотрудничеству России со странами Латинской Америки, Азиатско-Тихоокеанского региона, Африки, Центральной и Восточной Европы в области атомной энергетики.

В торжественной церемонии открытия форума приняли участие гендиректор Росатома Сергей Кириенко, гендиректор Всемирной ядерной ассоциации Агнетта Ризинг, председатель Всемирной ассоциации операторов атомных станций Жак Регальдо, президент Атомного промышленного форума Японии Такуя Хаттори.

Пленарная сессия была посвящена теме «Атомная энергетика —

ческих и исследовательских реакторов. Также есть договоренность о производстве и использовании изотопов в промышленности, медицине и сельском хозяйстве, сотрудничестве при обращении с РАО, обучении и подготовке специалистов в области ядерной физики и энергетики.

Что будет с атомной энергетикой к 2050 г.? По мнению гендиректора ГК «Росатом» Сергея Кириенко, доля атомной энергетики в мире к середине XXI в. составит около 30 %. При этом С.В. Кириенко отметил, что ее развитие обязательно потребует замыкания ядерного топливного цикла и развития технологии быстрых реакторов: «С технологией водяных реакторов, думаю, мы остановимся на 20 %. С замыканием топливного цикла 30 % — минимальный порог развития атомной энергетики к середине века».

На площадке «АТОМЭКСПО 2015» прошла специализированная выставка, в которой приняли участие 104 компании (в том числе 29 зарубежных), представившие высокотехнологичные технологии и продукты атомного энергопромышленного комплекса и смежных отраслей.

На форуме впервые была представлена экспозиция Российского общества по неразрушающему контролю и технической диагностике.

Этому предшествовала серьезная работа дирекции РОНКТД и ООО «Атомэкспо». Учитывая всевозрастающую важность и многообразие задач отрасли, на встрече руководителей было принято решение об информационной поддержке форума «Атомэкспо» со стороны РОНКТД, организации информационного стенда. В дальнейших планах — участие предприятий, входящих в РОНКТД, в осеннем форуме поставщиков атомной отрасли «АТОМЕКС-2015», который состоится 13–15 октября 2015 г. в Москве, в Экспоцентре. Форум «АТОМЕКС» — это крупнейшая коммуникационная площадка, открывающая для поставщиков возможность прямого и открытого диалога с заказчиками атомной отрасли, это demonstra-



Информационный стенд РОНКТД

ция инновационной продукции и услуг для установления перспективных деловых контактов.

Мероприятия форума «АТОМЭКСПО-2015» освещали более 450 журналистов. В этом году особое внимание форуму уделили представители зарубежных средств массовой информации. Более 150 журналистов из Швеции, Турции, Германии, Франции, Иордании, Индонезии, Венгрии, Финляндии, Индии, Малайзии, Саудовской Аравии, Кении, Ганы и других стран работали в пресс-центре форума. Были организованы пресс-конференции, эксклюзивные интервью, состоялось более 10 брифингов с участием руководителей компаний российской атомной отрасли.

Активным было обсуждение на форуме российских предложений по развитию национальных энергетических программ.

Первой темой обсуждения на форуме стало мировое партнерство в атомной науке и образовании. Участники обменялись мнениями о потенциале международного партнерства научных институтов и вузов для формирования единых подходов к подготовке и развитию инженерных и научных компетенций в атомной энергетике. Прозвучали сообщения представителей предприятий и

организаций российской атомной отрасли, МИФИ и Центрального института повышения квалификации (ЦИПК) Росатома, Российского научного фонда, МАГАТЭ, Европейской сети ядерного образования (ENEN), а также ряда зарубежных образовательных учреждений из Чехии, Словакии, Италии, Вьетнама и других стран.

«Исследовательская база предприятий Росатома как основа освоения новых рынков» — такова тема круглого стола, организованного компанией Росатома «Наука и инновации». Цель этого мероприятия — обсудить направления сотрудничества при использовании уникальной исследовательской и экспериментальной стендовой базы атомной отрасли РФ. В частности, проект по строительству в России крупнейшего в мире многоцелевого исследовательского ядерного реактора на быстрых нейтронах МБИР.

На заседании круглого стола «Российский атомный проект «Прорыв» шла речь об отработке технологий замыкания ядерного топливного цикла, необходимых для атомной энергетики будущего. Проект выполняется на площадке Сибирского химического комбината (СХК, предприятие



Круглый стол «Мировое партнерство в атомной науке и образовании»

топливной компании Росатома ТВЭЛ) в ЗАТО Северск Томской области.

Круглый стол «Экологическая безопасность атомной отрасли: от добычи сырья до обращения с радиоактивными отходами» был посвящен вопросам обеспечения экологической безопасности на всех производственных этапах ядерного топливного цикла. В нем приняли участие эксперты из Института проблем безопасного развития атомной энергетики (ИБРАЭ) РАН, представители АО «Федеральный центр ядерной и радиационной безопасности», уранового холдинга Росатома «Атомредметзолото», ТВЭЛ, ФГУП «РосРАО», «Росэнергоатом», «Горно-химического комбината», зарубежных научных учреждений и предприятий.

На форуме было подписано более 10 важных документов о международном сотрудничестве в атомной сфере. В частности, подписаны: соглашение о сотрудничестве Госкорпорации «Росатом» с Министерством иностранных дел РФ; меморандум о взаимопонимании между Госкорпорацией «Росатом» и Министерством высшего образования и научных исследований Тунисской Республики; соглашение

между Правительством Российской Федерации и Правительством Республики Ганы о сотрудничестве в области использования атомной энергии в мирных целях; меморандум между Росатомом и Агентством по атомной энергии Индонезии и др.

Российская атомная госкорпорация обнародовала на форуме сведения о перспективах развития международного партнерства. По оценкам Росатома, к 2020 г. его десятилетний портфель зарубежных заказов может вырасти в полтора раза и достигнуть 150 млрд дол. А в среднесрочной перспективе в багаже госкорпорации в разной степени подготовки и реализации могут находиться проекты по 64 атомным энергоблокам за границей. В текущем году Росатом рассчитывает заключить зарубежных контрактов на 13 млрд дол.

На форуме впервые было объявлено о проявлении интереса китайских банков и энергокомпаний к участию в некоторых проектах Росатома. Кроме того, скоро станет известно, какую практическую форму обретет сотрудничество России и Китая по постройке плавучих атомных теплоэлектростанций на основе российских технологий. Возможно, неядерная часть

этих станций будет сооружаться в Поднебесной.

А осенью Росатом проведет зарубежное роуд-шоу по поиску партнеров для крупнейшего в мире исследовательского реактора на быстрых нейтронах МБИР, который будет возведен в России. «Что касается коммерческих технологий «быстрых» реакторов, которые будут востребованы в атомной энергетике будущего, то Россия, лидирующая в этой области, будет обладать ими уже к 2025 г.», — заявил на форуме Сергей Кириенко.

Росатом готов помочь развивающимся государствам с нуля создавать атомные отрасли в разных регионах мира. Поэтому ее партнеры получают возможность совершить рывок в своем технологическом развитии. Ведь мирный атом — это в числе прочего и ядерная медицина, и радиационные технологии для народного хозяйства. К тому же комплексное предложение российских атомщиков подразумевает и содействие в выполнении исследовательских проектов, и образовательную составляющую.

Следующий форум «АТОМЭКСПО» пройдет в Москве, в Гостином Дворе, 6–8 июня 2016 г.

ВИХРЕТОКОВЫЙ КОНТРОЛЬ

Вихретоковый дефектоскоп

ВЕКТОР

Универсальный вихретоковый дефектоскоп, позволяющий контролировать широкий диапазон материалов, включая углепластики и композиты

- Богатые функциональные возможности и широкий круг решаемых задач
- Автоматическая настройка
- Возможность подключения любых вихретоковых преобразователей
- Отлично читаемый на солнечном свете цветной экран
- Морозоустойчивое (от -30 °C) исполнение
- Прост в настройке и эксплуатации
- Гарантия 3 года



НОВИНКА

Роторный блок RVM-15

с большим набором преобразователей для контроля отверстий диаметром от 4 мм



Автоматизированные

УСТАНОВКИ ВИХРЕТОКОВОГО КОНТРОЛЯ

- Готовые решения для контроля труб и прутков
- Модернизация устаревших систем контроля
- Разработка и поставка систем любой сложности «под ключ»



KROPUS

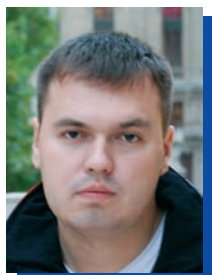
НАША ЦЕЛЬ – ПРОСТОТА
И НАДЕЖНОСТЬ

Тел/факс (495) 229-42-96
(496) 515-83-89

sales@kropus.ru
www.kropus.ru

ВСЕ ПРИБОРЫ СЕРТИФИЦИРОВАНЫ • СДЕЛАНО В РОССИИ

КОНТРОЛЬ СТРЕСС-КОРРОЗИИ С ПОМОЩЬЮ ВИХРЕТОКОВЫХ МАТРИЦ



ПАНКОВ
Владимир Вячеславович

ООО «Олимпас Москва», Москва



ПОМЕРАНЦЕВ
Дмитрий Сергеевич

Одной из наиболее актуальных и обсуждаемых проблем является стресс-коррозия магистральных газопроводов (МГ), которая служит причиной большинства аварийных ситуаций.

При стресс-коррозии металл газопроводов неравномерно охрупчивается и растрескивается, в большинстве случаев начиная с наружной поверхности. На некоторых участках за 20–25 лет эксплуатации глубина трещин достигает половины толщины стенки, что соответствует исчерпанию всех запасов прочности, предусмотренных нормами и проектами. После этого происходит раз-

рыв трубы, выброс газа под большим давлением, самовозгорание с высотой пламени до нескольких десятков метров. При взрыве фрагменты трубопровода оказываются выброшенными на большие расстояния от места разрушения. Поверхность земли выжигается иногда до 100 м и более от очага разрушения. Таким образом, стресс-коррозия МГ представляет собой большую опасность как для самих трубопроводов, так и для окружающей среды и населения.

Компанией Olympus разработано эффективное решение для выявления стресс-коррозионных по-

вреждений труб — метод вихретоковых матриц (ВТМ). Комплект оборудования, состоящий из вихретокового дефектоскопа OmniScan ECA и матричного ВТ преобразователя, показан на рис. 1.

В отличие от методов контроля проникающими веществами и магнитографического контроля технология ВТМ занимает значительно меньше времени и не требует больших операционных издержек. Использование вихретоковых матриц позволяет избежать таких дорогостоящих и сложных процедур, как, например, снятие лакокрасочного и других покрытий. Универсальный вихретоковый матричный преобразователь с взаимозаменяемыми призмами подходит для контроля широкого диапазона труб.

Преимущества метода

- Высокоэффективный контроль магнитных и немагнитных сплавов.
- Выявление дефектов любой ориентации за один проход.
- Значительная экономия времени, так как не требует снятия лакокрасочного покрытия.
- Большой охват сканируемой поверхности с помощью 32-катущечного преобразователя.

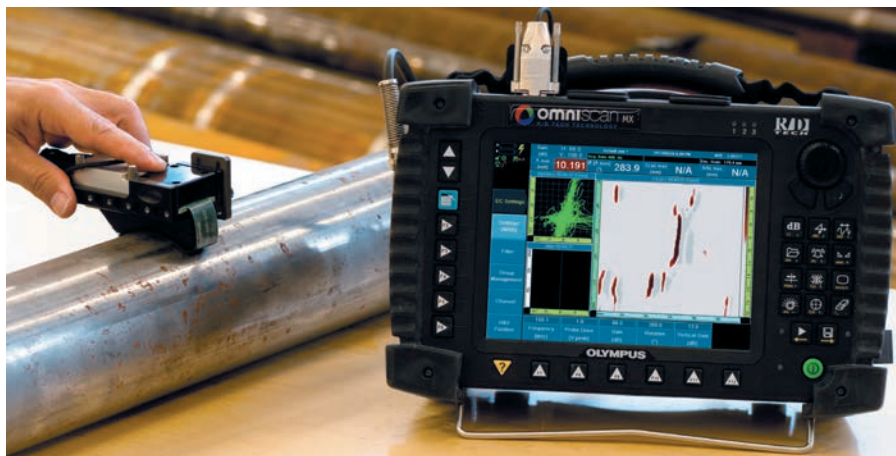


Рис. 1. Дефектоскоп OmniScan ECA с гибким матричным вихретоковым преобразователем



Рис. 2. Результаты капиллярного контроля

- Оценка глубины проникновения коррозии.
- Постоянное отображение результатов сканирования благодаря режиму непрерывной обработки.
- Наглядное отображение и архивация данных.
- Настройка чувствительности, постобработки и анализа результатов контроля.
- Экологичность метода (отсутствие химических веществ в отличие от капиллярного контроля).

Благодаря использованию датчика пути и режиму непрерывной обработки полученные изображения выводятся на экран в режиме реального времени. Таким образом, после сканирования поверхности трубы ее проекция видна на экране вместе с обнаруженными дефектами.

На рис. 2 и 3 показаны результаты капиллярного контроля и контроля с помощью метода ВТМ. Цветовая палитра, представленная на рис. 3, является запатентованной разработкой компании Olympus.

Для контроля трубопроводов разного диаметра разработан специализированный набор сменных призм (рис. 4).

В данном кратком обзоре представлены далеко не все виды контроля с помощью технологии ВТМ компании Olympus. Технология ВТМ также позволяет проводить классический контроль коррозии, обнаружение поверхностных и подповерхностных дефектов и трещин. Все возможные применения технологии ВТМ подробно описаны на нашем сайте www.olympus-ims.com.

По любым вопросам, связанным с тематикой данной статьи, просим обращаться в департамент промышленной диагностики компании «Олимпас Москва».

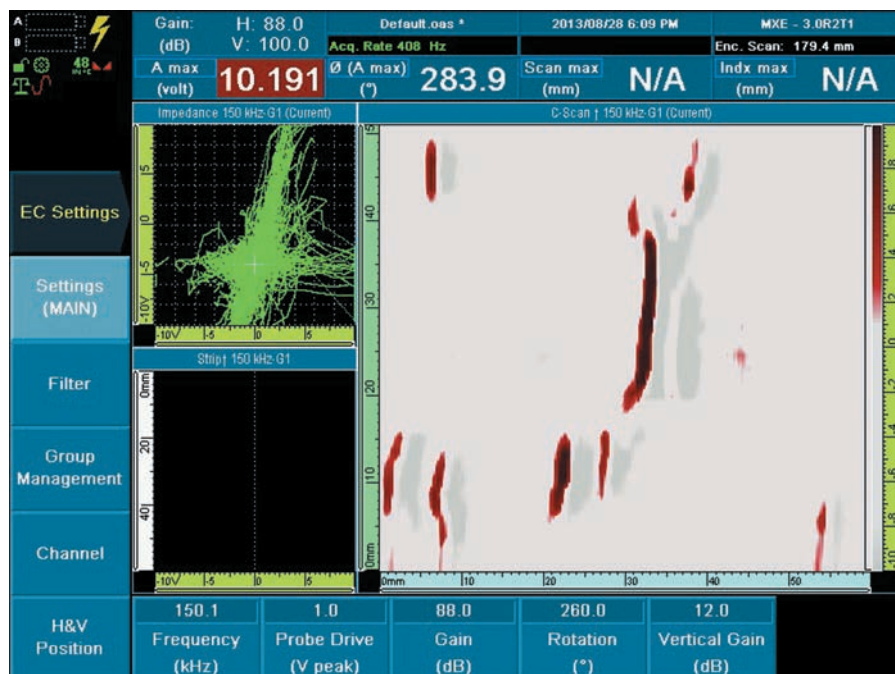


Рис. 3. Результаты контроля с помощью ВТМ



Рис. 4. Комплект сменных призм для контроля трубопроводов разного диаметра

ВИХРЕТОКОВЫЕ МАТРИЦЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ



БОРИСКОВ Юрий Васильевич

Инженер по технической поддержке отдела NDT
ОАО «ПЕРГАМ-ИНЖИНИРИНГ», Москва

Контроль вихретоковыми матрицами — это сравнительно новое направление в неразрушающем контроле (НК), которое, несмотря на новизну, уже достаточно широко себя зарекомендовало в различных отраслях промышленности. Появление данной технологии значительно облегчило труд дефектоскопистов на различных предприятиях, тем самым заметно повысив не только достоверность, но и скорость контроля.

Один из примеров — это замена капиллярного, магнитопорошкового и рентгеновского методов контроля вихретоковыми матрицами для инспекции сварных соединений и конструкций из углеродистых сталей на наличие глубинных, поверхностных и подповерхностных дефектов.

Очевидные недостатки капиллярного и магнитно-порошкового методов контроля известны давно:

- чистота контролируемой поверхности должна быть достаточно высокой, любое покрытие должно быть удалено;
- скорость контроля невысока из-за затрат времени на такие сопутствующие процессы, как снятие покрытия, зачистка зоны контроля, обработка обезжиривающими составами, удаление материалов контроля, восстановление покрытия;
- оба метода являются индикаторными и не позволяют получать точной информации о размерах и опасности выявленных дефектов. Самый яркий пример — стресс-коррозионные поражения (КРН);
- при проведении контроля применяют ядовитые химические материалы, опасные для здоровья.

Использование вихретоковых матриц позволяет полностью отказаться от перечисленных выше методов контроля со всеми их недостатками. Наиболее емкие области применения — нефтегазовая промышленность, судостроение, ветряные электростанции, инфраструктура и др.

Дефектоскоп Reddy

Самым современным дефектоскопом с технологией вихретоковых матриц является Reddy компании Eddyfi, Канада (рис. 1). При его разработке компания Eddyfi старалась учесть пожелания дефектоскопистов всего мира, их опыт и знания и максимально полно реализовать все технические запросы в своем новом приборе.



Рис. 1. Вихретоковый дефектоскоп Reddy

Reddy — мобильный дефектоскоп, имеет малую массу и герметичный корпус с противоударными бамперами. Управляется с помощью ОС Windows. Вся информация хранится на твердотельном жестком диске объемом 100 гигабайт. Для загрузки или выгрузки информации (настроек, результатов контроля) предусмотрены стандартные выходы USB. Есть возможность подключения прибора напрямую к компьютеру через кабель Ethernet и вывода изображения на дисплей через интерфейс HDMI. Управление прибором можно осуществлять с помощью сенсорного экрана или кнопок на корпусе.

За корректную работу и упорядоченное поведение всех вихретоковых катушек отвечает высокоскоростной программируемый мультиплексор, встроенный в прибор.

Преобразователи серии I-Flex

Reddy поддерживает все матричные преобразователи производства компании Eddyfi, в том числе преобразователи серии I-Flex, предназначенные для контроля объектов сложной формы (рис. 2).



Рис. 2. Гибкая матрица (I-Flex)

Матрица подстраивается под геометрию контролируемой поверхности и полностью повторяет ее форму. Благодаря этому дефектоскописту более не требуется особая профессиональная сноровка, без которой ранее было не обойтись в случае использования преобразователей карандашного типа.

В зависимости от модели преобразователя применяются цилиндрические катушки диаметром от 2 до 6 мм, что обеспечивает высокую разрешающую способность. Серийно выпускаются преобразователи с количеством катушек от 16 до 128.

Глубина проникновения вихревых токов в стали составляет до 5,0 мм.

Наиболее востребован вихретоковый контроль с матричными преобразователями при поиске и картографировании стресс-коррозионных поражений (КРН) в теле металла (рис. 3). Развитие данного типа дефектов крайне трудно выявляется традиционными методами, однако именно КРН является причиной многочисленных аварий на магистральных газопроводах как в России, так и во всем мире. Статистика утверждает, что в случае несвоевременного обнаружения (или пропуска) развивающегося очага стресс-коррозии, учитывая стабильно высокое давление в магистральной газовой трубе, данный дефект, несомненно, приведет к порыву и «раскрытию» трубопровода на данном участке.



Рис. 3. Поиск зон КРН на трубопроводах различного диаметра

При оценке эффективности вихретоковых матриц для поиска КРН было проведено множество экспериментов, рассмотрим один из них. В данном случае использовали образец, вырезанный из куска стальной трубы, в котором за годы эксплуатации развилась зона КРН (рис. 4). Образец был проконтролирован гибкой матрицей I-Flex за один проход. Результат контроля в виде С-скана наглядно свидетельствует о наличии скопления дефектов. Очевидно, что при таком уровне визуализации данных и скорости контроля производительность дефектоскописта и достоверность его результатов значительно превосходят традиционные методы НК.

Результаты контроля записываются в массив данных и равно пригодны как для первичной экспресс-

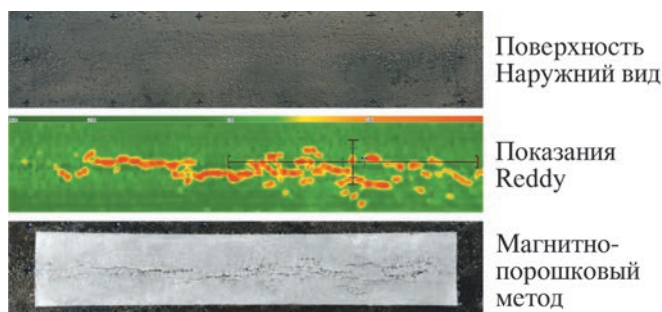


Рис. 4. Образец стенки трубы

оценки (отбраковки) прямо на объекте контроле, так и для глубокого постанализа на ПК с дальнейшим формированием отчета и выводом на печать.

Серия преобразователей Shark

Также стоит обратить внимание на преобразователи, которые разработаны специально для контроля высокоуглеродистых стальных сварных соединений и околосварной зоны.

Матрица в этих преобразователях содержит не только традиционные вихретоковые катушки, но и тангенциальные (ТЕСА). Ось обмотки тангенциальных катушек располагается параллельно сканируемой поверхности (рис. 5). Тангенциальные катушки генерируют вихретоковый поток, протекающий параллельно поверхности. Очень высокая проникающая способность позволяет эффективнее измерять глубину залегания больших трещин.

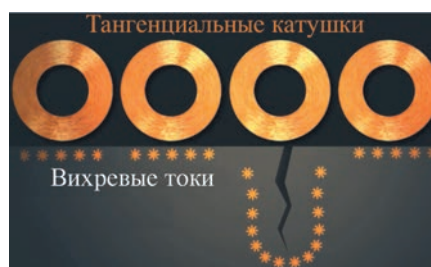


Рис. 5. Тангенциальные катушки

Серия преобразователей с технологией ТЕСА является запатентованной разработкой компании Eddyfi и называется Shark. Они выполнены таким образом, чтобы можно было контролировать валик шва любой высоты (рис. 6). Каждый подпружиненный элемент в преобразователе состоит из трех катушек: две из них тангенциальные — одна возбуждающая, другая принимающая, третья — традиционная катушка для обнаружения поперечных оси сканирования трещин.



Рис. 6. Преобразователь Shark (ТЕСА)

Комплексная работа всех катушек, создающих в матрице единый массив из нескольких десятков элементов, позволяет генерировать вихревые токи с возможностью проникновения на глубину до 10 мм (по стали).

Сканирование можно проводить со скоростью до 200 мм/с, при этом зазор может составлять до 3 мм. Экспериментально доказано, что зазор, не превышающий 3 мм, не оказывает значительного влияния

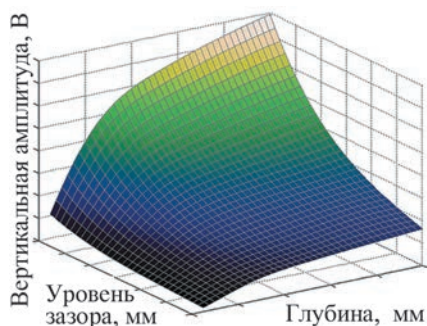


Рис. 7. Трехмерная диаграмма

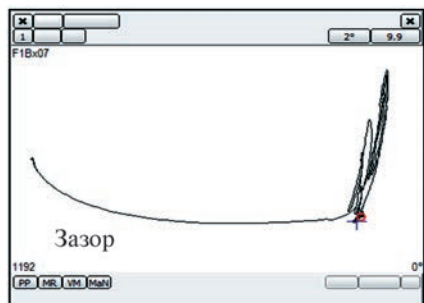


Рис. 8. Кривые на комплексной плоскости

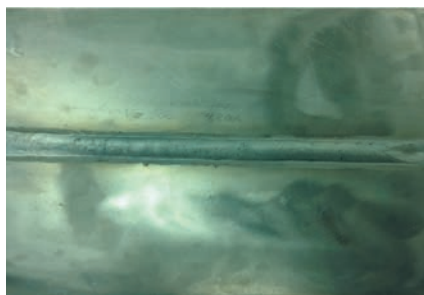


Рис. 9. Фотография испытываемого образца

на качество контроля. Зазор полностью компенсируется специальной программной возможностью оборудования.

При калибровке на образце используются различные уровни зазора для построения специальной трехмерной диаграммы (рис. 7). При последующем контроле все поступающие данные сравниваются с этой диаграммой и при изменении уровня зазора пересчитываются для отображения корректных данных.

При анализе данных по кривым на комплексной плоскости сигнал от зазора невозможно перепутать с сигналами от дефектов. Все сигналы от дефектов имеют практически одинаковый фазовый сдвиг (рис. 8).

Данные контроля собираются и преобразуются с помощью ПО Magnifi GO в интуитивно понятные цифровые С-сканы (2D и 3D), облегчающие анализ результатов, в который, в частности, входят измерение глубины и протяженности дефектов.

Пример контроля сварного соединения

Для исследования взяли образец сварного соединения (Ст2кп) с тремя естественными дефектами (рис. 9 и 10).

Сканирование проводили в один проход с одновременным захватом околошовной зоны. На С-скане можно наблюдать характерные пятна, сигнализирующие о наличии дефектов в данных областях (рис. 11).

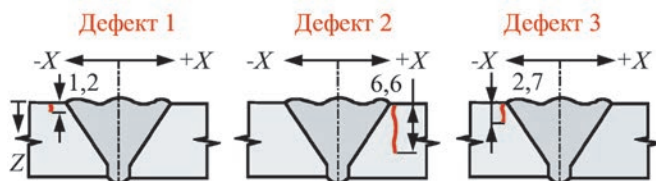
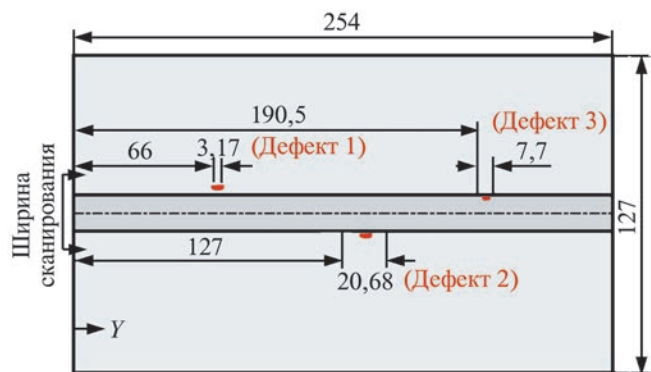


Рис. 10. Эскиз образца

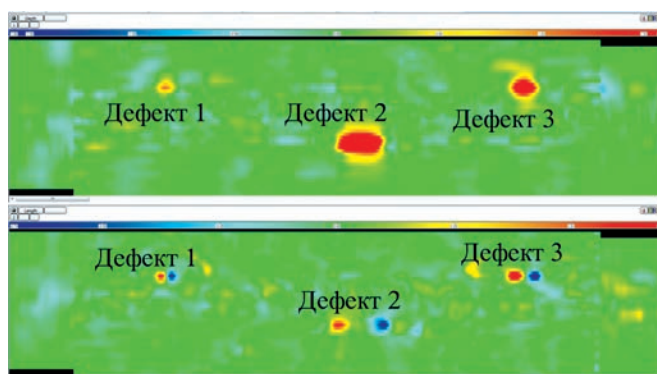


Рис. 11. С-скан образца

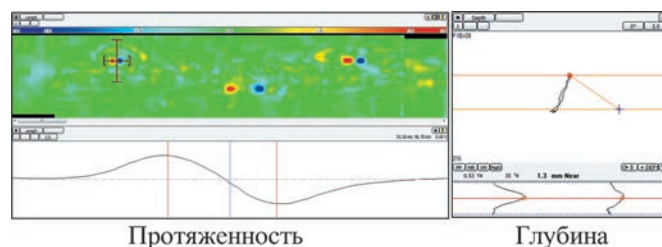


Рис. 12. Измерения параметров дефекта

Можно более детально проанализировать области с дефектной индикацией, для этого курсором выбираем любую из зон дефектов. Открываем дополнительные окна, где показаны различные кривые, по которым можно определить уровень амплитуды сигнала и фазу.

В результате измерений были получены показания:

- глубина реальная 1,3 мм (по чертежу 1,2 мм);
- протяженность реальная 3,5 мм (по чертежу 3,2 мм) (рис. 12).

Таким образом, технология вихретоковых матриц в значительной степени позволяет облегчить труд дефектоскописта, а работодателю/заказчику работ гарантирует высокую скорость, достоверность и качество выполняемых работ.

Российское общество по неразрушающему контролю и технической диагностике при поддержке **Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору** проводит

XIII ВСЕРОССИЙСКИЙ КОНКУРС СПЕЦИАЛИСТОВ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

по 9 методам неразрушающего контроля:

акустико-эмиссионному, вихретоковому (впервые), визуальному и измерительному, вибродиагностическому, магнитному, проникающими веществами (капиллярному), радиографическому, тепловому и ультразвуковому.

Общее руководство и координацию осуществляют
ОАО «НТЦ «Промышленная Безопасность» и ООО «НУЦ «Качество».

Первый тур - отборочный, пройдет в независимых органах по аттестации персонала НК в регионах России.

Срок проведения отборочного тура в регионах России: **25 января - 12 февраля 2016 г.**

Второй тур - финальный, пройдет на базе ООО «НУЦ «Качество» со **2 по 4 марта 2016 г.**, в период проведения форума «Территория NDT-2016», г. Москва, Экспоцентр на Красной Пресне.

Всем организациям, направившим своих специалистов на конкурс, вручается **Свидетельство** участника XIII Всероссийского конкурса специалистов неразрушающего контроля.

Все участники конкурса награждаются **Грамотами** участника.

Участникам отборочного тура, занявшим **I, II и III места**, вручаются соответствующие дипломы, ценные призы, а также предоставляется возможность **продления срока действия квалификационных удостоверений без оплаты** (в НОАП НУЦ «Качество»).

Участникам финального тура, занявшим **I, II и III места**, вручаются соответствующие дипломы, ценные призы, а также предоставляется возможность пройти **аттестацию на III уровень** квалификации с учётом результатов финального тура конкурса (в НОАП НУЦ «Качество»).

Примите и Вы участие в соревновании !



Заявки на участие в XIII Всероссийском конкурсе специалистов неразрушающего контроля направляются факсом или электронной почтой на адрес ООО «НУЦ «Качество» или в региональные центры проведения I-го тура конкурса.

Координаты региональных центров, заявившихся на проведение I-го тура конкурса, а также более подробную информацию о конкурсе, можно узнать в Интернете на сайтах: РОНКТД www.ronktd.ru, ОАО «НТЦ «Промышленная безопасность» www.oaontc.ru, ООО «НУЦ «Качество» www.centri-kachestvo.ru или по телефонам: (495) 744-70-52, 777-41-02



Информационные спонсоры: журнал «В мире НК», «Территория NDT», «Контроль. Диагностика».



В лучших британских
традициях

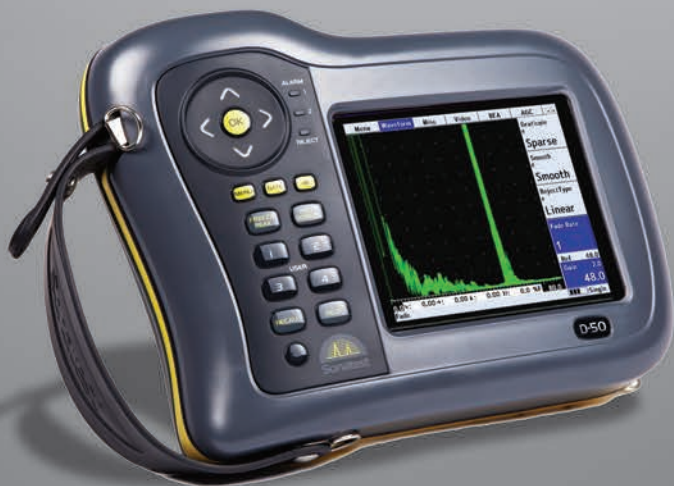
Ультразвуковые дефектоскопы нового поколения

Sonatest 700M/70D

- Частоты 0,5 – 35 МГц
- Развертка от 0÷1 до 0÷20'000 мм (сталь)
- Слежение за акустическим контактом
- АРУ, АРД, ВРЧ, ДАК, AWS, API
- Амплитуда зондирующих импульсов до 450 В
- Работа при t от - 20 до +70°C
- До 16 ч автономной работы
- Масса 2,5 кг, включая батарею
- Гарантия до 5 лет



Sonatest 500S/50D



- Частоты 1 – 20 МГц
- Развертка от 0÷5 до 0÷5'000 мм (сталь)
- Слежение за акустическим контактом
- АРУ, АРД, ВРЧ, ДАК, AWS, API, В-скан
- Программируемое меню
- Сенсорное управление
- До 18 ч автономной работы
- Масса 1,7 кг, включая батарею
- Исполнение IP 67

ООО «ПАНАТЕСТ» – официальный представитель
Sonatest Ltd. (Великобритания) на территории России
111024, Москва, ул. Авиамоторная, д. 12, оф. 405
(495) 789-37-48, 587-82-98
www.panatest.ru, mail@panatest.ru

**Ваша
задача –
наше
решение!**



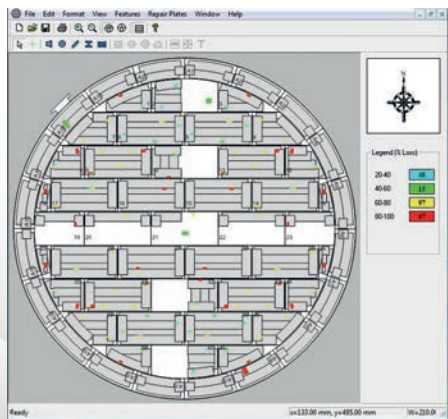
СКАНИРУЮЩИЕ СИСТЕМЫ

FalconWing

Обследование дна
и стенок резервуаров



Контроль резервуаров



**Программа TF-Map
для построения карт толщин**

TiS 8C

Обследование трубопроводов, сосудов,
теплообменного оборудования



Контроль трубопроводов



Контроль теплообменников

ПРЕИМУЩЕСТВА СИСТЕМ TESTEX

- Сплошной высокопроизводительный контроль через покрытие толщиной до 6 мм или зазор
- Минимальные требования к подготовке поверхности, равномерная ржавчина, окалина, грязь не оказывают влияния на сигнал
- Бесконтактный контроль, не требуется контактная жидкость
- Наличие в трубопроводе продукта не влияет на результаты
- Обнаружение сплошной, точечной коррозии, эрозии, областей наводороживания и науглероживания и других дефектов на внутренней и внешней поверхности
- Контроль объектов любой геометрии, толщиной до 22 мм, как ферромагнитных, так и неферромагнитных
- Автоматическое определение типа и глубины дефекта (после предварительной калибровки)

ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

ЗАО «СИБУР-ХИМПРОМ» ПУТЕМ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМЫ TESTEX ДЛЯ СПЛОШНОГО СКАНИРОВАНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ



КИСЕЛЕВ
Алексей Владимирович
Главный эксперт,
Центр «Механика»,
Москва



ХАДИЕВ
Ринат Зинурович
Начальник лаборатории
ЗАО «Сибур-Химпром»,
г. Пермь



БЕЛОВ
Дмитрий Анатольевич
Ведущий инженер
ЗАО «Сибур-Химпром»,
г. Пермь

В 2013 г. перед специалистами лаборатории неразрушающего контроля и диагностики ЗАО «Сибур-Химпром» была поставлена задача повышения качества обследования наиболее ответственного технологического оборудования и трубопроводов путем перехода от выборочных измерений к сплошному сканированию. Было принято решение о внедрении новых систем, позволяющих выполнять сплошной высокопроизводительный контроль бесконтактным способом различных объектов: трубопроводов из магнитных и немагнитных материалов, змеевиков технологических печей, стенок сосудов и трубных пучков теплообменников. Одним из главных требований к системе было надежное выявление коррозии, эрозии, язв, механического износа труб, а также определение остаточной толщины.

В результате предварительного анализа предложений такой аппаратуры была выбрана система неразрушающего контроля TiS 8C

(рис. 1) производства компании TesTex, Inc. (США). Принцип действия прибора основан на использовании низкочастотного поля вихревых токов. Данный способ позволяет преодолеть ограничения, присущие традиционным вихретоковым системам при контроле объектов из углеродистой стали и толстостенных аустенитных труб. Система работает в низкочастотном диапазоне, что позволяет одновременно выявлять дефекты как на внешней, так и на внутренней поверхностях.



Рис. 1. Состав системы TiS 8C:
1 – промышленный мини-компьютер;
2 – сканер; 3 – электронный блок

Основные преимущества системы TiS 8C

- Система позволяет проводить обследование как немагнитных труб, так и ферромагнитных объектов с толщиной стенки до 22 мм.
- Бесконтактный метод. Требования по подготовке поверхности – минимальные. Возможен контроль через слой краски, ржавчину или покрытие.
- Система компактная, управляется одним оператором. Масса системы не превышает 3 кг (включая 2 электронных блока и сканер).
- Возможен контроль труб при доступе как с внешней, так и с внутренней стороны. При обследовании технологических трубопроводов с внешней стороны применяют многоканальные сканеры (рис. 2). При контроле трубных пучков теплообменников используют внутритрубные преобразователи различных диаметров (рис. 3).

Сканеры и внутритрубные преобразователи системы TiS 8C изготавливают под определенные диаметры труб. При этом сканеры могут быть перестроены для труб ближайших диаметров на 1–2 типа-размера. Например, сканер с номинальным диаметром 254 мм может быть перестроен для труб диаметром 219 и 273 мм.

Испытания системы TiS 8C

В рамках ПАО «СИБУР Холдинг» был выполнен ряд полевых демонстрационных испытаний системы TiS 8C. Обследовали действующие технологические трубопроводы, а также образцы труб с



Рис. 2. Многоканальные сканеры для обследования трубопроводов с внешней стороны



Рис. 3. Преобразователь для контроля трубных пучков теплообменников

реальными эксплуатационными дефектами. Испытания проводили на территории предприятий ООО «Сибур-Кстово», ООО «Томскнефтехим», ЗАО «Сибур-Химпром».

Испытания на территории ООО «Сибур-Кстово»

Испытания проводили на действующих технологических трубо-



Рис. 4. Сканирование трубопровода



Рис. 5. Дефектный участок трубопровода оборотной воды

проводах без вывода их из эксплуатации (рис. 4). Были обследованы следующие участки:

- Участок МЦК и ФХ (факельное хозяйство). Диаметр, толщина: 219×8,3 мм.
- Линия 2445. ШФЛУ из цеха № 54 на ЭП-300. Диаметр, толщина: 219×8,5 мм.



Рис. 6. Сканирование образца

Результаты УЗТ

Дефект	Остаточная толщина
1	3,7 мм
2	5,6 мм
3	6,4 мм
4	4 мм

- Линия 2049. Этилен с ЭП-300 до головных сооружений. Диаметр, толщина: 219×9 мм.
- Линия 2039. Бензин в резервуары парка тит. 6004. Диаметр, толщина: 219×7 мм.
- Линия 1806. Обратная вода от коллектора до Т-68/12. Диаметр, толщина: 219×6,5 мм.

В результате контроля было обнаружено несколько утонений глубиной 10–38 % от номинальной толщины стенки трубы. Обследование труб проводили без подготовки поверхности через слой краски.

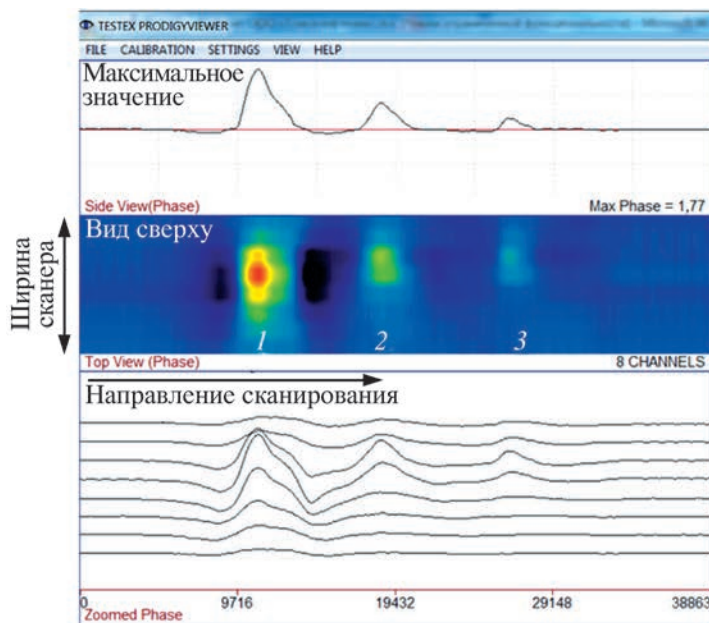


Рис. 7. Сигналы от утонений глубиной 54, 30 и 20 % от номинальной толщины стенки трубы

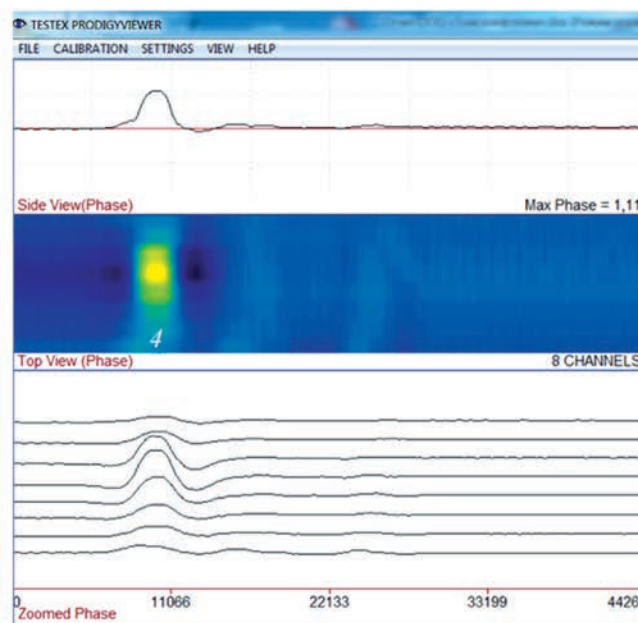


Рис. 8. Сигнал от утонения глубиной 50 % от номинальной толщины стенки трубы



Рис. 9. Результаты визуального осмотра внутренней поверхности образца: 1–4 – дефекты в виде утонений



Рис. 10. Сканирование образца № 1



Рис. 11. Область дефектов 1

Наибольшее утонение глубиной 38 % (с остаточной толщиной 4 мм) на внутренней поверхности трубы было обнаружено на участке трубопровода оборотной воды (рис. 5). С помощью системы

TiS 8C утонение было локализовано до области диаметром 40 мм. Область дефекта была очищена от краски. Результаты были подтверждены с помощью ультразвукового толщиномера.

Испытания на территории ООО «Томскнефтехим»

Испытания системы TiS 8C были проведены в апреле 2013 г. на территории лаборатории металлов ООО «Томскнефтехим». Был обследован образец трубы печи пиролиза диаметром 89 мм, с толщиной стенки 8 мм, немагнитный, содержащий реальные эксплуатационные дефекты на внутренней поверхности – утонения различной глубины. В результате сканирования образца были обнаружены несколько утонений (рис. 6–8). Дефекты были локализованы до области диаметром 3–4 см. Затем проводили ультразвуковую толщинометрию (УЗТ) для подтверждения результатов.

При визуальном осмотре внутренней поверхности образца наличие утонений в указанных местах было подтверждено (рис. 9).

Испытания на территории ЗАО «Сибур-Химпром»

Испытания системы TiS 8C были проведены в мае 2013 г. на производственной территории ЗАО «Сибур-Химпром». Обследовали образец, изготовленный из трубопровода печи пиролиза, содержащий естественные эксплуатационные дефекты, а также образец трубы из ферромагнитного материала с искусственными дефектами в виде проточек.

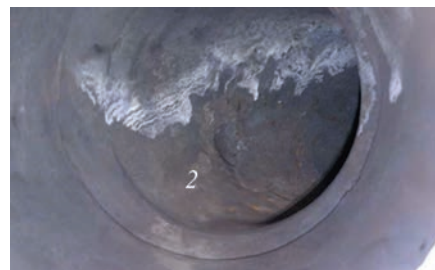


Рис. 14. Дефект 2 – язва на внутренней поверхности

Образец № 1. Отвод трубы печи пиролиза

Образец представлял собой отвод трубы печи пиролиза (рис. 10) диаметром 140 мм с толщиной стенки 22 мм, изогнутый на 180°. Образец содержал две дефектные области: 1 – утонение и продольная трещина (рис. 11); 2 – язва на внутренней поверхности (рис. 14).

Сигналы, полученные при сканировании области дефектов 1 и 2, приведены на рис. 12, 13, 15.

Образец № 2. Участок трубопровода из ферромагнитного материала

Образец (рис. 16) диаметром 114 мм с толщиной стенки 6 мм имеет два искусственных дефекта (рис. 17) глубиной 2 мм на внутренней поверхности: 1 – имитация коррозионной язвы; 2 – продольная проточка (имитация эрозии).

Сигналы, полученные при сканировании, приведены на рис. 18.

Таким образом, в результате полевых демонстрационных испытаний, выполненных в рамках ПАО «СИБУР Холдинг», была подтверждена возможность системы TiS 8C выявлять различные дефекты ферромагнитных и немагнитных тех-

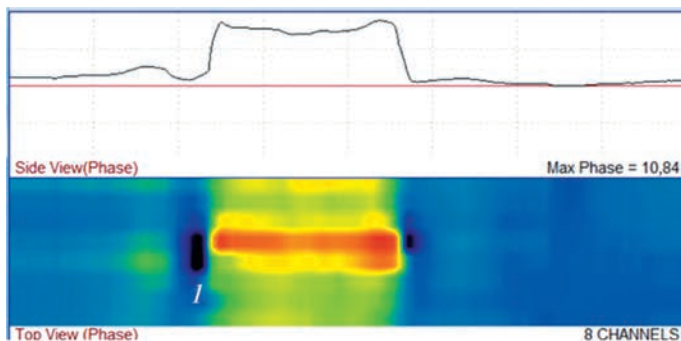


Рис. 12. Сигнал от области дефектов 1 – утонение и продольная трещина

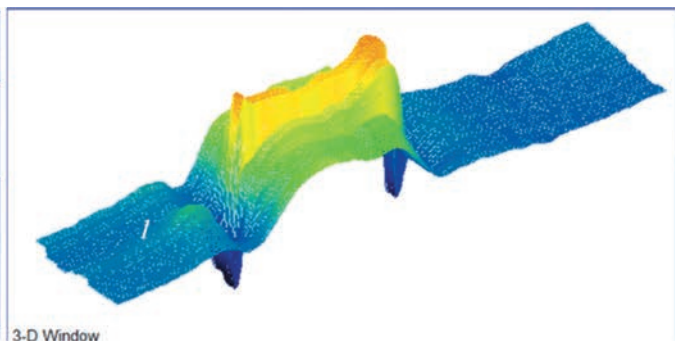


Рис. 13. 3D-изображение области дефекта

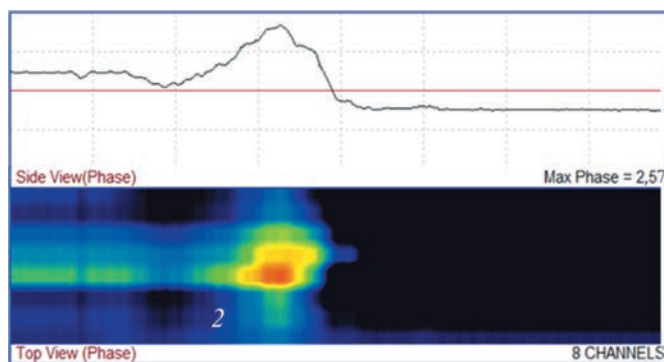


Рис. 15. Сигнал от дефекта 2

нологических трубопроводов при их сплошном сканировании. Испытания системы были признаны успешными. В результате на предприятии ЗАО «Сибур-Химпром» было принято решение о внедрении системы.

Для обследования участков труб змеевиков с ограниченным доступом в комплектацию системы помимо стандартных сканеров был включен также специальный низкопрофильный сканер (рис. 19). Данный сканер позволяет проводить контроль при расстоянии между трубами 4 см и более.

Для подготовки сотрудников лаборатории неразрушающего контроля и диагностики ЗАО «Сибур-Химпром» к работе с системой были привлечены специалисты компании ООО «ПАНАТЕСТ» — официального представителя фирмы TesTex, Inc. на территории России. В течение трехдневного технического тренинга специалисты ЗАО «Сибур-Химпром» освоили систему.

Практические результаты

Первые практические результаты были получены в 2014 г. С использованием системы TiS 8C был проведен сплошной контроль змеевиков четырех печей пиролиза.

Объект контроля

Установка пиролиза смонтирована в 1973–1974 гг. На установке имеется 7 двухтопочных печей пиролиза. В работе постоянно находятся 4–6 печей. Наиболее распространенные дефекты в процессе работы печи — это прогары труб и отводов из-за язвенного коррозионного износа, а также отдушины, трещины, деформация труб.

По технологическому регламенту печь пиролиза работает 1440 ч. Затем проводят паровыжиг печи и закаочно-испарительных аппаратов (ЗИА-1 и ЗИА-3). Печь останавливается, после чего специалисты лаборатории неразрушающего контроля и диагностики выполняют обследование труб с использованием комплекса TiS 8C и под-



Рис. 16. Сканирование образца № 2



Рис. 17. Дефекты образца № 2

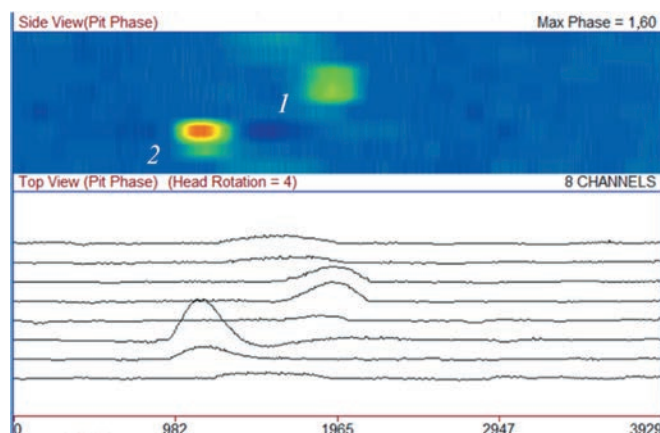
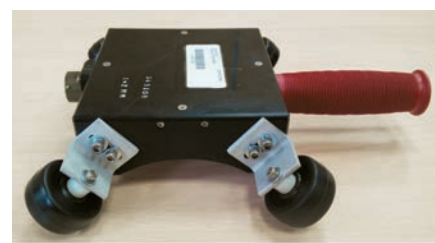


Рис. 18. Сигнал от дефектов образца № 2

тверждение другими методами НК (УЗТ, РК). В зависимости от результатов обследования проводится ремонт с заменой дефектных участков.

Настройка системы

Настройка системы TiS 8C заключается в выборе двух параметров — частоты переменного электромагнитного поля и чувствительности. Для контроля ферромагнитных труб используют частоты 5–30 Гц, для немагнитных труб — 200–400 Гц. Перед началом работы прибор настраивают (рис. 20) по образцу, соответствующему объекту контроля по материалу, толщине стенки и диаметру. На образце с внутренней стороны стенки выполняют два сверления. Диаметр сверлений выбирают



а)



б)

Рис. 19. Специальный низкопрофильный сканер (а) для контроля труб в условиях ограниченного доступа (б)



Рис. 20. Настройка системы перед выходом на объект

примерно равным толщине стенки трубы. Глубину дефектов задают в зависимости от требуемого уровня фиксации и браковочного уровня (например, 20 и 50 % от толщины стенки).

Существует также методика настройки системы непосредственно на объекте контроля без использования калибровочного блока. Параметры контроля в этом случае выбирают по значению сигнала при отрыве сканера от поверхности объекта. Чувствительность выставляется несколько завышенная и в дальнейшем корректируется при контроле по результатам УЗТ обнаруженных индикаций.

Параметры настройки системы и параметры объекта контроля приведены в таблице.

Параметры настройки системы и параметры объекта контроля

Объект контроля		Параметры настройки	
Правый и левый змеевики печи пиролиза	Марка стали: 20Х23Н18	Система TiS 8С	Частота 300 Гц
	Диаметр, толщина: 140× 10 мм		Амплитуда 200 усл. ед.
			Фаза 2 усл. ед.

Объем контроля: вся поверхность труб змеевиков за исключением недоступных для ВТК зон.

Результаты контроля

Сплошное сканирование труб печей пиролиза (рис. 21) в несколько проходов является трудоемким процессом. Скорость сканирования составляет 0,1–0,3 м/с. При этом для сплошного обследования змеевиков одной печи пиролиза общей протяженностью около 500 м требуется 1 неделя.

При применении предлагаемой системы необходима подготовка объекта контроля: место контроля должно быть хорошо освещено, в труднодоступных местах выстроены леса. Должен быть выделен специалист для зачистки дефектных мест и для проведения УЗТ или РК.

За один проход сканера по трубе осуществляется контроль поверхности под ним шириной около 80 мм. При этом формируется изображение, на котором с помощью цветной кодировки отображаются дефекты. Изображение представляет собой отклонение сигнала



Рис. 21. Обследование труб печей пиролиза

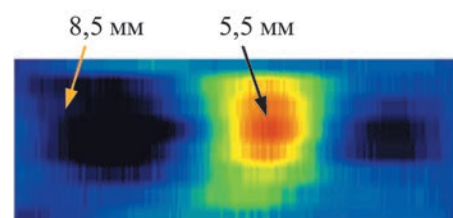
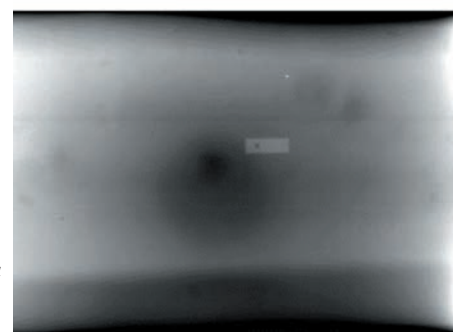


Рис. 22. Сигнал от коррозии с подтверждением цифровой радиографией



с каждой из катушек сканера от нулевого уровня, соответствующего бездефектному участку объекта. Изображение позволяет оценивать форму дефектов (по форме сигнала и количеству реагирующих катушек), а также потерянную толщину (по максимальной амплитуде сигнала).

Фиксировались все дефекты с утонением толщины стенки трубы 20 % и более. Выявленные с помощью системы TiS 8C утонения исследовали и оценивали с помощью ультразвукового контроля (УЗК) остаточной толщины.

В результате обследования печи пиролиза П-001/1 были обнаружены 34 дефектных участка, из них 6 участков с остаточной толщиной ниже отбраковочной. Дефектограммы некоторых из них с указанием толщины стенки по результатам ультразвуковой толщинометрии приведены на рис. 22.

На рис. 23 представлены сигналы, полученные в результате сканирования одного из дефектных участков трубы радиантного змеевика печи П-001/1 (рис. 24). Данный участок был вырезан, при визуальном осмотре была обнаружена язвенная коррозия на внутренней поверхности. Остаточная толщина стенки в области язв составила 4,3–4,7 мм.

Остаточная толщина стенки в области наибольшего из обнаруженных дефекта составляет 2,8 мм.

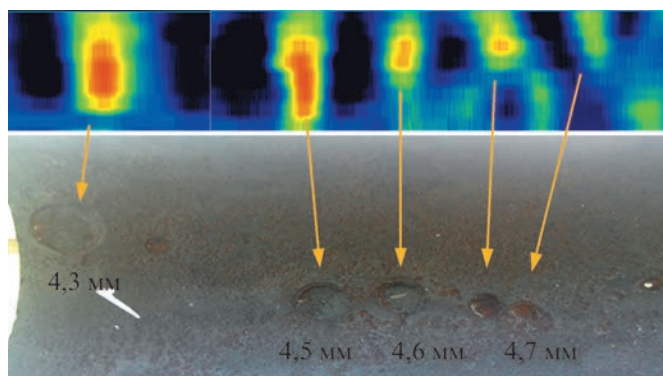


Рис. 23. Сопоставление результатов сканирования и визуального обследования

Участки науглероживания

При обследовании следующей печи пиролиза П-001/6 утонений обнаружено не было. Были выявлены несколько участков науглероживания (рис. 25).

Данные области характеризуются изменением электромагнитных свойств, благодаря чему фиксируются сканером при контроле. Материал труб в этих областях становится магнитным, что в некоторых случаях можно проверить, поднеся к трубе постоянный магнит. При насыщении стали углеродом изменяется структура материала. Металл становится менее пластичным, что в дальнейшем может привести к растрескиванию и образованию дефектов на внутренней поверхности стенки трубы. Науглероживание существенно снижает срок службы змеевиков печей.

Обнаруженные науглероженные участки фиксировались в отчетах по проведению сканирования для отслеживания состояния труб при последующих инспекциях.

Заключение

Таким образом, под непосредственным началом руководителя лаборатории НКиД Р.З. Хадиева и под техническим руководством ведущего инженера НК Д.А. Белова специалисты лаборатории неразрушающего контроля и диагностики ЗАО «Сибур-Химпром» внедрили и на высоком уровне освоили новую вихрековую систему контроля трубопроводов TiS 8C, разработали и опробовали на практике методику сплошного сканирования змеевиков печей пиролиза. Новый

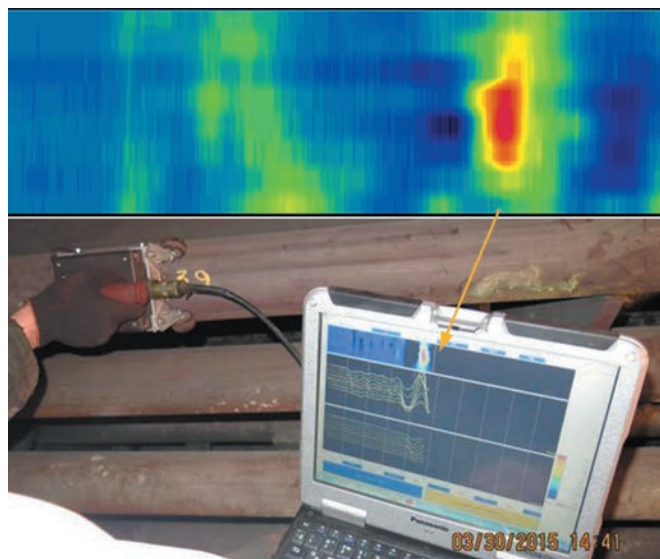


Рис. 24. Обнаружение дефекта на трубе печи пиролиза

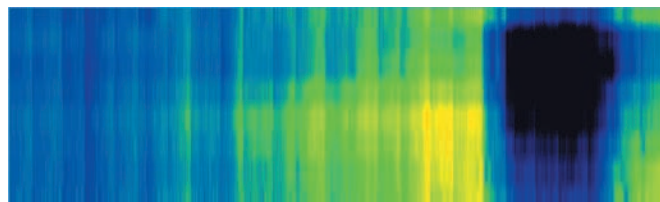


Рис. 25. Дефектограмма науглероженного участка

подход позволил компании ЗАО «Сибур-Химпром» сэкономить значительные средства на замене трубопроводов путем перехода к адресному ремонту, а также в короткие сроки значительно повысить эксплуатационную надежность обследованных технологических трубопроводов и дать реальную оценку их технического состояния.

В результате всестороннего тестирования системы TiS 8C на различных предприятиях и объектах ПАО «СИБУР Холдинг» было подтверждено, что система обеспечивает:

- сплошное сканирование технологических трубопроводов с использованием бесконтактного метода;
- контроль магнитных и немагнитных объектов без вывода их из эксплуатации;
- выявление различных типов дефектов как на внешней, так и на внутренней поверхностях стенки трубы.

ПРИМЕНЕНИЕ ВИХРЕТОКОВЫХ СРЕДСТВ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ



ЕФИМОВ
Алексей Геннадьевич
Д-р техн. наук



БАКУОВ
Александр Сергеевич
Канд. техн. наук



ШУБОЧКИН
Андрей Евгеньевич
Д-р техн. наук

ЗАО «НИИИИ МНПО «Спектр», Москва

Рассмотрены аспекты применения средств вихретокового неразрушающего контроля (НК) в промышленности, дана классификация средств НК, приведены основные технические характеристики.

Вихретоковый метод основан на взаимодействии с проводящим объектом контроля переменного электромагнитного поля в диапазоне частот от единиц герц до десятков и даже сотен мегагерц.

Достоинством вихретокового контроля является то, что его можно проводить в отсутствии контакта между вихретоковым преобразователем (ВТП) и объектом контроля (ОК), поэтому его часто называют бесконтактным. Благодаря этому вихретоковый контроль возможен при перемещении ОК относительно ВТП, причем скорость этого движения при производственном контроле может быть значительной, что обеспечивает высокую производительность контроля.

Получение первичной информации в виде электрических сигналов, отсутствие контакта и высокая производительность определяют широкие возможности автоматизации вихретокового контроля. Дополнительным преимуществом вихретокового контроля является то, что на сигналы ВТП практически не влияют влажность, давление и загрязненность газовой среды, радиоактивные излучения, загрязнения поверхности ОК непроводящими веществами. Несомненное достоин-

ство ВТП — простота его конструкции. В большинстве случаев катушки ВТП помещают в предохранительный корпус, благодаря чему они устойчивы к механическим и атмосферным воздействиям и представляют собой весьма надежные первичные преобразователи.

Так как вихревые токи возникают только в электропроводящих материалах, то объектами вихретокового контроля могут быть изделия, изготовленные из металлов, сплавов, графита, полупроводников и других электропроводящих материалов.

В настоящее время производством оборудования, реализующего вихретоковый метод неразрушающего контроля, занимается значительное число компаний не только в России, но и за рубежом. Эти компании выпускают сотни типов аппаратуры для контроля металлопродукции как в процессе ее производства на заводах черной, цветной металлургии, машиностроительных предприятиях (авиационных, космических, автомобильных и др.), так и при эксплуатации оборудования сложных технических объектов (тепловых и атомных электростанций, самолетов, ракет, трубопроводного и железнодорожного транспорта и т.д.). Предла-

гаются различные типы дефектоскопов ручного и автоматизированного применения, толщиномеры покрытия и тонких металлических слоев, измерителей удельной электрической проводимости металлов, структуроскопов различного назначения.

Достиженные в течение последних нескольких десятилетий успехи в развитии микроэлектроники и вычислительной техники оказали значительное влияние на системы вихретокового неразрушающего контроля промышленной продукции и, как следствие, привели к увеличению возможностей представления количественных характеристик материалов и изделий, возрастанию роли этих систем в повышении качества промышленной продукции, появлению программно-управляемых универсальных приборов и автоматизированных систем.

Для правильного выбора вида, метода и средств НК необходимы знания возможного диапазона измерения физических свойств и параметров ОК, его структуры, технологии производства, условий эксплуатации ОК, а также физических принципов методов НК, их технических возможностей и характеристик конкретной аппаратуры.

По назначению весь вихретоковый контроль принято разделять на следующие виды:

- дефектоскопия,
- толщинометрия,
- структуроскопия.

Дефектоскопия

Дефектоскопы — наиболее распространенный вид вихретоковых приборов НК. Они предназначены для обнаружения несплошностей в объектах из электропроводящих материалов. Условно их можно классифицировать по нескольким признакам. По виду объектов контроля различают дефектоскопы для контроля: объектов с плоскими поверхностями и объектов сложной формы, линейно

протяженных объектов (прутков, проволоки, труб), мелких деталей массового производства (детали подшипников качения, крепежные детали и т.д.); по режиму работы — дефектоскопы для работы в статическом и динамическом режимах и универсальные; по типу применяемых ВТП — дефектоскопы с проходными и накладными ВТП, универсальные дефектоскопы; по конструктивному исполнению — стационарные, переносные и портативные. Все классификационные признаки независимы. Возможны и другие признаки, например вид питания, защищенность от внешних воздействий, хотя они относятся к общим для продукции приборостроения признакам.

Технические требования к дефектоскопам можно разделить на общие, относящиеся к дефектоскопам как продукции приборостроения (масса, мощность потребления, показатели надежности, срок службы и т.д.) и специальные. К специальным характеристикам относят порог чувствительности, разрешающую способность и максимальную производительность или скорость контроля.

Основной параметр дефектоскопа — *порог чувствительности*. Это минимальные размеры искусственного дефекта заданной формы, при которых изменение сигнала, вызванное дефектом, не менее чем в 2 раза превышает уровень помех (ГОСТ 26697—85). В качестве искусственных дефектов часто используют узкие риски, плоскость которых ориентирована нормально к поверхности образца, имеющие определенную глубину, длину и ширину, называемую также раскрытием. Такие искусственные дефекты наносят на плоские образцы, прутки и трубы различными методами, например электроискровым или фрезерованием. Другой тип искусственного дефекта — круглое сквозное или глухое сверление заданного диаметра и определенной глубины (для глухих сверлений). Отверстия как искусственные дефекты легче изготавливать, но сигналы от отверстий и искусственных рисков той же глубины различны.

Реальный порог чувствительности дефектоскопа зависит, очевидно, как от уровня сигнала, так и от уровня помех. Наибольшее влия-

ние оказывают помехи, обусловленные изменением электромагнитных параметров ОК, размеров, шероховатости поверхности ОК, а также связанные с изменением взаимного положения ВТП и ОК (изменением зазора при использовании накладных ВТП или радиальных перемещений ОК в проходном ВТП). Поэтому порог чувствительности не является неизменным параметром, он зависит от конкретных условий применения дефектоскопа, что необходимо учитывать при его эксплуатации. Порог чувствительности, задаваемый в технической документации дефектоскопа, определяют, строго оговаривая эти условия. Указываются, например, материал и марка образца с аттестованным искусственным дефектом, взаимное расположение ВТП и образца, размеры образца, расположение искусственного дефекта. Так как сигнал зависит от положения ВТП относительно дефекта, то обычно при определении порога чувствительности имеют в виду наибольшее значение сигнала, получаемого при сканировании дефектного участка.

Разрешающая способность — минимальное расстояние между двумя дефектами, при котором они регистрируются раздельно. Этот параметр обычно задается в пределах 5...15 мм. Для дефектоскопов с проходными ВТП он зависит от диаметра ОК (и ВТП соответственно): чем больше диаметр, тем хуже разрешающая способность для дефектов, расположенных вдоль оси ОК. Для накладных ВТП разрешающая способность тем лучше, чем меньше зона чувствительности ВТП.

Максимальная производительность контроля — важная эксплуатационная характеристика, обычно задаваемая для дефектоскопов, работающих в автоматическом или полуавтоматическом режиме в технологических производственных линиях. При контроле линейно протяженных объектов производительность определяется скоростью контроля (м/с), а при контроле мелких объектов — числом проконтролированных объектов в единицу времени (шт./ч). Производительность контроля вихретоковых дефектоскопов ограничивается главным образом

возможностями транспортирующих и сортирующих ОК устройств и устройств сканирования. Ограничения, связанные с влиянием скорости движения ОК в зоне контроля на сигналы ВТП, обычно значительно менее жесткие и не определяют производительность контроля. Современный уровень развития микроэлектроники практически снял вопрос ограничения скорости сканирования ОК, вызванное максимальной частотой дискретизации аналого-цифровых преобразователей, т.е. их быстродействием.

Кроме перечисленных указываются также качественные характеристики дефектоскопов: наличие автоматического подавления влияния измерений зазора; возможность оценки глубины (или протяженности) дефекта и документирования результатов контроля.

Общие технические требования обычно дополняются такими параметрами и характеристиками, как частота тока возбуждения ВТП, условия применения дефектоскопа, виды и характеристики ОК.

Дефектоскопы для контроля объектов с плоскими поверхностями и объектов сложной формы обычно комплектуются накладными ВТП и предназначены для работы в статическом и/или динамическом режимах. В первом режиме оператор перемещает ВТП по поверхности ОК вручную, во втором — ВТП с помощью электропривода сканирует исследуемый участок ОК по выбору оператора. Чаще всего такие дефектоскопы выполняют в виде портативных или переносных приборов, допускающих работу в полевых условиях.

Дефектоскопы с проходными ВТП.

Для контроля продольно-протяженных изделий типа труб, прутков, проволоки в процессе их производства наиболее широко применяют дефектоскопы с проходными ВТП.

Они успешно работают в самых тяжелых условиях трубосварочных, трубопрокатных, прокатных и проволочных станов при высоких скоростях контроля (обычно от 0,01 до 3 м/с, на проволочных станах иногда до 50 м/с), вблизи сварочных аппаратов, при высоких температурах контролируемых изделий (обычно 50 °С, при контроле горячего проката температура достигает 800—1200 °С),

в условиях загрязнения и запыленности. Для этой аппаратуры характерно: широкий диапазон диаметров контролируемых изделий (от 0,05 до 220 мм), возможность контроля изделий различной поперечной формы (круг, квадрат, шестигранник, прямоугольник), простота и надежность конструкции при достаточно высокой чувствительности. С помощью дефектоскопов с проходными преобразователями сегодня в мире контролируют почти 100 % проволоки, особенно малых диаметров (0,05 ... 0,5 мм), почти 80 % электросварных труб (в основном диаметром до 120 мм), до 95 % труб и проката некруглой формы.

Дефектоскопы с накладными вращающимися ВТП используют в технологических линиях производства труб, прутков и других изделий круглого сечения. Сканирование поверхности контролируемого объекта происходит при вращении ВТП и поступательном движении объекта. Механизм вращения ВТП выполняется в виде отдельного блока и содержит роторный узел с размещенными на нем ВТП (как правило, четыре; со смещением друг относительно друга на 90°) и статорную часть, где располагаются статорные обмотки, подключаемые к электронному блоку. В отдельный подкласс таких ВТП принято выделять секторные преобразователи.

Секторные накладные ВТП. Основной областью применения секторных накладных ВТП является контроль протяженных объектов как цилиндрической, так и сложной формы. К преимуществам данного типа ВТП по сравнению с проходными ВТП следует отнести возможность их установки и замены в непрерывных циклах производства металлопроката, а также при контроле протяженных объектов сложного профиля, в том числе и электросварных соединений. С секторными (секционными) ВТП применяются как поступательные, так и вращательные взаимные перемещения с ОК. При контроле цилиндрических объектов, к примеру труб больших диаметров (более 220 мм), используют два варианта вращения: поступательно-вращательное движение ОК при неподвижном секторном ВТП и поступательное дви-

жение ОК при вращении секторного ВТП.

Отделом электромагнитной технической диагностики металлоизделий Научно-исследовательского института интроскопии МНПО «Спектр» был разработан современный высокопроизводительный автоматизированный дефектоскоп ВД-41П (рис. 1) для неразрушающего контроля труб, проката, проволоки, изделий из металлопроката в процессе их производства и при входном контроле. Прибор может применяться для широкой номенклатуры диаметров и марок материалов (ферромагнитных и коррозионно-стойких сталей, цветных и тугоплавких металлов и сплавов). Дефектоскоп предназначен для использования на трубных заводах: в линиях непрерывных электросварных агрегатов, в линиях отделки горячекатаных и холоднокатаных труб и проката, в отдельно стоящих транспортных рольгангах, при входном контроле на заводах машиностроительного профиля (автомобильных, авиационных, сельхозмашиностроения и др.), трубных базах нефтяных и газовых компаний.

Дефектоскоп ВД-41П может быть интегрирован в любую поточную производственную линию. Гибкая наладка модулей измерения и электроники позволяет настроить прибор на контроль широкого перечня форм и диаметров (от 3 до 120 мм в базовой комплектации) металлопроката. Возможность подключения большого количества периферийных устройств, таких как блок размагничивания, краскоотметчик, датчик пути, свето-

звуковая сигнализация, позволяет создать ячейку НК, удовлетворяющую требованиям как малого, так и крупного производства.

Полное документирование результатов контроля и сбор статистики обеспечивает снижение издержек на ликвидацию брака и повышение конкурентоспособности продукции металлопроката.

Дефектоскоп может эксплуатироваться как автономно, так и в составе сети предприятия Ethernet (TCP/IP). Электронный блок дефектоскопа позволяет встраивать его в существующую производственную линию, управлять периферийными устройствами как входящими в комплект поставки системы вихретокового контроля, так и интегрированными в производственную линию (переключение накопителя продукции, сигнализация, аварийная остановка и т.п.). Блок ВД-41П имеет модульную структуру и выполнен в корпусе типоразмера 6U под 19" стойку (шкаф).

В блок встроена промышленная ЭВМ с сенсорным LCD-дисплеем 10,2". Используемая операционная система: WINDOWS XP или WINDOWS 7.

Поддерживаемые вихретоковые преобразователи: накладные секционные преобразователи, проходные преобразователи, экранированные вихретоковые преобразователи, щелевые вихретоковые преобразователи.

Наиболее широкое распространение получили универсальные микропроцессорные переносные дефектоскопы. Эти приборы предна-

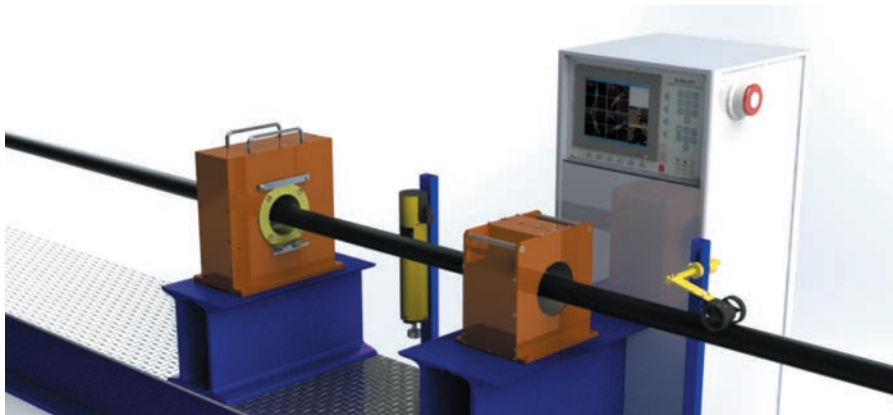


Рис. 1. Схема размещения участка неразрушающего контроля на базе ВД-41П в составе трубного стана, слева на право: блок преобразователей, краскоотметчик, демагнетизатор, стойка с электронным блоком, сирена, датчик пути

значены для работы как с накладными, так и с проходными ВТП разных конструкций в статическом и динамическом режимах, просты в обслуживании, имеют массу до 2 кг, обычно для них предусмотрено автономное и сетевое питание. Основной индикатор — цифровой дисплей с возможностью запоминания изображений. Индикатор работает в режимах временной развертки и режиме комплексной плоскости. Диапазон рабочих частот в статическом режиме 10 Гц...10 МГц, при этом сигнал отображается на координатной или комплексной плоскости. В зависимости от решаемых задач и используемых конструкций ВТП диапазон рабочих частот может варьироваться в диапазоне от 10 Гц до 10 МГц.

Практика применения портативных вихретоковых приборов показала, что на первое место выходят эксплуатационные характеристики приборов и простота интерпретации полученных результатов контроля. В качестве примера можно рассмотреть портативный вихретоковый дефектоскоп ВД-90НП (рис. 2).

Он обладает высочайшей чувствительностью и способен выявлять дефекты глубиной от 0,1 мм на ферромагнитных и немагнитных материалах. Отличительной особенностью данного прибора является диапазон рабочей частоты от 100 Гц до 2 МГц, что позволяет решить практически любую задачу вихретоковой дефектоскопии. Дефектоскоп может работать как от аккумуляторов, так и от сети, а также имеется возможность подключения дополнительного внешнего аккумулятора для увеличения продолжительности автономной работы. Используемый PLED-дисплей с высокой контрастностью и большими углами обзора



Рис. 2. Общий вид вихретокового дефектоскопа ВД-90НП

отличает высокая скорость отображения информации при значительных отрицательных температурах.

Конструкция корпуса ВД-90НП позволяет носить дефектоскоп на руке, что, учитывая малую массу и размеры корпуса, значительно облегчает труд дефектоскописта. По массе и габаритам ВД-90НП не имеет аналогов среди дефектоскопов с близкими техническими характеристиками. Благодаря широкому температурному диапазону его можно использовать в полевых условиях даже в зимнее время года, а высокая степень пыле- и влагозащитности обеспечивает безотказность прибора при самых тяжелых условиях эксплуатации.

Для связи с периферийными устройствами ВД-90НП оснащен модулем беспроводной связи BLUETOOTH 2.0, который позволяет передавать результаты контроля и осуществлять управление дефектоскопом на расстоянии до 100 м с помощью персонального компьютера или КПК.

Для ВД-90НП существует большая номенклатура вихретоковых преобразователей различного назначения и конструктивного исполнения. Специализированные преобразователи позволяют: работать с большим зазором, по поверхностям со значительной шероховатостью, в углах и проточках, контролировать прутки и трубы, проводить контроль в труднодоступных местах объекта контроля и т.д. На сегодняшний день ВД-90НП единственный вихретоковый прибор в мире, обеспечивающий контроль через слой защитной изоляции до 10 мм без потери чувствительности к поверхностным дефектам.

Для коммутации используется общий кабель с улучшенной помехозащищенностью, сохраняющий эластичность при температуре -30°C , благодаря этому комплект преобразователей становится компактным и имеет меньшую массу. Преобразователи защищены от истирания защитными корундовыми наконечниками.

Дефектоскоп автоматически определяет тип преобразователя и выставляет для него необходимый ток и частоту возбуждения, что



Рис. 3. Блок электроники ВД-91НМ

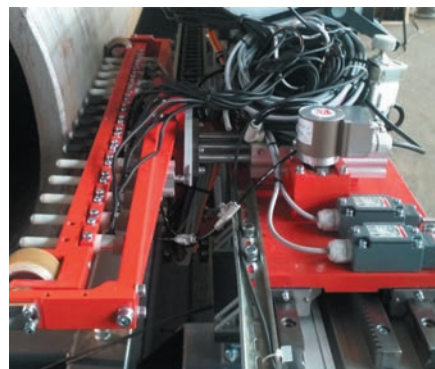


Рис. 4. Наружная каретка ВД-91НМ во время контроля через защитное покрытие магистральной трубы для газопровода

позволяет значительно упростить настройку прибора.

На большинстве отечественных и зарубежных металлургических заводах задача контроля поверхностей труб большого диаметра на наличие зон повышенной твердости решается с помощью портативных твердометров, которые дают дискретное представление о параметрах ОК. Наличие подобных областей приводит к образованию микротрещин как в процессе производства, так и при последующей эксплуатации. Необходимость в решении задач сплошного контроля поверхности твердости и трещин труб больших диаметров с изоляцией переменной толщины вызвала потребность в разработке современной вихретоковой многопоточной системы. Подобные задачи сложно или невозможно решить рентгеновскими или ультразвуковыми методами, применение комплекса методов позволяет избежать пробелов в информации о параметрах исследуемого ОК.

Многоканальный дефектоскоп ВД-91НМ (рис. 3) представляет собой новое слово в вихретоковом неразрушающем контроле. Заложен-

ные в нем программные и аппаратные решения дают возможность в широчайших пределах отстроиться от такого мешающего параметра, как рабочий зазор преобразователя. На сегодняшний день ВД-91НМ — единственная вихретоковая система в мире, позволяющая работать с переменным зазором до 10 мм без потери чувствительности к трещиноподобным дефектам. Для увеличения числа каналов дефектоскопы могут объединяться в сеть ($16 \times N$, где N — число дефектоскопов). На базе ВД-91НМ была разработана система неразрушающего контроля труб магистральных нефте- и газопроводов. С ее помощью можно решить задачу поиска дефектов типа несплошности и пятен повышенной твердости на внутренней и наружной стенках, в том числе через защитные покрытия толщиной до 10 мм. Пылевлагозащитное исполнение (IP67), широкий диапазон рабочих температур ($-30 \dots +50^\circ\text{C}$), возможность передачи информации по Wi-Fi позволяют использовать ВД-91НМ в полевых условиях, на трубных базах, в том числе при переизоляции трубопроводов. Оригинальная конструкция несущей каретки преобразователя (рис. 4) обеспечивает контроль в зоне сварного шва.

Толщинометрия

Вихретоковые толщинометры — это приборы для измерения толщины объектов и покрытий на них. Объектами контроля могут быть листы, ленты и фольга из металлов и сплавов, стенки труб и баллонов, детали машин. Еще более разнообразны покрытия. В вихретоковой толщинометрии виды покрытий удобно разделить на следующие группы:

- *изоляционные покрытия на электропроводящих основаниях*, например: лакокрасочные, эмалевые, пластиковые, стеклянные, резиновые покрытия на металлах и сплавах;
- *электропроводящие покрытия на изоляционных основаниях*, например: медные слои на стеклотекстолитовых печатных платах; алюминиевые покрытия на стекле (зеркала) и пластиках;
- *электропроводящие покрытия на электропроводящих основаниях*,

например: антикоррозионные слои алюминия на алюминиевых сплавах, нанесенные плакированием (от франц. *plaquer* — покрывать), различные виды гальванических покрытий.

Покрытия защищают металлы от коррозии, выполняют теплозащитные, декоративные и другие функции. Среди показателей качества покрытий важнейший — толщина, допускаемые пределы изменения которой определяются нормативно-технической документацией. Разрушающие методы измерения толщины покрытий, например метод микрошлифов, метод взвешивания, травления, не позволяющие реализовать 100%-ный контроль продукции, малопроизводительны и неэкономичны. Поэтому применение вихретоковых толщиномеров для измерения толщины покрытий дает, как правило, значительный технический и экономический эффект. Вихретоковые толщинометры можно классифицировать по виду ОК и по конструктивному исполнению. По виду ОК выделяют толщинометры: изоляционных покрытий на электропроводящих основаниях, электропроводящих покрытий на изоляционных основаниях и электропроводящих слоев (стенок труб, фольги, лент, листов), электропроводящих покрытий на электропроводящих основаниях.

По конструктивному исполнению различают портативные и переносные толщинометры.

Основные характеристики — *диапазон измерений и предел допускаемой основной погрешности*. Однако специфика вихретоковых толщиномеров заключается в том, что методическая погрешность определяется в значительной степени свойствами ОК и условиями взаимодействия ВТП и ОК. Если инструментальная погрешность может быть уменьшена до вполне приемлемого значения обычными приемами снижения погрешности средства измерения, то с погрешностью, связанной с ОК, как правило, не удастся справиться так просто. Ее не всегда можно установить достаточно достоверно, поскольку требуются аттестованные образцы толщины покрытий. Их трудно изготовить и аттестовать с

погрешностью менее 1%, а это означает, что погрешность прибора не может быть меньше 3 %, так как по действующим стандартам погрешность образцовых мер должна быть примерно в 3 раза меньше погрешности поверяемого средства измерения. Особенно большие затруднения возникают при аттестации толщиномеров малых толщин покрытий (единицы — десятки микрометров).

Зарубежные фирмы приводят только инструментальную погрешность прибора, причем под ней чаще всего понимается разброс показаний при многократных измерениях. Действующие в России стандарты требуют указания погрешности измерения прибора, включая и случайную составляющую погрешности, которая превышает погрешность инструментальную. Поэтому паспортная погрешность отечественных толщиномеров (около 2...3 %), как правило, больше, чем зарубежных (1%), хотя это и не всегда отражает истинное положение.

Диапазон измеряемых величин обусловлен назначением толщиномеров и характеристиками ОК. Для большинства толщиномеров изоляционного покрытия на проводящем основании он составляет от 5 мкм до 2 мм, а в специальных приборах — до 50 и даже до 400 мм; для толщиномеров электропроводящего слоя — от 0,005 до 2 мм; для толщиномеров проводящих покрытий на проводящем основании — от 0,005 мкм до 0,3 мм.

Диаметром зоны измерения, который может колебаться в широких пределах — от единиц до десятков миллиметров, а в отдельных случаях до нескольких сотен миллиметров, определяется выбор размеров ВТП. Остальные характеристики толщиномеров относятся к общим для электронных измерительных средств: масса, мощность потребления, показатели надежности, срок службы и др.

Толщинометры изоляционных покрытий на электропроводящих основаниях

Покрытия из изоляционных материалов на металлических основаниях наносят для теплозащиты, защиты от агрессивных сред и атмо-

сферных воздействий, они также выполняют декоративные и другие функции. Материалом покрытия могут служить: лак, краска, эмаль, стекло, резина, пластмасса, оксидные и фосфатные слои. Если основание выполнено из ферромагнитных материалов, то эффективнее применять магнитные толщиномеры. Типичные неферромагнитные электропроводящие основания — алюминиевые сплавы, латунь, бронза, медь и др.

Особый случай использования толщиномеров рассматриваемого типа — это измерение толщины изоляционных слоев с помощью так называемых закладных элементов, представляющих собой металлические пластинки или фольгу, закладываемые в технологическом процессе в диэлектрический объект и покрываемые затем слоями диэлектриков, толщину которых необходимо измерять. С помощью этого определяют толщину асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог в процессе строительства и эксплуатации, диэлектрических слоев композиционных материалов, выполненных намоткой из стеклоткани и др.

Толщиномеры диэлектрических покрытий можно условно разделить на портативные и переносные. В последнее время приборы этого типа часто выполняют как комбинацию вихретоковых и магнитных толщиномеров. С их помощью можно измерять толщину любых изоляционных покрытий на электропроводящих неферромагнитных основаниях и любых неферромагнитных покрытий (изоляционных и проводящих) на ферромагнитных основаниях.

В качестве типичного примера отечественного толщиномера диэлектрических покрытий можно привести толщиномер ВТ-201 (рис. 5). Он предназначен для измерения толщины неметаллических покрытий (краска, эмаль, пластик и т.д.) на немагнитном основании (алюминий, медь, титан) по ГОСТ Р 51694, ГОСТ 18353 (ИСО 2808).

Задача измерения толщины электропроводящих слоев возникает при контроле металлических листов, лент, фольги, труб, баллонов, деталей плоской формы, а так-



Рис. 5. Общий вид вихретокового толщиномера покрытий ВТ-201

же при контроле металлических покрытий на изоляционных основаниях. Следует учитывать, что для измерения толщины металлических объектов с успехом применяют ультразвуковые толщиномеры, обладающие высокой точностью. Так как результаты измерений вихретоковыми толщиномерами принципиально зависят от удельной электрической проводимости материала ОК, а также от зазора между ВТП и ОК, то погрешности вихретоковых толщиномеров обычно больше, чем ультразвуковых. Поэтому вихретоковые толщиномеры электропроводящих слоев оказываются конкурентоспособными лишь при измерении малых толщин (не более 2 мм), а также в тех случаях, когда невозможен акустический контакт преобразователя с ОК.

При измерении толщины электропроводящих слоев можно выделить два основных мешающих фактора: изменения зазора h и удельной электрической проводимости σ . Следовательно, это более сложная задача, чем при измерении изоляционных покрытий на проводящих основаниях. Показания большинства приборов не зависят от влияния одного из мешающих факторов, обычно от изменений зазора. Эту независимость реализуют способом проекций либо фазовым способом. Для подавления влияния обоих мешающих факторов применяют

двухчастотные способы с использованием амплитудно-фазовых характеристик сигналов на каждой частоте. Следует, однако, иметь в виду, что допустимые диапазоны вариации мешающих факторов обычно невелики.

Еще одна область применения вихретоковых толщиномеров — измерение толщины электропроводящих покрытий на изоляционной основе, например, при производстве фольгированных листов из стеклотекстолита, применяемого в качестве основы печатных плат; в зеркальной промышленности при нанесении декоративных металлических покрытий на пластмассы. Особенность задачи измерения толщины тонких (до 150 мкм) электропроводящих покрытий состоит в том, что в этом случае практически невозможно разделить влияние толщины T и удельной электрической проводимости σ на выходной сигнал ВТП и толщиномер реагирует, по существу, на изменение произведения σT . Годографы $U_{\text{ин}}(\sigma)$ и $U_{\text{ин}}(T)$, сближаясь, принимают форму полуокружности, соответствующей бесконечно тонкому слою.

В заключение следует отметить, что вихретоковые толщиномеры покрытий практически вне конкуренции при измерении изоляционных покрытий на электропроводящих неферромагнитных основаниях в широком диапазоне толщин покрытий (от единиц микрометров до десятков сантиметров). Они успешно применяются также для измерения толщины электропроводящих неферромагнитных слоев (до 0,2 мм) на изоляционных основаниях. Правда, здесь с ними конкурируют радиационные (радиоизотопные и рентгенофлуоресцентные) толщиномеры, особенно эффективные при контроле покрытий малой толщины (до 30 мкм) на металлических основаниях. При пользовании этими приборами не имеет значения материал покрытия и основания (проводящий или непроводящий, ферро- или неферромагнитный), важно лишь, чтобы атомные номера химических элементов материалов покрытия и основания различались на 1...2 единицы. Недостаток приборов этого

типа — большая стоимость (по сравнению с вихретоковыми приборами) и необходимость соблюдения требований радиационной безопасности.

Особое место среди вихретоковых толщиномеров занимают приборы для измерения электропроводящих покрытий на электропроводящем основании, главным образом это толщиномеры гальванических и плакированных покрытий.

Практически неограниченное сочетание материалов с разными значениями электромагнитных параметров покрытия и основы затрудняет создание универсального толщиномера покрытий. Поэтому такие толщиномеры практически не выпускаются серийно и предназначены для ограниченного набора сочетаний электромагнитных параметров. Так, например, толщиномер гальванических покрытий ТЛ-1МП (рис. 6) [12] позволяет измерять никелевое или медное покрытие на слабомагнитном и немагнитном основании.



Рис. 6. Общий вид вихретокового толщиномера гальванических покрытий ТЛ-1МП

Однако при наличии у потребителя мер толщины с другими сочетаниями материалов возможно обучение прибора для решения дополнительных задач толщинометрии. Главным требованием для осуществления толщинометрии покрытий вообще и в данном приборе в частности является различие величин, характеризующих электромагнитные свойства материалов покрытия и основы, не менее чем в 1,5 раза.

Измерители удельной электрической проводимости металла

В измерителях удельной электрической проводимости обычно применяют накладные ВТП.

Они относятся к двухпараметровым приборам, в которых пода-

ляется влияние изменений зазора. Кроме того, существует ряд других мешающих факторов, влияние которых необходимо учитывать: кривизна и шероховатость поверхности, влияние края и толщины ОК [11].

Режим работы ВТП обычно соответствует обобщенному параметру $\beta = 5 \dots 10$, что несколько больше значения, обеспечивающего максимальную чувствительность ВТП к изменению удельной электрической проводимости [1]. Благодаря этому глубина проникновения вихревых токов в ОК невелика, что позволяет измерять удельную электрическую проводимость материала объектов малой толщины без дополнительной погрешности, связанной с возможными изменениями толщины ОК. Приборы обеспечивают измерение в диапазоне $0,5 \dots 60$ МСм/м, что полностью перекрывает диапазон значений неферромагнитных металлов и сплавов, используемых в машиностроении. Погрешность измерения удельной электрической проводимости согласно ГОСТ 27333–87 «Контроль неразрушающий. Измерение удельной электрической проводимости цветных металлов вихретоковым методом» не должна превышать 3 % в диапазоне $0,5 \dots 60$ МСм/м и 2 % в диапазоне $3 \dots 37$ МСм/м.

Для исключения влияния основных мешающих факторов (краевого эффекта для ОК, имеющих недостаточную величину площадки; толщины для тонких ОК; толщины плакирующего слоя; кривизны поверхности) на погрешность измерений согласно ГОСТ 27333–87 рекомендуется вводить поправки. Размеры накладных ВТП определяют зону контроля и минимально допустимую толщину ОК. Перед измерениями вихретоковый прибор настраивают по двум стандартным образцам с разной удельной электрической проводимостью.

При прокате листов возникает анизотропия механических свойств ОК, которая зачастую может интересовать потребителя. Однако классические измерители удельной электрической проводимости позволяют измерить усредненное значение по всем направлениям. В ЗАО «НИИ-ИН МНПО «Спектр» удалось создать уникальный прибор ВАЭ-10Н

(рис. 7), с помощью которого можно определять удельную электрическую проводимость алюминиевых сплавов в определенном направлении. Тем самым прибор дает возможность контролировать изделия с учетом анизотропии свойств материалов.



Рис. 7. Измеритель анизотропии удельной электрической проводимости ВАЭ-10Н

Как отмечалось выше, измерители удельной электрической проводимости обычно имеют отстройку от влияния изменений зазора, что позволяет проводить измерения под диэлектрическим покрытием. Но часто в качестве защитных покрытий применяют и электропроводящие, что добавляет еще один мешающий фактор — удельную электрическую проводимость покрытия. Да и толщина покрытия влияет не так, как зазор. Поэтому приборов для решения таких задач не существует. Однако ряд научно-исследовательских работ, проведенных в ЗАО «НИИ-ИН МНПО «Спектр», дает возможность создать измеритель удельной электрической проводимости алюминиевых сплавов под алюминиевой плакировкой независимо от толщины этой плакировки и одновременно с этим измерить саму толщину плакировки независимо от удельной электрической проводимости основы. Важна лишь стабильность удельной электрической проводимости покрытия, что в данном случае обеспечивается применением для плакировки технически чистого алюминия.

Приборы для контроля физико-механических характеристик металлических объектов

Вихретоковые средства НК позволяют оценивать химический состав электропроводящих объектов, выявлять изделия из неза-

планированных марок сталей, металлов и их сплавов; оценивать твердость, прочностные характеристики, качество термической и химико-термической обработки объектов, в том числе их поверхностных слоев и т.д. Такие приборы могут выявлять неоднородные по структуре зоны, например мягкие пятна или пятна повышенной твердости, оценивать глубину и качество механической, термической и химико-термической обработки на разных стадиях технологического процесса производства; определять степень механических напряжений, выявлять зоны усталости, контролировать качество поверхностных слоев.

Непроизводительные и дорогостоящие механические, металлографические и химические испытания можно заменить неразрушающим вихретоковым контролем только при установлении корреляционных связей между физико-химическими свойствами материала и сигналами преобразователя. Эти связи проявляются через электрофизические свойства материала, т.е. через удельную электрическую проводимость и магнитные характеристики. Поэтому при решении вопроса о возможности контроля того или иного параметра электромагнитным прибором необходимо знать, как влияет этот параметр на электромагнитные свойства материала.

Физико-механические характеристики металлических объектов в значительной степени обуславливаются структурой металла, поэтому приборы для определения таких характеристик для краткости называют структуроскопами.

Вихретоковыми структуроскопами можно измерять мгновенное значение несинусоидального напряжения преобразователя при перемагничивании стали в средних и сильных переменных магнитных полях либо амплитуду и фазу первой гармоники при перемагничивании объекта в слабых полях. Чтобы уменьшить влияние на показания приборов ряда мешающих факторов, необходимо разработать подробные методики контроля, основанные на экспериментальных статистических данных.

Вихретоковые структуроскопы разделяют на приборы для контроля объектов в низкочастотных полях большой напряженности; приборы, контролирующие изделия в высокочастотных полях малой напряженности; а также приборы, использующие двух-, трех- или четырехчастотные возбуждающие поля.

Эти приборы используются в первую очередь для контроля изделий из ферромагнитных материалов. Они снабжены проходными преобразователями, создающими сильные электромагнитные поля, которые при перемагничивании ОК захватывают нелинейный участок кривой намагничивания. Это дает возможность использовать при обработке сигнала ВТП метод высших гармоник, когда такой сигнал раскладывается в ряд Фурье и анализируются не только первая, но и более высокие гармоники, что повышает информативность контроля. Работают структуроскопы на низких частотах, как правило, это 20 ... 500 Гц. В качестве примера такого структуроскопа можно привести ВС-2010 (рис. 8).

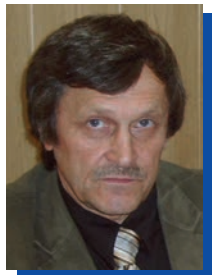


Рис. 8. Вихретоковый структуроскоп ВС-2010

Библиографический список

1. Бакунов А.С., Степанова В.А. К вопросу контроля удельной электрической проводимости // Методы и приборы автоматического неразрушающего контроля / Рижский политехн. ин-т. Рига, 1980. С. 110–117.
2. ГОСТ 26697–85 (ДСП). Контроль неразрушающий. Дефектоскопы магнитные и вихретоковые. Общие технические требования. Введ. 2002-01-01. М.: Изд-во стандартов, 1987. 21 с.
3. ГОСТ 18353–79. Контроль неразрушающий. Классификация. Введ. 1979-11-11. М.: Изд-во стандартов, 1980. 21 с.
4. ГОСТ Р 51694–2000 (ИСО 2808–97). Материалы лакокрасочные. Определение толщины покрытия. Введ. 2000-12-22. М.: ФГУП «Стандартинформ», 2005. 21 с.
5. ГОСТ 27333–87. Контроль неразрушающий. Измерение удельной электрической проводимости цветных металлов вихретоковым методом. Введ. 1988-01-07. М.: Изд-во стандартов, 1987. 11 с.
6. Ефимов А.Г., Шубочкин А.Е. Современные тенденции развития вихретоковой дефектоскопии и дефектометрии // Контроль. Диагностика. 2014. № 3. С. 68–73.
7. Ефимов А.Г., Шубочкин А.Е., Мартынов Е.В. Современные вихретоковые системы неразрушающего контроля металлопроката // Контроль. Диагностика. 2014. № 12. С. 19–21.
8. Федосенко Ю.К., Шкатов П.Н., Ефимов А.Г. Вихретоковый контроль: учеб. пособие для подготовки специалистов по неразрушающему контролю и технической диагностике / РОНКТД; под общ. ред. В.В. Ключева. 2-е изд. М.: ИД «Спектр», 2014. (Диагностика безопасности).
9. Ефимов А.Г., Бакунов А.С., Шубочкин А.Е. Современные системы для поточного неразрушающего контроля металлопроката // XX Всерос. науч.-техн. конф. по неразрушающему контролю и технической диагностике: докл. конф. М.: ИД «Спектр», 2014.
10. Шубочкин А. Е. Развитие и современное состояние вихретокового метода неразрушающего контроля. М.: ИД «Спектр», 2014. 285 с.
11. Бакунов А.С. Эволюция аппаратуры для вихретоковой структуроскопии цветных металлов в России // Контроль. Диагностика. 2004. № 4. С. 63–64.
12. Бакунов А.С., Шубочкин С.Е., Калосин В.А., Рудаков А.С. Измерение толщины гальванических покрытий на изделиях из металла // Контроль. Диагностика. 2004. № 6. С. 49–51. ■

АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ВИХРЕТОКОВОГО КОНТРОЛЯ ТРУБ ПАРОГЕНЕРАТОРОВ АЭС



ЛУНИН
Валерий Павлович
Д-р техн. наук, проф.

Научно-исследовательский университет
«Московский энергетический институт», Москва



ЖДАНОВ
Андрей Геннадьевич
Канд. техн. наук

Проблема безопасной эксплуатации АЭС и повышения эффективности и достоверности неразрушающего контроля теплообменных труб (ТОТ) парогенераторов (ПГ) АЭС актуальна и требует безусловного решения. Для инспекции труб ПГ на АЭС широко используется многочастотный вихретоковый метод контроля. По его результатам проводят глушение труб, содержащих критические и сквозные дефекты [1].

Анализ эксплуатационных сигналов вихретокового преобразователя (ВТП) сопряжен со значительными трудностями, обусловленными наличием как множества мешающих факторов, таких как сигналы от конструктивных элементов, гибов и отложений, так и шумов, наложенных на сигнал. Помимо этого анализ сигналов с использованием существующего программного обеспечения не дает возможности объективно и оперативно анализировать большие объемы данных, получаемых при контроле ПГ.

В настоящее время на АЭС России применяется несколько систем многочастотного вихретокового

контроля теплообменных труб парогенераторов:

- Harmonic-210 (набор частот 60, 130 и 280 кГц, программное обеспечение AIDA v.6.7);
- Zetec MIZ-70 (набор частот 25, 100, 200 и 700 кГц, программное обеспечение EddyOne);
- Technatom Teddy (набор частот 30, 70, 140 и 210 кГц, программное обеспечение Teddy).

Большинство модулей этих программно-аппаратных комплексов для проведения контроля представляют собой универсальные и надежные компоненты (манипулятор, вихретоковый дефектоскоп и вихретоковый преобразователь). Кроме того, применение именно таких установок для контроля и таких типов преобразователей регламентировано руководящими документами по атомной отрасли. Слабым звеном всего комплекса при проведении контроля является программное обеспечение, производящее диагностику состояния ТОТ по результатам собранных сигналов.

Все применяемые в настоящее время программы обработки сиг-

налов контроля могут работать только с сигналами одной конкретной установки, т.е. для обнаружения дефектов по сигналам ВТП полагаются на оператора. При этом оператор подвержен усталости, имеет ограниченную скорость обработки данных, способен принимать неправильные решения (пропустить дефект или зафиксировать ложный дефект). Для решения этой проблемы необходим автоматизированный программный комплекс, позволяющий исключить человеческий фактор при анализе сигналов ВТП ТОТ ПГ АЭС. При этом участие оператора не исключается, но он подключается после процедуры автоматической обработки, чтобы внести возможные корректировки в результат автоматического анализа и создать диагностическое заключение по конкретной трубке.

Автоматизация обработки данных вихретокового контроля должна устранить все недостатки существующей процедуры просмотра сигналов в ручном режиме: малая скорость контроля, необъективность контроля, пропуск дефектов и достоверность контроля. То есть в результате автоматизации обработки данных вихретокового контроля ТОТ ПГ АЭС должна возрасти скорость обработки данных, повыситься выявляемость дефектов, а также увеличиться достоверность контроля.

Общий алгоритм обработки данных

Этапы проектирования алгоритмического обеспечения системы вихретокового контроля теплообменных труб парогенераторов АЭС с помощью проходного дифференциального преобразователя включают в себя разработку алгоритмов предварительной об-



Рис. 1. Алгоритм автоматической обработки данных ВТК ТГТ ПГАЭС

работки сигналов, обеспечивающих фильтрацию помех и отстройку от влияния мешающих факторов, а также алгоритмов обнаружения и оценки размеров дефектов.

Для решения задачи автоматизации обработки сигналов вихретокового преобразователя при

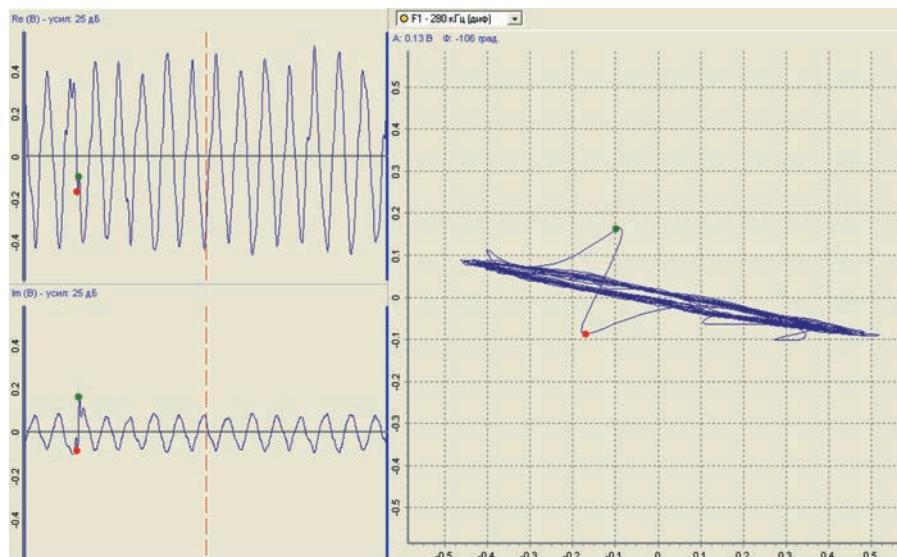


Рис. 2. Фрагмент сигнала на частоте 280 кГц (SNR = 0 дБ)

контроле ТГТ ПГАЭС была создана программа PIRATE [2] – Program for Identification & Recognition of defects through signal Analysis in Testing by Eddy currents (Программа для автоматического обнаружения, выделения и параметризации дефектов труб ПГАЭС по результатам вихретокового контроля). Целью программного обеспечения является осуществление объективного обнаружения дефектов на ТГТ ПГАЭС по сигналам ВТП, что поможет аналитику в решении задачи анализа сигналов и выдачи заключения о необходимости глушения ТГТ или о продолжении ее эксплуатации. Структурная схема алгоритма обработки данных представлена на рис. 1.

Модуль отстройки от геометрического шума

Геометрический шум (пильгершум) является одним из основных мешающих факторов при автоматической и экспертной обработке сигналов вихретокового контроля. Искажение формы и признаков сигналов этой помехой делает невозможным достоверное обнаружение и определение геометрических параметров дефектов.

Для отстройки были испытаны такие алгоритмические технологии, как: дескрипторы Фурье [3], искусственные нейронные сети с радиально-базисной активационной

функцией [4], дискретное косинусное преобразование [5], различные алгоритмы фильтрации и аппроксимирующие функции [6]. Однако в качестве алгоритма отстройки был выбран линейный компенсационный метод подавления сигналов от различных мешающих факторов, базирующийся на векторной комбинации сигналов разных частот, поскольку многочастотный ВТК обладает известной способностью отстройки путем комбинирования сигналов на разных частотах, представленных в цифровой форме [7]. Предложенный метод отличается от существующих простотой реализации универсальностью – используя этот метод, можно подавлять сигналы от различных мешающих факторов. Кроме того, разнообразие способов компенсации позволяет решить конкретную задачу оптимальным образом. При работе с реальными сигналами вихретокового контроля ТГТ ПГАЭС предлагаемый метод показал лучший результат [8].

Основой метода является создание комбинированного комплексного сигнала, который вычисляется по формуле

$$\dot{M} = \dot{F}_1 + \underline{\alpha} \dot{F}_2, \quad (1)$$

где $\underline{\alpha}$ – комплексный коэффициент компенсации; $\dot{F}_1$ и $\dot{F}_2$ – сигналы ВТП на двух разных частотах, с помощью которых необходимо провести компенсацию (в общем

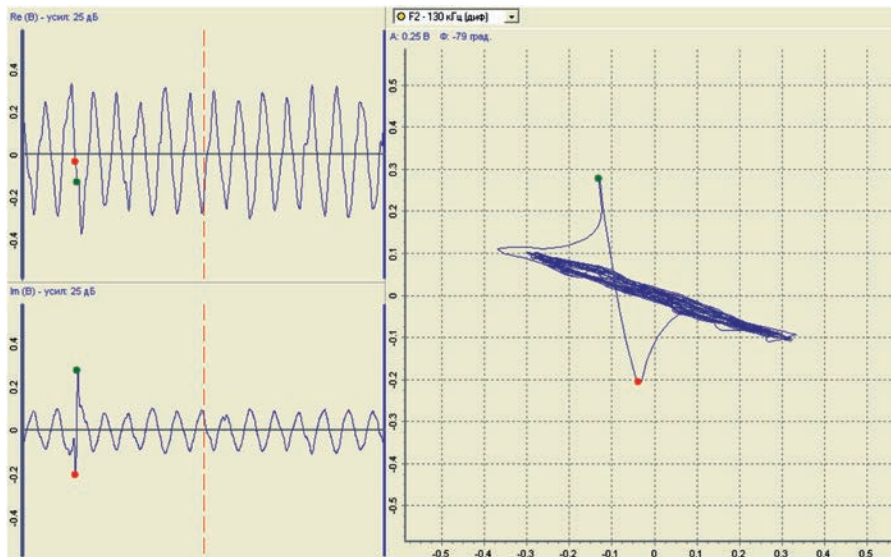


Рис. 3. Фрагмент сигнала на частоте 130 кГц ($SNR = 2$ дБ)

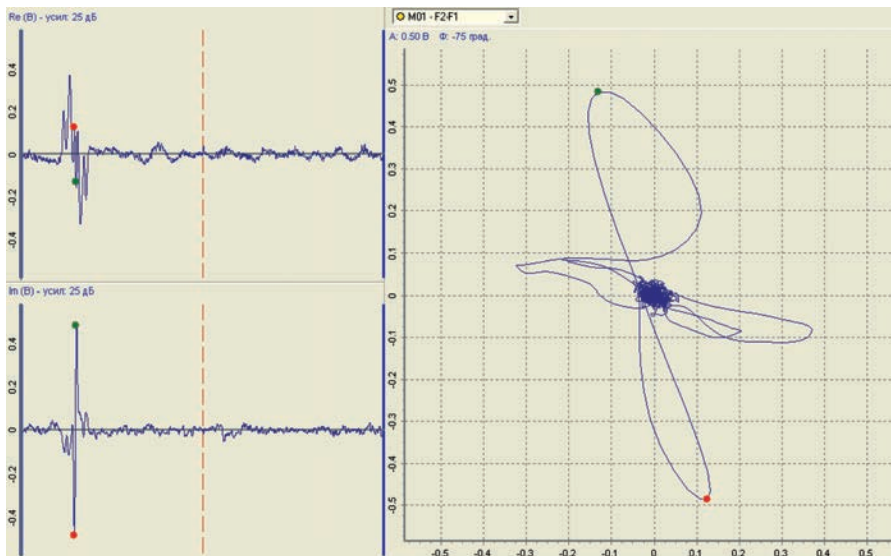


Рис. 4. Тот же фрагмент комбинированного сигнала M01 частот 130 и 280 кГц ($SNR = 10$ дБ)

случае в качестве источников-слабых могут быть использованы другие комбинированные сигналы); $\dot{M}$ – результирующий сигнал компенсации. Целью компенсации является максимальное ослабление сигнала мешающего фактора, при этом, по возможности, не искажая полезный сигнал. Из этого условия выбирается коэффициент компенсации

$$\begin{aligned} \dot{M}(\text{noise}) &\rightarrow 0; \\ \alpha &= -\frac{F_1(\text{noise})}{F_2(\text{noise})}. \end{aligned} \quad (2)$$

То есть комбинированный сигнал на участке мешающего фактора (например, пыльгер-шума) должен стремиться к нулю. Пример применения отстройки от пыльгер-шума с использованием процедуры комбинирования сигналов представлен на рис. 2–4 (скриншоты взяты из программы автоматизированной обработки вихретоковых сигналов PIRATE, все напряжения по осям графиков даны в вольтах).

Для оценки качества отстройки были проведены измерения отно-

шения энергии сигнал/шум по формуле

$$SNR = 20 \lg \frac{\sum_{\text{defect}} v_i(v_i)}{\sum_{\text{noise}} v_i(v_i)} \quad (3)$$

После отстройки от геометрического шума на сигнале еще остается влияние элементов дистанционирования. Следующим этапом обработки данных является обнаружение и отстройка от влияния конструктивных элементов.

Отстройка от влияния конструктивных элементов

В большинстве случаев дефекты теплообменных труб парогенераторов АЭС развиваются не на свободных участках, а в области их контакта с дистанционирующими и антивибрационными решетками, а также в зоне развальцовки.

Сигнал вихретокового преобразователя от дистанционирующей решетки, так же как и пыльгер-шум, имеет детерминированный характер, поэтому для отстройки от влияния решетки также можно использовать линейную комбинацию сигналов разных частот. Сложность при подобной отстройке представляет пыльгер-шум, искажающий как полезный сигнал от дефектов, так и мешающий сигнал от дистанционирующих элементов, делая сигналы решеток менее детерминированными. Поэтому для применения линейной комбинации сигналов и отстройки от конструктивных элементов необходимо сначала провести отстройку от пыльгер-шума описанным методом, а затем, используя алгоритм линейной комбинации, устранить влияние дистанционирующих решеток.

Комбинированный комплексный сигнал при этом вычисляется по обобщенной формуле для всего сигнала ВТП

$$\dot{M} = \dot{M}_1 + \alpha \dot{M}_2, \quad (4)$$

где α – комплексный коэффициент компенсации; $\dot{M}_1$ и $\dot{M}_2$ – сигнал ВТП на комбинированных каналах, на которых произведена отстройка от пыльгер-шума; $\dot{M}$ – результирующий сигнал компенса-

ции. Основной целью компенсации является максимальное ослабление сигнала решетки, при этом, по возможности, не искажая полезный сигнал. Для выполнения этого условия выбирается коэффициент компенсации

$$\begin{aligned} \dot{M}(\text{support_plate}) &\rightarrow 0; \\ \alpha &= -\frac{M_1(\text{support_plate})}{M_2(\text{support_plate})}. \end{aligned} \quad (5)$$

В такой постановке задачи комбинированный сигнал на участке дистанционирующих решеток должен стремиться к нулю. Пример применения отстройки от дистанционирующих решеток с применением комбинирования сигналов представлен на рис. 5–7 (скриншоты взяты при использовании программы PIRATE, все напряжения по осям даны в вольтгах).

Алгоритмы автоматического обнаружения дефектов

Существует множество алгоритмов выявления особенностей на сигналах: пороговая обработка, алгоритмы на основе времячастотного преобразования Фурье, алгоритмы расчета энергетических параметров сигналов, вейвлет-анализ и др. [9]. При этом качество алгоритма выделения сигналов от дефектов оценивается по следующим критериям:

- однозначность выделения дефектов (в результате работы алгоритма не должно быть пересекающихся областей для анализа);
- выделение полной зоны влияния дефекта (не должно быть смещенных относительно центра дефекта зон для анализа параметров дефекта);
- выделение каждого дефекта для отдельного анализа (не должно быть объединения зоны двух и более дефектов в одну зону, поскольку это усложнит дальнейший анализ геометрических параметров).

Все эти условия были сформулированы исходя из необходимости выявить дефекты, а также зо-

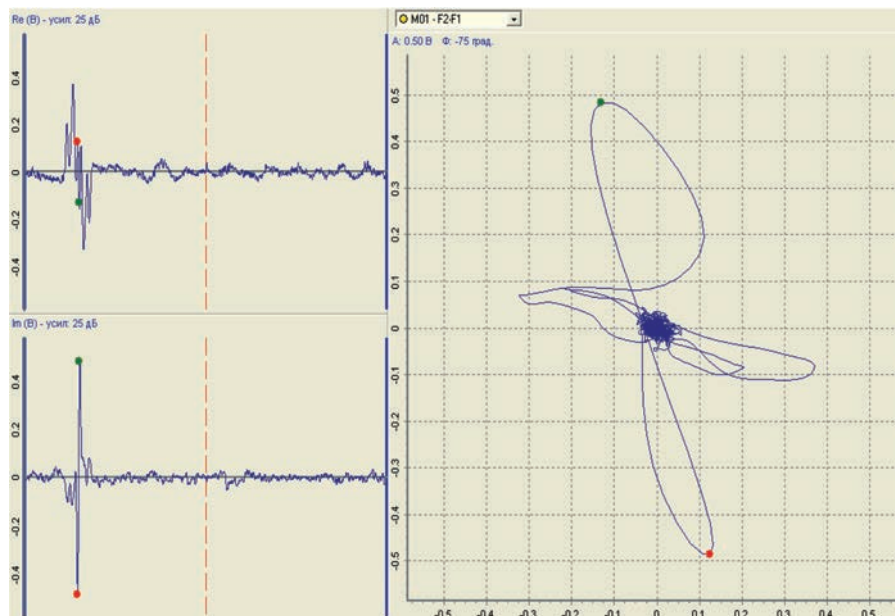


Рис. 5. Фрагмент комбинированного сигнала M01 частот 130 и 280 кГц для отстройки от пильгер-шума

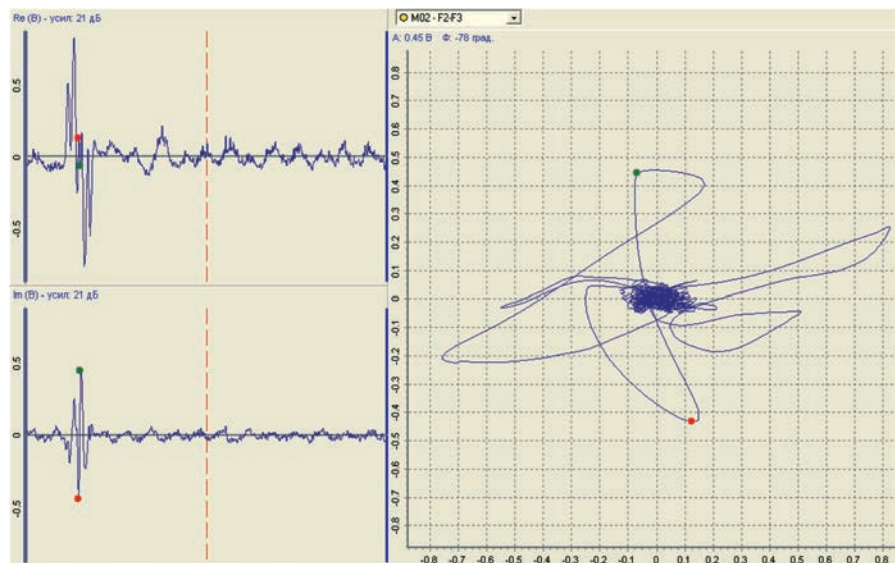


Рис. 6. Фрагмент сигнала комбинированного канала M02, созданного из частот 130 и 60 кГц для отстройки от пильгер-шума

ны сигнала, в которых возможно наличие дефектов. Причем выделенный участок сигнала должен быть проанализирован в дальнейшем, и должна быть дана оценка геометрических параметров дефектов, если они присутствуют на найденном участке. Сигналы от дефектов на дифференциальных сигналах ВТП представляют собой возмущение вносимого напряжения ВТП относительно нулевого уровня — сначала в одну сторону, затем в противополож-

ную. Простейшим алгоритмом выявления является пороговая обработка, которая не дает удовлетворительных результатов по причине сложности формы сигнала, а также зашумленности реальных сигналов.

Для устранения этих ограничений был разработан алгоритм на основе согласованного фильтра, который позволяет распознавать участки сигналов от дефектов не как возмущения, а выявлять их по характерной

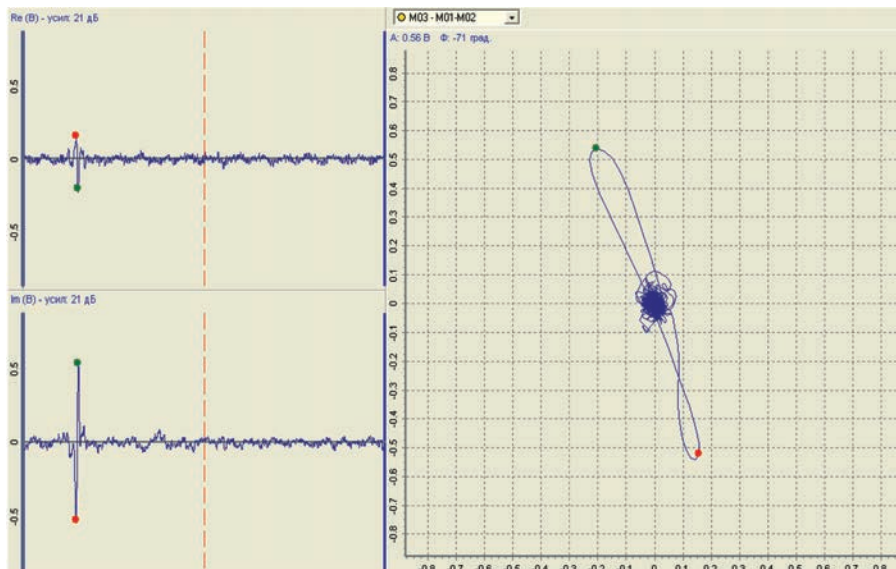


Рис. 7. Фрагмент сигнала комбинированного канала M03, созданного из линейной комбинации каналов M01 и M02 для отстройки от дистанционирующей решетки

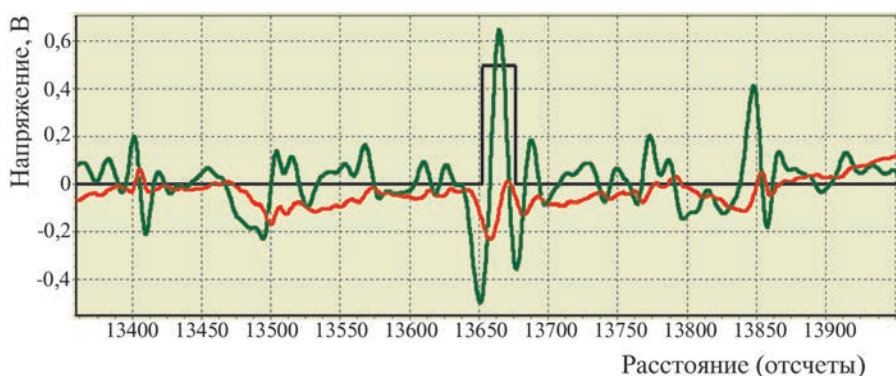


Рис. 8. Пример выделения сигнала ВТП от дефекта (красным показана одна из компонент анализируемого сигнала, результат применения согласованного фильтра с отмеченным порогом выявления дефектов)

форме [10]. Согласованный фильтр — это фильтр, передаточная функция которого пропорциональна основной характеристике диагностического сигнала. Этот фильтр используется как простой корреляционный классификатор с передаточной функцией. Shankar и Mucciardi [11] использовали этот прием для того, чтобы построить массив фильтров, каждый из которых соответствует известному классу сигналов. Неизвестный (тестируемый) сигнал затем автоматически относится к какому-либо из классов по результатам откликов его свертки с фильтрами из этого массива. Результат согласованной фильтрации для дис-

кретного сигнала может быть представлен как

$$W_i = \frac{1}{\sqrt{\alpha}} \sum_{k=-msk}^{msk} S_{i+k} \psi\left(\frac{(i+k) \text{ step}}{\alpha}\right), \quad (6)$$

где W_i — сигнал, получаемый в результате проведения процедуры согласованной фильтрации; S_i — исходный сигнал (одна из компонент комплексного сигнала ВТП или комбинированного канала); step — шаг сканирования ВТП; α — масштабный коэффициент; ψ — передаточная характеристика фильтра; msk — эффективная ширина передаточной функции.

Форма сигналов ВТП от дефектов совпадает с формой первой производной функции Гаусса,

поэтому в качестве передаточной функции согласованного фильтра используется сигнал этой функции. Шаг сканирования определяется по известным расстояниям между реперными точками на сигнале, предполагая, что скорость движения ВТП на этом участке не изменялась. Масштабный коэффициент вычисляется таким образом, чтобы расстояние между экстремумами сигнала ВТП от дефекта совпадало с расстоянием между экстремумами передаточной функции (это фиксированная величина для конкретного сигнала, но должна пересчитываться для другого сигнала исходя из шага сканирования). Таким образом, алгоритм позволяет анализировать сигналы, полученные при различной скорости движения вихретокового преобразователя внутри ТОТ:

$$\alpha = -\frac{msk}{\text{step } Lc}. \quad (7)$$

Здесь msk, step и Lc задаются в миллиметрах ($Lc=3$ мм). Пример выделения сигнала ВТП от дефекта представлен на рис. 8.

Заключение

В результате применения алгоритма отстройки от геометрического шума удалось повысить соотношение сигнал/шум с 1–2 до 10 дБ.

Разработан и испытан метод компенсации влияния дистанционирующих элементов в сигнале вихретокового преобразователя при многочастотном контроле теплообменных труб ПГ АЭС. Применение разработанного алгоритма позволило увеличить соотношение сигнал/шум в 1,8–2,2 раза.

Предложен и исследован ряд алгоритмов выявления дефектов в сигнале вихретокового преобразователя, выбран алгоритм, имеющий наилучшие показатели в определении границ зон расположения дефектов и удовлетворяющий всем предъявленным критериям.

Проектирование алгоритмического обеспечения системы вихретокового контроля теплообменных труб парогенераторов АЭС завершается разработкой автоматизированного классифика-

тора дефектов и его настройкой, основной задачей которого является определение положения обнаруженного дефекта на теплообменной трубке (на внутренней или внешней поверхности, сквозной), а также оценка его геометрических параметров (глубины, осевой длины и объема) по некоторым информативным признакам соответствующих сигналов дифференциального вихретокового преобразователя на разных частотах.

Библиографический список

1. Лукасевич Б.И., Трунов Н.Б., Драгунов Ю.Г., Давиденко С.Е. Парогенераторы реакторных установок ВВЭР для атомных электростанций. М.: ИКЦ «Академкнига», 2004. 391 с.
2. Лунин В.П., Жданов А.Г., Шукис Е.Г., Лазуткин Д.Ю. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ «Программа анализа данных вихретокового контроля PIRA-TE» № 2007611344 от 28.03.07. М., 2007.
3. Sword C.K., Simaan M. Estimation of mixing parameters for cancellation of discretized eddy current signals using time and frequency domain techniques // Journal of Non-destructive Evaluation. 1985. V. 5. N 1. P. 27–35.
4. Udpa L., Lord W., Udpa S. Frequency domain methods for the analysis of multifrequency eddy current data // Review of Progress in Quantitative Nondestructive Evaluation. 1989. V. 8A. P. 329–336.
5. Jung H.-J., Song S.-J., Kim C.-H. et al. Investigation on multifrequency eddy current testing signal analysis for non-destructive inspection of steam generator tubes // Key Engineering Materials. 2006. V. 321–323. P. 460–463.
6. Zhdanov A., Lunin V. Approximating function for suppression of unwanted signals in eddy current data // Advanced Aspects of Theoretical Electrical Engineering, TU Sofia, Bulgaria, 2005. P. 145–150.
7. Udpa S., Ramuhalli P. Automated Analysis of Bobbin Coil Probe Eddy Current Data, EPRI, Palo Alto, CA: 2003.
8. Лазуткин Д.Ю., Жданов А.Г., Лунин В.П. Подавление сигналов от мешающих факторов при вихретоковом контроле теплообменных труб // МНТК «Информационные средства и технологии»: тез. докл. Т. 1. М.: Янус-К, 2007. С. 136–142.
9. Kawata K., Kurokawa M., Asada Y. US Patent #6424151: Method and apparatus for evaluation of eddy current testing signal. Mitsubishi Heavy Industries, Ltd, 2002.
10. Лунин В.П., Жданов А.Г., Кулагина Е.Г. Эффективные алгоритмы обработки вихретоковых сигналов при контроле теплообменных труб парогенераторов ВВЭР // 7-й Междунар. семинар по горизонтальным парогенераторам. Подольск, 2006. С. 65–67.
11. Mucciardi A.N., Shankar R. Signal processing for ISI // EPRI NP-1421. Section 4. May 1980.



Аппарат рентгеновский стационарный терапевтический "Рентген-ТА 150/10"

Аппарат предназначен для проведения рентгенотерапии в специализированных лечебных учреждениях и кабинетах.

Онкология. Дерматология и косметология. Офтальмология. Хирургия. Противовоспалительная рентгенотерапия.



Состав аппарата:

- пульт управления;
- штатив;
- рентгеновское питающее устройство, совмещенное с высоковольтным генератором (устанавливается на штативе);
- излучатель – металлокерамическая рентгеновская трубка с бериллиевым выходным окном;
- набор сменных фильтров;
- набор сменных коллиматоров пучка (тубусов);
- автономная система водяного охлаждения рентгеновской трубки (опция);
- стол двухсекционный с педальным гидроприводом для укладки пациента.



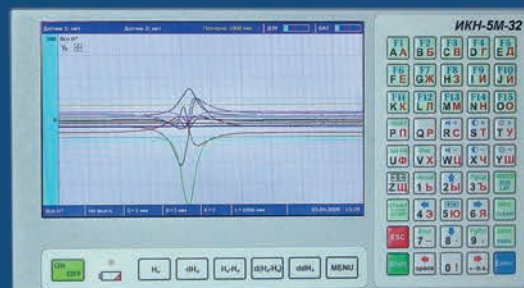
Приборы для ранней диагностики повреждений оборудования, трубопроводов и конструкций с использованием метода магнитной памяти металла



ИКН-7М-16



ИКН-8М-4



ИКН-5М-32

ИКН - измеритель концентрации напряжений - система измерения, регистрации и обработки данных диагностики напряженно-деформированного состояния оборудования и конструкций с использованием метода магнитной памяти металла
Сертификат Росстандарта RU.C.34.003.A №22258



ИКН-6М-8



Специализированные приборы и высокочувствительные датчики для бесконтактной магнитометрической диагностики теплопроводов, газопроводов и других трубопроводов, расположенных под слоем грунта, в труднодоступных каналах с целью определения участков, предрасположенных к повреждениям



ЭМИТ-1М -
электромагнитный индикатор трещин
Сертификат Росстандарта RU.C.27.002.A №35003

Тип 11-12К



ООО "Энергодиагностика"

Россия, 143965, г.Реутов, Московская область, Юбилейный проспект, 8, офис 12
Телефон/факс: +7-498-6502523; +7-498-6616135
www.energodiagnostika.ru E-mail: mail@energodiagnostika.ru

КОНТРОЛЬ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ РЕЛЬСОВОГО ПУТИ – НЕДОСТАЮЩЕЕ ЗВЕНО В ОБЕСПЕЧЕНИИ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ



ДУБОВ Анатолий Александрович

Д-р техн. наук, проф.

ООО «Энергодиагностика», г. Москва

Железные дороги являются сложными инженерно-техническими объектами с повышенной ответственностью за безопасность перевозок. Основным объектом контроля являются рельсы – на предмет наличия внутренних дефектов (трещин, расслоений, повреждений головок и т.п.), а также внешних свойств рельсов в виде изменения геометрии рельсового пути, локальных дефектов поверхности катания, сколов и т.п.

В последние годы в связи с появлением длинномерных бесстыковых рельсов и увеличением скорости движения поездов на железных дорогах возникла проблема схода поездов с рельсов из-за потери их устойчивости вследствие недостатка самокомпенсации температурных расширений.

При решении указанной проблемы кроме применения традиционной дефектоскопии требуется организация неразрушающего контроля (НК) фактического напряженно-деформированного состояния рельсового пути.

В настоящее время для контроля рельсов используют ультразвуковые, магнитные, оптические, механические методы НК и видеонаблюдения с использованием соответствующих приборов, установленных на мобильных средствах (автомотрис и вагонов-дефектоскопов).

Каждый из перечисленных измерительных приборов и методов НК, как правило, используется независимо друг от друга и имеет свои преимущества и недостатки. Однако ни один из указанных методов НК не

позволяет оценивать фактическое напряженно-деформированное состояние (НДС) рельсов.

Известно, что основными источниками повреждений рельсов являются зоны концентрации напряжений (ЗКН), в которых коррозионно-усталостные повреждения развиваются наиболее интенсивно.

Металлургические и технологические дефекты изготовления рельсов создают высокий уровень остаточных напряжений в локальных зонах и в сочетании с напряжениями от рабочих нагрузок вызывают ускоренное развитие повреждений.

Таким образом, отсутствие контроля НДС рельсов для определения локальных ЗКН является недостающим звеном в обеспечении надежности рельсов и безопасности движения поездов. Именно локальные ЗКН, возникающие на отдельных участках рельсов, вызывают потерю их устойчивости и создают проблему схода с рельсов поездов.

В России и других странах все большее распространение на практике при решении задачи определения локальных ЗКН в новых и находящихся в эксплуатации изделиях получает метод магнитной памяти металла (МПМ), разработанный фирмой ООО «Энергодиагностика» (Москва). На метод МПМ имеются российские и международные стандарты.

Согласно ГОСТ Р ИСО 24497-1–2009 «Контроль неразрушающий. Метод магнитной памяти металла. Термины и определения» метод МПМ – метод не-

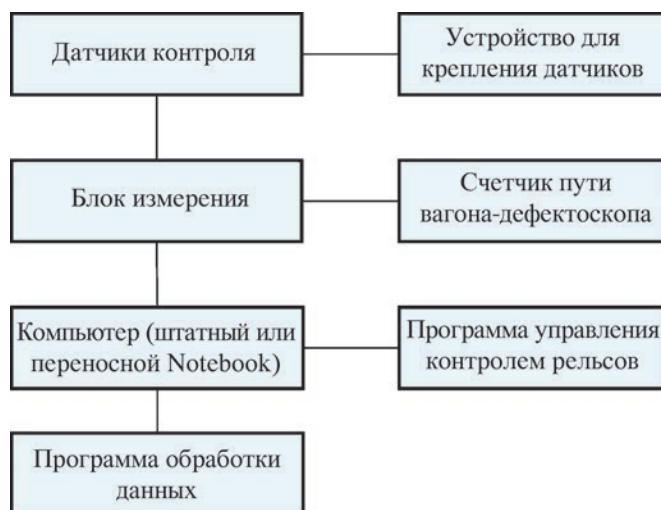


Рис. 1. Блок-схема приборно-компьютерного комплекса для контроля рельсов с вагоном-дефектоскопа



Рис. 2. Схема и направление контроля рельсового пути №1 и 2 на участке между станциями Gora Kalwaria и Tarczyn

разрушающего контроля, основанный на регистрации и анализе распределения собственных магнитных полей рассеяния (СМПП), возникающих в зонах концентрации напряжений и структурной неоднородности изделий. При этом СМПП отображают необратимое изменение намагниченности в направлении действия максимальных напряжений от рабочих нагрузок, а также структурную и технологическую наследственность изделий и сварных соединений после их изготовления и охлаждения в магнитном поле Земли.

Метод МПМ принципиально отличается от всех известных магнитных методов НК тем, что при его применении не требуется искусственное намагничивание изделия, а используется естественная намагниченность и последствие, которое проявляется в виде магнитной памяти металла к фактическим деформациям и структурным изменениям.

Метод МПМ не требует никаких подготовительных работ при выполнении контроля и отличается от других методов НК тем, что он указывает уровень концентрации напряжений, т.е. степень опасности выявленных дефектов.

Для выполнения контроля рельсов с использованием метода магнитной памяти металла специалистами ООО «Энергодиагностика» (г. Москва) разработан и изготовлен приборно-компьютерный комплекс, который был установлен в вагоне-дефектоскопе Центра диагностики Польских железных дорог.

На рис. 1 приведена блок-схема приборно-компьютерного комплекса.

В августе 2013 г. специалистами ООО «Энергодиагностика» (г. Москва) в содружестве со специалистами Центра диагностики РКР PLK с использованием указанного приборно-компьютерного комплекса по методу МПМ был выполнен контроль рельсовых путей на участке от города Gora Kalwaria до города Tarczyn общей протяженностью ~ 52 км. Для определения по-

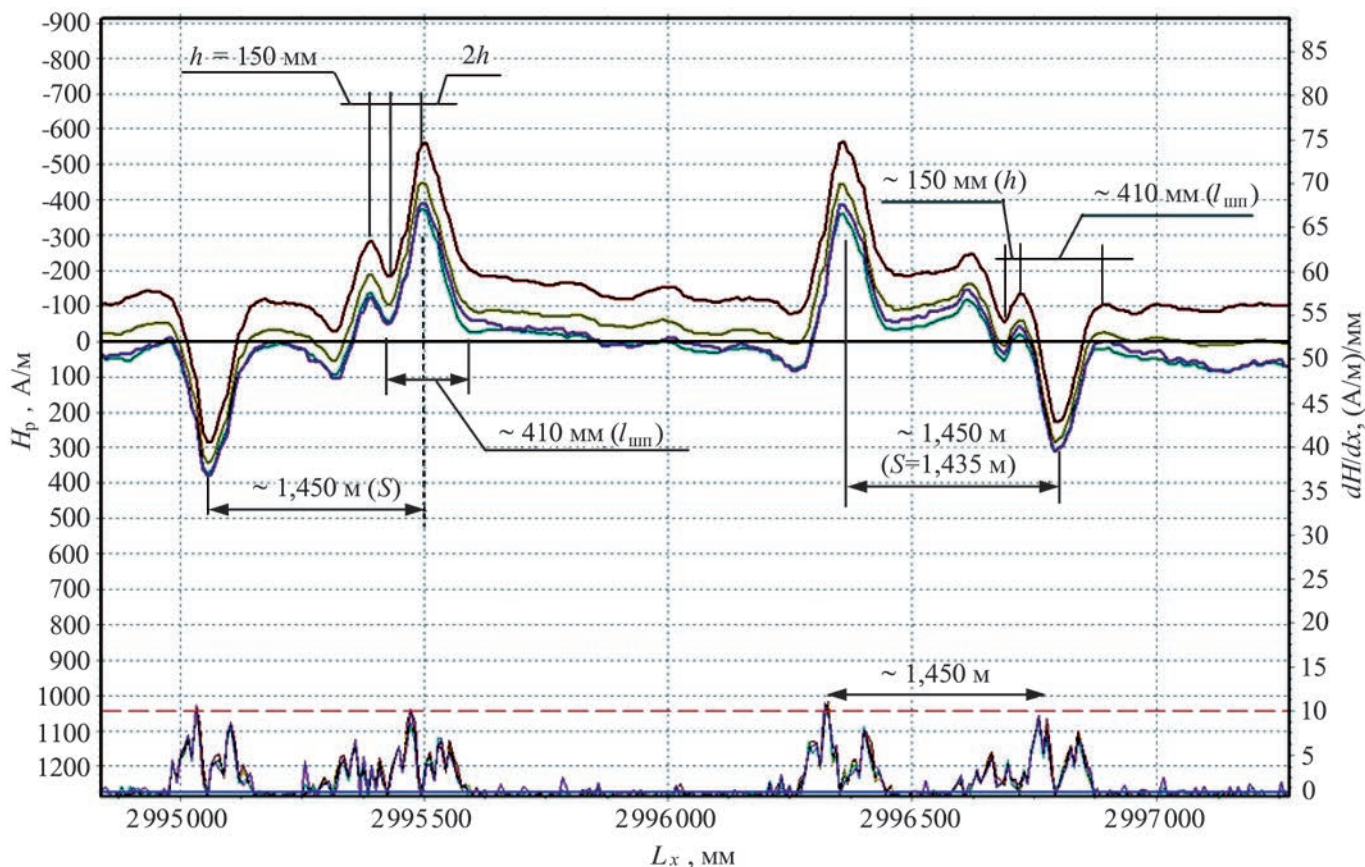


Рис. 3. Результаты контроля правого рельса пути №1 на участке 58,263–58,270 км:

H_p – величина собственного магнитного поля рельса; L_x – длина; dH/dx – градиент поля; S – ширина колеи; $l_{шп}$ – расстояние между шпалами; h – высота рельса

вторяемости результатов этот участок контролировали дважды.

На рис. 2 приведена схема и направление контроля рельсовых путей № 1 и 2 между станциями Gora Kalwaria и Tarczyn. Стрелками указано направление движения вагона-дефектоскопа.

Контроль выполняли с вагона-дефектоскопа при движении со скоростью до 50 км/ч. Счет длины пройденного пути осуществляли от «энкодера», подключенного к измерительному блоку приборного комплекса. Режим съема информации по методу МПМ был обусловлен режимом ультразвукового контроля, при котором установочный блок датчиков над рельсами поднимался на стрелочных переводах и значения собственного магнитного поля рельсов в этом режиме снижались.

На рис. 3 показан фрагмент результатов контроля рельсового пути с использованием метода МПМ и специализированных датчиков приборно-компьютерного комплекса, установленных над головкой рельсов на расстоянии 6–7 мм от поверхности. Верхняя часть магнитограммы, представленной на рис. 3, отображает распределение собственного магнитного поля рельса H_p (А/м), нижняя часть – градиент поля dH/dx (А/м/мм).

Из рис. 3 видно, что расстояния между аномалиями магнитного поля и его градиента оказались практически равными геометрическим параметрам рельсового пути: ширине колеи $S=1,435$ м, расстоянию между креплением шпал $l_{шп}=400–410$ мм, высоте рельса $h=150$ мм. Аналогичные закономерности в распределении магнитного поля и его градиента выявлены и в других зонах концентрации напряжений.

На рис. 4 показана схема формирования отдельных магнитных аномалий в ЗКН, обусловленных изгибными и поперечными деформациями рельсов под действием изгибных усилий от колес вагона на рельсы (рис. 4, а) и от поперечной силы P – на рельсы (рис. 4, б). В работах [1, 2] рассмотрен механизм формирования вектора намагниченности и, соответственно, собственного магнитного поля изделий на площадках скольжения, возникающих под действием рабочих нагрузок. Как правило, угол наклона площадок скольжения равен 45° по отношению к направлению внешней нагрузки P .

Выполненный методом МПМ контроль рельсовых путей на испытательном полигоне (Gora Kalwaria–Tarczyn) Польской железной дороги показал принципиальную возможность использования метода МПМ для скоростного контроля рельсов с вагона-дефектоскопа. Анализом результатов выполненного контроля рельсового пути методом МПМ в сопоставлении с другими данными контроля, представленными Центром диагностики, установлено, что причинами развивающихся повреждений рельсов является сочетание металлургических и технологических дефектов изготовления с рабочими нагрузками, обусловленными конструктивными особенностями рельсового пути (шириной колеи, расстоянием между креплениями шпал, высотой рельса и др.).

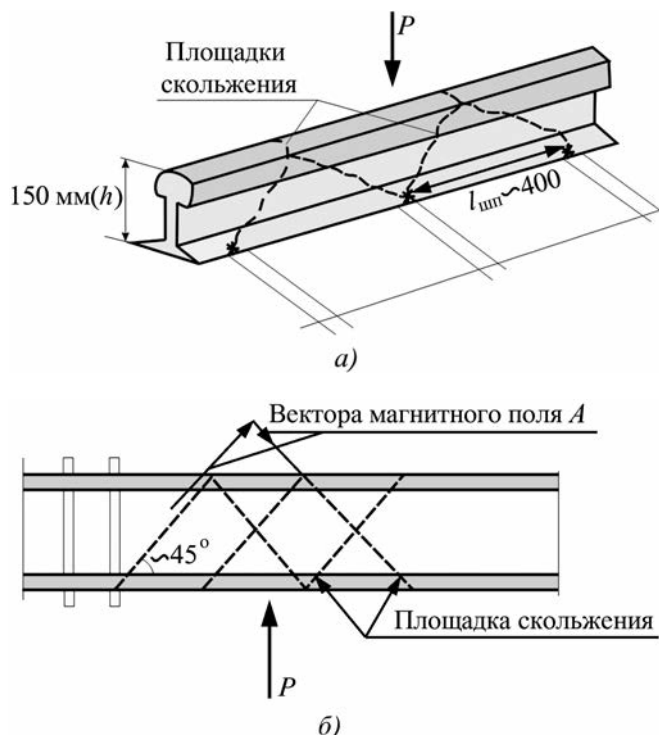


Рис. 4. Схема формирования магнитных аномалий вдоль площадок скольжения под действием изгибных (а) и поперечных (б) сил P :
 h – высота рельса; $l_{шп}$ – расстояние между шпалами

Например, в результате контроля было установлено, что рельсы, прошедшие заводскую термическую обработку, имеют значительно более высокую концентрацию напряжений и, соответственно, повреждаемость.

Аналогичный приборный комплекс, установленный в вагоне-дефектоскопе, был опробован в 2000–2001 гг. в Московском метрополитене и сдан в опытную эксплуатацию.

Приборно-компьютерный комплекс с программным управлением, разработанный ООО «Энергодиагностика», показал хорошую работоспособность в условиях скоростного контроля рельсов с вагона-дефектоскопа. Экспериментальный контроль показал также принципиальную возможность метода МПМ и приборного комплекса определять и классифицировать дефекты, в том числе выявлять дефекты в сварных соединениях с термитной сваркой. Однако для разработки такой классификации дефектов по магнитным сигналам потребуется набор статистики в сочетании с результатами контроля другими методами НК.

Наиболее эффективным использование метода МПМ представляется в комплексе с ультразвуковым и визуальным контролем. Метод МПМ позволяет выполнять контроль напряженно-деформированного состояния, выявлять наиболее напряженные участки пути, predisposed к повреждениям, оценивать степень опасности дефектов. При этом ультразвуковым методом предоставляется возможность в первую очередь выполнять контроль

дефектов в наиболее напряженных зонах рельсового пути.

С использованием метода МПМ можно на раннем этапе определять различного рода нарушения в состоянии рельсового пути: ослабление креплений рельсов на шпалах; места потери устойчивости вследствие недостатка температурной компенсации; изменение состояния рельсов после прохождения поездов с крупногабаритными грузами и пр. и таким образом осуществлять мониторинг за изменением в состоянии рельсового пути.

Более широкое внедрение в практику контроля фактического напряженно-деформированного состояния рельсового пути с использованием метода МПМ и соответствующих приборных комплексов в железнодорожном транспорте сдерживается в основном из-за различного рода бюрократических препятствий и низкой заинтересованности ответственных чиновников за внедрение новой техники.

Например, в службах пути российских железных дорог в целях предотвращения аварий со сходом вагонов из-за потери устойчивости рельсов действует производственная инструкция о выполнении периодического контроля фактического напряженно-деформи-

рованного состояния рельсового пути с использованием очень сложных методик и инструментов. Выполнение рекомендаций указанной инструкции представляет собой трудоемкий процесс, ограниченно выполняемый на отдельных небольших участках рельсового пути по реперным точкам, и является малоэффективным. Представленный опыт применения приборно-компьютерного комплекса и специализированных датчиков, использующих собственную намагниченность рельсов, позволит выполнять контроль НДС протяженных участков рельсового пути, выявлять участки с ЗКН, наиболее предрасположенные к развитию повреждений, и предотвращать аварии, вызываемые потерей устойчивости рельсов из-за недостатка самокомпенсации температурных расширений.

Библиографический список

1. Дубов А.А., Дубов Ал.А., Колокольников С.М. Метод магнитной памяти металла и приборы контроля: учеб. пособие. 5-е изд. М.: ИД «Спектр», 2012. 395 с.
2. Власов В.Т., Дубов А.А. Физические основы метода магнитной памяти металла. М.: ЗАО «Тиссо», 2004. 424 с.



Спектр
Издательский дом

Готовится к изданию!

Планируемая дата выпуска в свет - сентябрь 2015 г.

В. Н. Данилов, Л. В. Воронкова

ОСНОВЫ ТЕОРИИ И НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ С ФАЗИРОВАННЫМИ РЕШЕТКАМИ

Изложены теоретические основы работы преобразователей с фазированной решеткой, необходимые для дальнейшего развития и практического применения этого направления ультразвукового контроля. Проведено сравнение параметров акустического поля преобразователя с обычной (монокристаллической) пьезопластиной и с фазированной решеткой, выявлены их различия и сходство. Рассмотрены особенности формирования диаграмм направленности преобразователей с линейными и двухмерными решетками, исследовано влияние акустической задержки на амплитуду излучаемого и отраженного (донного) сигналов. Моделирование ряда характеристик преобразователей с фазированными решетками подкреплено экспериментальными данными.

На примере методик контроля объектов атомной энергетики показаны возможности и ограничения в определении параметров выявляемых отражателей. Проанализированы погрешности определения размеров отражателей. Выделены перспективные направления развития контроля с использованием преобразователей с фазированной решеткой, даны практические рекомендации по выбору настроечных отражателей. Рассмотрены возможности оценки результатов изменения конструктивных и технологических параметров преобразователей с фазированной решеткой, позволяющие учесть сложную геометрию и акустику объектов контроля.

Для разработчиков аппаратуры и методик контроля, повышения квалификации специалистов по акустическому методу контроля, а также может быть полезно как учебное пособие для студентов и аспирантов при изучении соответствующего курса.

Принимаем предварительные заказы

119048, г. Москва, ул. Усачева, д. 35, стр. 1. 000 «Издательский дом «Спектр»

Телефон отдела реализации: (495) 514-26-34. Дополнительный телефон офиса: (926) 615 17 16.

E-mail: zakaz@idspektr.ru. [Http://www.idspektr.ru](http://www.idspektr.ru)

Harfangprisma UT



Модель HARFANG PRISMA UT является одним из последних продуктов в линейке ультразвуковых дефектоскопов компании Sonatest, Великобритания.

*Ваша задача -
наше решение!*

Применение:

Контроль сварных швов и основного металла, составление карты коррозии, контроль композитов.

Особенности:

1. Работа с одноэлементным роликовым преобразователем.
2. Два независимых УЗ канала.
3. 3-D моделирование процесса контроля.
4. Запись всего объема полученных результатов в виде А-сканов.
5. Встроенное ПО для измерения размеров дефектов TOFD-методом.
6. Возможность работы с фазированными решетками в конфигурации 16:16, или 16:64.
7. Получение А, В и С-сканов в реальном времени.
8. Работа с ЭМАП на различных материалах (углеродистая и нержавеющая стали, алюминий, медь, титан и др).
9. Совместимость с ПО УЗкарта для моделирования процесса контроля всех типов сварных соединений (стыковых, в т.ч. разнотолщинных, нахлесточных, угловых, тавровых) и проведения обучения, разработанной ООО «Панатест».
10. Получение автоматического отчета о результатах контроля.



Присуждена международная премия red dot за уникальный дизайн.



официальный представитель
Sonatest Ltd на территории РФ

Тел./факс: +7(495) 789-37-48, (495) 587-82-98
mail@panatest.ru www.panatest.ru

ИЗМЕРЕНИЯ РАЗМЕРОВ ДЕФЕКТОВ С ПОМОЩЬЮ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ДЕФЕКТОСКОПА HARFANG PRISMA UT



БОГОМОЛОВ Иван Александрович

Научно-исследовательский университет
«Московский энергетический институт»,
Москва

Потребность в проведении более точных по сравнению с традиционным амплитудным ультразвуковым методом измерений размеров дефектов непосредственно в конструкции стала очевидной в 1960-х гг., особенно в атомной и химической отраслях промышленности.

Ремонт поврежденных изделий или участков при обнаружении дефектов на таких объектах порой был очень затруднительным или вообще невозможным.

В ядерной энергетике часто возникают проблемы с доступом к объекту контроля (ОК) из-за высокого уровня радиации. Приостанавливать такое предприятие очень дорого. По этой причине Национальный центр неразрушающего контроля в Харуэлле (затем часть Управления по атомной энергии Великобритании – UKAEA) попросил доктора Мориса Силка с его коллективом отыскать ультразвуковой метод контроля более точный, чем существующий традиционный эхоимпульсный метод.

И в начале 1970-х гг. доктор Морис Силк со своим коллективом разработал метод, известный как дифракционно-временной метод (TOFD). Этот метод также называют «временнóлетным», буквально переводя английское название TOFD – Time of Flight Diffraction.

В начале 1980-х гг. был проведен TOFD-контроль PWR реактора в Великобритании с целью доказать высокую точность ультразвуковой дефектоскопии для сосудов высокого давления и других основных компонентов реактора.

С начала 2000 г. описываемый метод ультразвукового контроля благодаря своим преимуществам

по отношению к амплитудному становится широко распространенным как в Европе, так и в Америке. Сейчас он все больше набирает популярность в России.

Ультразвуковой дифракционно-временной метод основан на приеме волн, дифрагированных на вершинах дефекта (рис. 1).

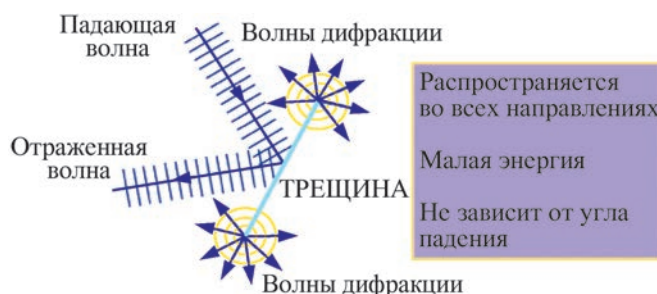


Рис. 1. Дифракция на трещине

При этом излучаются и принимаются как продольные, так и поперечные волны.

Главная информационная характеристика – время прихода сигналов. Два наклонных датчика продольной волны используются для излучения и приема волны с каждой стороны сварного шва (рис. 2).

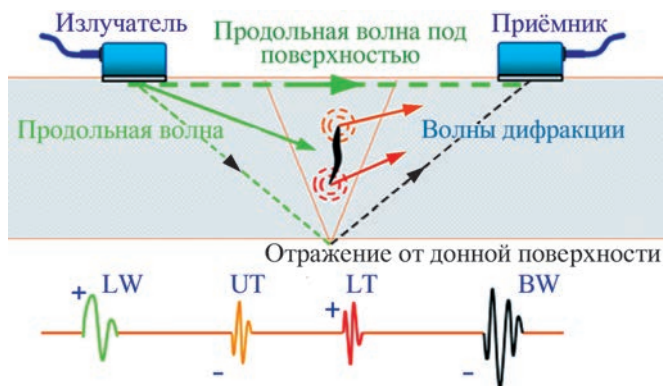


Рис. 2. Основная схема TOFD-метода:

LW – продольная волна под поверхностью; UT и LT – волны дифракции от верхнего и нижнего концов трещины; BW – отражение от донной поверхности

Для получения достоверного результата во время контроля необходимо правильно настроить прибор, а также верно выбрать расстояние между преобразователями, их частоту и размер элементов. Рекомендации по подготовке к контролю даны в документе CEN-TS14571 (табл. 1).

1. Рекомендации по подготовке к контролю

Толщина, мм	Количество настроек TOFD	Диапазон глубины t , мм	Центральная частота f , МГц	Угол ввода (продольные волны)	Размер элементов, мм
6 – 10	1	0 – t	15	70	2 – 3
10 – 15	1	0 – t	15 – 10	70	2 – 3
15 – 35	1	0 – t	10 – 5	70 – 60	2 – 6
35 – 50	1	0 – t	5 – 3	70 – 60	3 – 6
50 – 100	2	0 – $t/2$ $t/2 - t$	5 – 3 5 – 3	70 – 60 60 – 45	3 – 6 6 – 12
100 – 200	3	0 – $t/3$ $t/3 - 2t/3$ $2t/3 - t$	5 – 3 5 – 3 5 – 2	70 – 60 60 – 45 60 – 45	3 – 6 6 – 12 6 – 20
200 – 300	4	0 – $t/4$ $t/4 - t/2$ $t/2 - 3t/4$ $3t/4 - t$	5 – 3 5 – 3 5 – 2 3 – 1	70 – 60 60 – 45 60 – 45 40 – 50	3 – 6 6 – 12 6 – 20 10 – 20

Приведем наиболее существенные преимущества TOFD по сравнению со стандартным эхоимпульсным методом:

- 1) достижение более высокой точности при проведении измерений;
- 2) независимость обнаружения дефекта от его углового положения;
- 3) измерение параметров дефекта, основанное на времени прохождения пути дифракционных сигналов, не зависящее от амплитуды сигнала;
- 4) высокая производительность контроля, так как сканирование проводится только вдоль сварного шва. Лишь для ОК большой толщины требуется два и более проходов (см. табл. 1);
- 5) документирование, автоматическое создание отчета и сохранение всего объема полученных результатов;
- 6) высокая воспроизводимость результатов контроля.

Дифракционно-временной метод применим, как правило, для материалов с относительно низкими уровнями затухания и рассеяния ультразвуковых волн. В большинстве случаев метод подходит для контроля нелегированных и низколегированных углеродистых сталей и сварных соединений, но также возможно его использование 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 дополнительного подтверждения и дополнительной обработки полученных результатов.

Для определения точности измерений TOFD-методом проведем эксперимент на образце с засверловками. Образец представляет собой стальную пластину толщиной 20 мм с высверленными отверстиями диаметром от 2 до 5 мм, высотой от 1,6 до 7,6 мм.

Специализированным инструментом для контроля является ультразвуковой дефектоскоп Harfang Prisma UT производства Sonatest, Великобритания (рис. 3).

Harfang Prisma UT имеет мощную аппаратную конфигурацию в сочетании с широкими возможностями встроенного программного обеспечения для достиже-



Рис. 3. Прибор Harfang Prisma UT и комплект преобразователей для TOFD

Основные технические характеристики ультразвукового дефектоскопа Harfang Prisma UT

Диапазон рабочих частот, МГц	0,2 – 22
Амплитуда генератора зондирующих импульсов, В	100 – 450
Количество независимых каналов	2
Частота дискретизации, МГц	200
Класс защиты от воздействия окружающей среды	IP66
Возможность подключения роликового преобразователя для сухого УЗ-контроля	
Генерация отчета контроля	В виде PDF-файла
Возможность удаленного добавления режима контроля фазированными решетками (ФАР) и TOFD-методом	
Получение А-, В-, С-сканов в реальном времени для обеспечения максимального объема информации об ОК	
3D-моделирование процесса контроля	
Большой цветной дисплей с диагональю 8,4 дюйма и разрешением 800×600 пикселей	

ния наилучшей производительности. Прибор обеспечивает частоту дискретизации сигнала до 200 МГц, что позволяет использовать высокочастотные преобразователи, обеспечивающие наиболее точное определение размеров дефекта.

Область применения прибора достаточно широкая, в список стандартных задач входят: контроль сварных соединений, составление карты коррозии, контроль композитных материалов, материалов аэрокосмической отрасли.

Перед проведением исследований важно правильно настроить прибор и подобрать преобразователи. Преобразователи выбирают на основе параметров объекта контроля (см. табл. 1).

Для контроля выбираем преобразователи на 5 МГц, призмы с углом ввода 70° и ручной сканер для датчиков, чтобы удерживать их на фиксированном расстоянии. При проведении контроля также используется датчик пути для измерения координат дефектов.

Для выполнения быстрых измерений во время контроля используются специализированные гиперболические курсоры Н1 и Н2. Для измерения высоты дефекта курсоры устанавливаются на сигналах от его концов.

На рис. 4 изображен скриншот экрана прибора при измерении глубины засверловки. Как видно на изображении, строб Н1 совмещаем с сигналом от донной поверхности ОК, а Н1 – с сигналом от вершины дефекта. Параметр Н1–Н2 Dist показывает высоту засверловки, составляющую 4,9 мм, что соответствует реальной высоте.

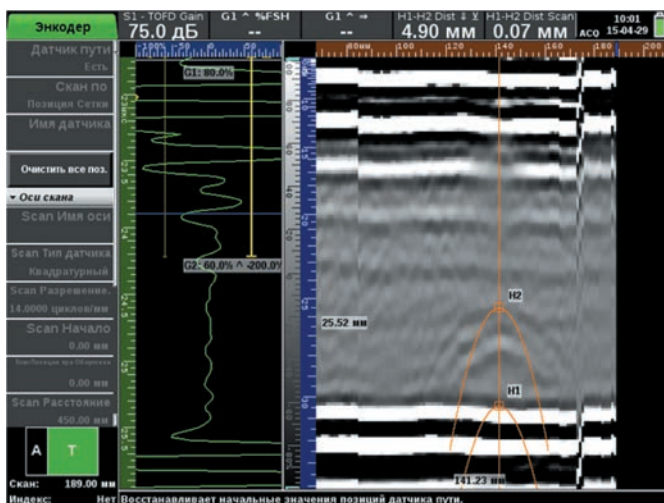


Рис. 4. Скриншот рабочего окна дефектоскопа

В приборе имеется возможность сохранения и печати результатов контроля в виде отчета, содержащего результаты измерений, изображения, скриншота рабочего экрана прибора.

Проведем оценку влияния диаметра и высоты засверловки, измеренных прибором, на относительную погрешность, для чего проведем корреляционный анализ. В рамках анализа составим уравнение множественной регрессии.

Теоретический анализ исходных данных позволяет установить наличие причинно-следственной связи факторных признаков (диаметра и высоты засверловки) с выходным показателем — относительной погрешностью измерения высоты. Регрессионную двухфакторную модель построим в линейной форме.

Исходные данные и результаты вычислений будем заносить в табл. 2.

2. Исходные данные и результаты вычислений

Диаметр засверловки, мм	Реальная высота засверловки, мм	Измеренная прибором высота засверловки, мм	Относительная погрешность
x_1	z	x_2	y
2	1,6	1,59	0,00625
2	1,9	1,74	0,08421
2	2,05	1,86	0,10429
2	2,4	2,2	0,0909
3	3,1	2,88	0,07097
3	3,5	3,28	0,06286
3	4,3	4	0,06977
4	4,4	4,17	0,05227
4	4,6	4,77	0,02653
4	4,9	5,12	0,0449
4	5,5	5,78	0,05246
5	6,1	6,17	0,02063
5	6,3	6,38	0,01846
5	7,6	7,48	0,01579

Определим вектор оценок коэффициентов регрессии. Согласно методу наименьших квадратов вектор s получается из выражения

$$s = (X^T X)^{-1} X^T Y$$

Матрица X

1	2	1,59
1	2	1,74
1	2	1,86
1	2	2,2
1	3	2,88
1	3	3,28
1	3	4
1	4	4,17
1	4	4,77
1	4	5,12
1	4	5,78
1	5	6,17
1	5	6,38
1	5	7,48

Матрица Y

0,00625
0,08421
0,10429
0,12
0,07097
0,06286
0,06977
0,05227
0,02653
0,0449
0,05246
0,02063
0,01846
0,01579

где X — детерминированная матрица; Y — случайная матрица;

Матрица X^T

1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	2	2	2	3	3	3	4	4	4	4	5	5	5
1,59	1,74	1,86	2,2	2,88	3,28	4	4,17	4,77	5,12	5,78	6,17	6,38	7,48

Умножаем матрицы ($X^T X$)

$$X^T \cdot X = \begin{pmatrix} 14 & 48 & 57,42 \\ 48 & 182 & 224,77 \\ 57,42 & 224,77 & 283,396 \end{pmatrix}.$$

В матрице ($X^T X$) число 14, лежащее на пересечении 1-й строки и 1-го столбца, получено как сумма произведений элементов 1-й строки матрицы X^T и 1-го столбца матрицы X .

Умножаем матрицы ($X^T Y$)

$$X^T \cdot Y = \begin{pmatrix} 0,759 \\ 2,239 \\ 2,563 \end{pmatrix}.$$

Находим обратную матрицу $(X^T X)^{-1}$

$$(X^T \cdot X)^{-1} = \begin{pmatrix} 1,343 & -0,885 & 0,43 \\ -0,885 & 0,852 & -0,496 \\ 0,43 & -0,496 & 0,31 \end{pmatrix}$$

Вектор оценок коэффициентов регрессии равен

$$s = (X^T X)^{-1} X^T Y;$$

$$S = \begin{pmatrix} 0,14 \\ -0,037 \\ 9,949 \times 10^{-1} \end{pmatrix}.$$

Составим уравнение регрессии:

$$y = 0,14 - 0,037 x_1 + 0,009949 x_2.$$

Оценка уравнения регрессии показывает, что коэффициент ($-0,037$) при факторе x_1 означает, что при увеличении диаметра засверловки на 1 мм относительная погрешность измерения уменьшается на 0,037 % при условии, что высота засверловки останется неизменной. Коэффициент ($+0,009949$) при факторе x_2 говорит о том, что при увеличении высоты засверловки на 1 мм относительная погрешность измерения увеличится на 0,00949 % при условии, что диаметр засверловки останется неизменным.

Заключение

Ультразвуковой дефектоскоп Harfang Prisma UT с комплектом преобразователей для TOFD-сканирования позволяет выполнять точные измерения высоты дефектов, обеспечивая высокую точность и скорость измерений. Относительная погрешность измерений не превышает 10 %.

Теоретические расчеты показали, что с увеличением диаметра дефекта относительная погрешность уменьшается, а при увеличении высоты — увеличивается.



Спектр
Издательский дом

В.А. Абрамов

ВИЗУАЛЬНЫЙ И ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОНТРОЛЬ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ. **Практические рекомендации по применению**



Практическое пособие

ISBN 978-5-4442-0057-5. Формат - 60х90 1/16, 124 страницы, год издания - 2014.

Визуальный и измерительный контроль по праву занимает ведущее место среди прочих методов неразрушающего контроля. Наглядность результатов и сравнительная простота реализации — важные составляющие успеха применения визуального и измерительного контроля. В книге представлены и рассмотрены практические рекомендации по применению визуального и измерительного контроля сварных соединений, а именно: термины и определения, нормативная документация по разным отраслям промышленности, включая атомную отрасль, классификация дефектов, средства измерения отечественного и иностранного производства для определения размеров стандартных сварных соединений, а также поверхностных дефектов.

Данное пособие предназначено для подготовки и повышения квалификации сварщиков и специалистов по визуальному и измерительному контролю I, II, III уровней, а также для всех специалистов, работающих в области неразрушающего контроля и технического диагностирования.

550 руб.

РАЗНОНАПРАВЛЕННОЕ ЛОКАЛЬНОЕ НАМАГНИЧИВАНИЕ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИИ ПРИ МАГНИТОПОРОШКОВОМ КОНТРОЛЕ



ТРОИЦКИЙ Владимир Александрович

Д-р техн. наук, проф.,
президент УО НКД,
академик Международной академии по НК,
Институт электросварки им. Е. О. Патона
НАН Украины, Киев, Украина

При выполнении ультразвукового, вихретокового и других методов неразрушающего контроля (НК) поиск дефектов производится сканированием, перемещением преобразователей по поверхности объектов в различных направлениях при различных уровнях чувствительности. Это, к сожалению, не делается при магнитопорошковом контроле (МПК), который является лучшим методом для обнаружения поверхностных и подповерхностных дефектов, зон усталости металлоконструкций. Объектами МПК являются детали и узлы различных транспортных средств, кранов, станочного оборудования и пр. В области МПК используется ряд стандартов [4, 5], которые предполагают поиск дефектов в приложенных или остаточных локальных магнитных полях, создаваемых прилагаемыми намагничивающими устройствами (НУ).

Поиск дефектов с помощью такого вида МПК можно существенно улучшить за счет плавного изменения направления магнитного потока в зоне поиска дефектов, т.е. при выполнении сканирования поверхности объекта как при ультразвуковом или вихретоковом НК. Для этих

целей были разработаны перемещаемые НУ, позволяющие локально намагничивать изделия в разных направлениях и за счет этого поднять выявляемость дефектов, увеличить на порядок производительность.

В данной статье описаны некоторые такие устройства.

Основание

Подвижное локальное разнонаправленное намагничивание можно выполнять как с помощью электромагнитов, так и с помощью НУ, содержащих постоянные. В последнем случае не требуется электротехническое оборудование, НУ компактно, мобильно, не имеет тяжелых (медных) катушек для создания поискового магнитного потока. Сейчас для локального намагничивания применяют преимущественно электромагниты. Для того чтобы переставлять НУ для локального намагничивания, его надо оторвать от поверхности контролируемого объекта, что требует больших усилий. Усилие отрыва составляет 20–30 кг.

Этот недостаток обычного МПК с локальным намагничиванием можно устранить, используя подвижные НУ на основе постоянных магнитов, позволяющих выполнять непрерывный разнонаправленный поиск дефектов без отрыва НУ от поверхности объекта. С появлением таких НУ [1–3] открылись новые возможности для магнитного, в том числе магнитопорошкового, контроля.

На рис. 1, 2 показаны набор для МПК и конструкция намагничивающего устройства, состоящего из двух дискообразных магнитных полюсов, ярма и ручки. Использование подвижных намагничивающих устройств, перемещаемых в разных направлениях, обеспечивает: поиск, сканирование, исключение необходимости многократных трудоемких перестановок НУ,

уменьшение вероятности пропусков дефектов и непроконтролированных зон. Так, появилась возможность обнаружения трещин различной ориентации за счет разнонаправленного намагничивания. Возвратно-поступательные перемещения НУ способствуют повышению выявления дефектов, поскольку обеспечивают низкочастотное воздействие на конгломераты магнитного порошка. Новая технология МПК обеспечена серией подвижных НУ различного назначения с магнитными полюсами, перемещаемыми как в одной, так и разных плоскостях, которые могут быть не параллельными друг другу.



Рис. 1. Комплект технических средств для МПК с намагничивающим устройством для разнонаправленного локального намагничивания протяженных объектов

На рис. 2 показаны две простейшие конструктивные схемы исполнения таких мобильных сканирующих устройств серии ТВА, входящих в комплект, представленный на рис. 1, с полюсами в виде дискообразных жестко связанных катушек. Варианты исполнения намагничивающих устройств по рис. 2 отличаются величиной магнитной проводимости зоны сопряжения их с поверхностью объекта. В первом случае это линия касания круглого полюса и поверхности изделия. Во втором — это пятно, образуемое четырьмя пазами, заполненными ферромагнитными стержнями (роliками).

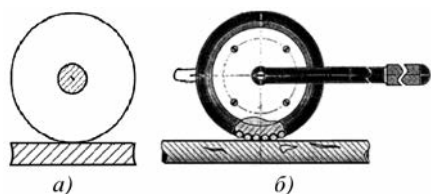


Рис. 2. Два варианта исполнения магнитных полюсов подвижных намагничивающих устройств: а — ТВА-1 с гладкой поверхностью; б — ТВА-2 с пазами, в которых находятся ролики

Каждое НУ имеет соединительный магнитопровод с источником магнитодвижущей силы (МДС). Дискообразные магнитные полюса могут двигаться синхронно при использовании жесткого соединительного магнитопровода (см. рис. 1, 2) или раздельно друг от друга. Во втором случае соединительный магнитопровод выполняют гибким (рис. 4—6) или шарнирным.

На рис. 2 показано по одному круглому полюсу, расстояния между которыми определяют шириной контролируемой зоны: обычно это 100 — 150 мм, а диаметры круглых полюсов от 50 до 150 мм. Для эффективного обнаружения дефектов важно в изделии создать достаточную тангенциальную составляющую поискового магнитного поля, которая должна в несколько раз превышать нормальную составляющую. При неизменной величине магнитодвижущей силы для увеличения тангенциальной составляющей магнитного поля надо максимально увеличить магнитную проводимость зоны сопряжения полюсов с изделием. Это достигается за счет изготовления по образующей полюса пазов, в которых располагаются ферромагнитные стержни круглого (рис. 3, а) или трапецидального (рис. 3, б) сечения.

Описание конструкции

На рис. 3 показаны варианты исполнения зон сопряжения повышенной магнитной проводимости с заполнением пазов (см. рис. 2, б) круглыми или трапецидальными стержнями.

При расчете магнитной проводимости зон сопряжения с намагничиваемой поверхностью в устройствах ТВА-2 учитывают: диа-

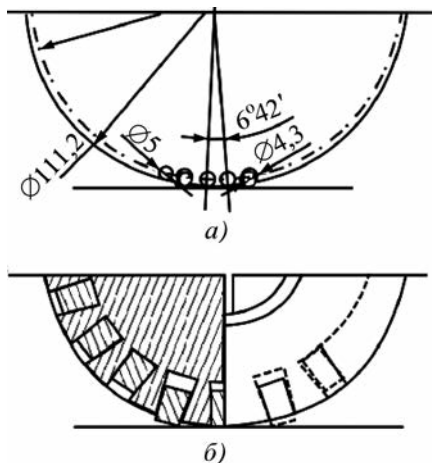


Рис. 3. Конструкции подвижных полюсов с роликами (а) и трапецидальными стержнями (б) в конструкции типа ТВА-2

метр D полюса, сечение (диаметр d) подвижных элементов, расчетную индукцию зуба, число элементов (роликов) в пазу и т.п. Так, на рис. 3 оптимальным для ТВА-2 с касанием в четырех точках принято $D = 114$ мм, $d = 4,3$ мм. Дополнительное увеличение ширины зоны контакта возможно за счет формы полюсных наконечников, показанных на рис. 4—7.

С помощью формы полюсного наконечника, повторяющей форму объекта, удастся увеличить тангенциальную составляющую поискового магнитного поля, расширить зону контакта, увеличить ее магнитную проводимость. Вариантов конструктивных решений (рис. 4) достижения высокой магнитной проводимости может быть много.

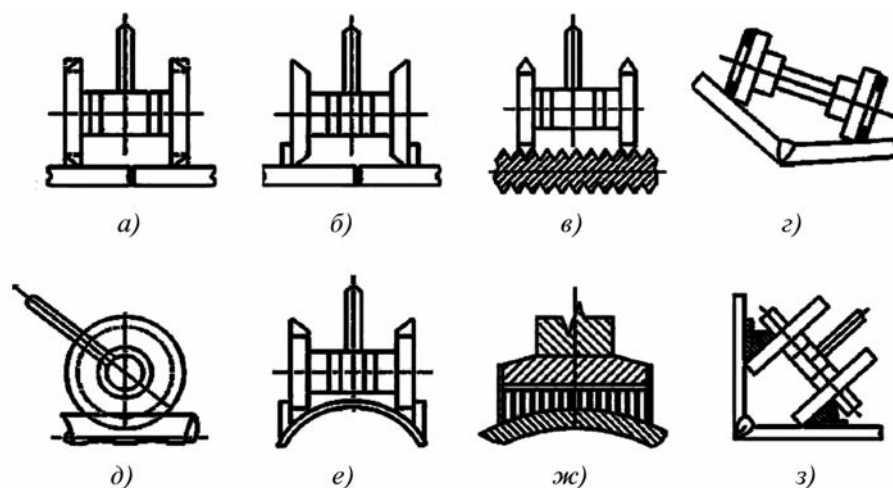


Рис. 4. Дополнительные съемные полюсные элементы различных форм, применяемые для увеличения тангенциальной составляющей магнитного поля

Так, только увеличением диаметра D полюса при сохранении ширины зуба и увеличении диаметра d ферромагнитных стержней (ширины паза) можно контактное пятно довести до 5—6 пазов и т.д. Форма полюсного наконечника должна определяться геометрией поверхности контролируемого объекта (см. рис. 4).

Интересна особенность динамики поведения контактных стержней в пазах в процессе движения, перемещения зоны локального намагничивания по ферромагнитной поверхности объекта. Ферромагнитные стержни (в каждом пазу один или несколько) любого профиля (круглого или трапецидального) находятся в пазу до тех пор, пока паз не приблизится к ферромагнитной поверхности объекта, к большой ферромагнитной массе. Стержни (ролики) в пазу не закреплены, они могут свободно перемещаться. При приближении паза к зоне контакта с изделием, к зоне мощного магнитного потока, ферромагнитный стержень (ролик) выходит [9, 10] из паза и притягивается к изделию. Так обеспечивается высокая магнитная проводимость зоны контакта с изделием. После выхода паза из зоны контакта с изделием каждый стержень (ролик) затягивается обратно в паз полем рассеяния полюса, которое имеется вокруг каждого паза.

Таким образом, в поведении стержня (ролика) имеют место две фазы: транспортная (далекое от

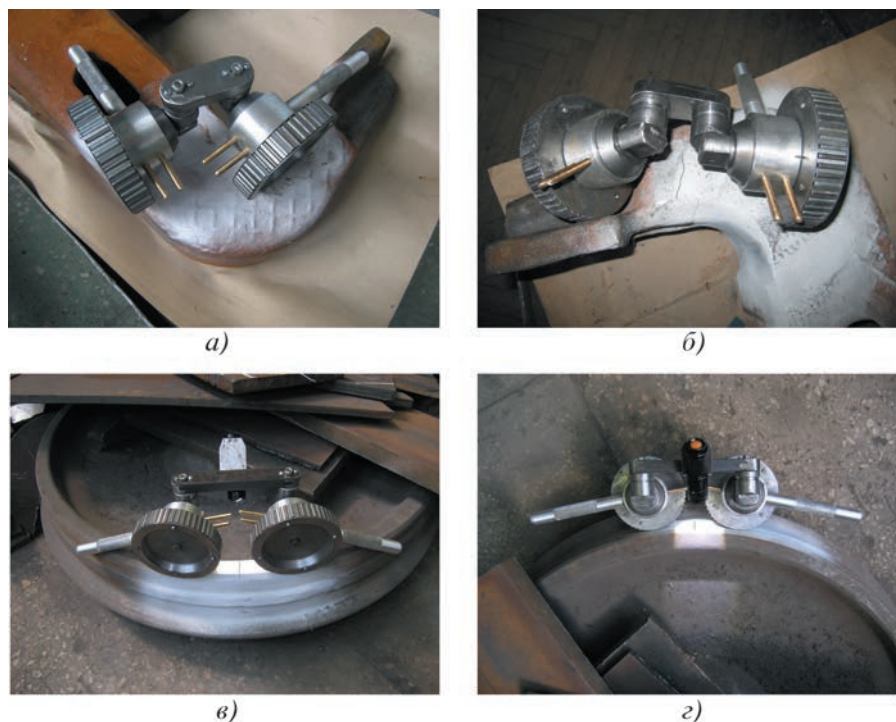


Рис. 5. Использование ТВА-4 для контроля качества боковин тележек (а, б) и элементов железнодорожных колес (в, г)



Рис. 6. Устройства ТВА для контроля изделий с определенной кривизной поверхности: а – ТВА-5 с подвижным полюсом, перемещаемым в зоне расположения неподвижного полюса; б – ТВА-9, имеющее на каждом полюсе три точки контакта с контролируемым изделием

изделия) и контрастная с изделием. Это хорошо видно на рис. 3, где показано, как при приближении к поверхности изделия стержень (ролик) выходит из паза. Конструкция полюса с заполненными пазами увеличивает приложенное магнитное поле внутри изделия. Известно, что максимальное поле от дефекта возникает на поверхности изделия тогда, когда поисковое магнитное поле направлено перпендикулярно плоскости дефекта.

Поэтому очень важно поиск дефектов и намагничивание про-

водить в разных направлениях с разной интенсивностью возвратно-поступательных движений, т.е. выполнять активный поиск дефектов с низкочастотным воздействием на магнитный порошок. По новой технологии МПК за режимом поиска следует режим оценки обнаруженных индикаций. При этом должно быть определено оптимальное направление намагничивания и изменена тангенциальная составляющая магнитного поля, ориентированная перпендикулярно найденной индикации.

В оценочном режиме, в котором устройство ТВА неподвижно, тангенциальная составляющая магнитного поля может быть увеличена за счет съемных дополнительных полюсных элементов. Использование дополнительных полюсных элементов повышает магнитное поле внутри изделия, тангенциальную составляющую и уменьшает нормальные поля рассеяния. Примеры использования дополнительных полюсных элементов показаны на рис. 4, б, е, з и рис. 7, е.

В поисковом режиме при интенсивном движении по поверхности через изделие пропускается только часть магнитного потока, который создает устройство ТВА. При этом значительная часть магнитного потока замыкается вне зоны контроля, а магнитная проводимость зоны контакта с изделием относительно низкая. Плавное разнонаправленное перемещение не вызывает особых усилий. При оценке конкретной индикации, признании ее дефектом (или нет) рекомендуется устанавливать дополнительные элементы магнитных полюсов, которые расширяют зону контакта с изделием. При этом ТВА неподвижно, его трудно передвигать.

Дополнительные элементы (см. рис. 4) в определенной мере повторяют локальную геометрию поверхности изделия и поверхность круглого полюса. Если индикация (рисунок из магнитного порошка) находится над дефектом, то с увеличением тангенциальной составляющей магнитного поля контуры, плотность, рельеф индикаторного рисунка усиливаются. Если несплошности нет, т.е. индикация ложная, то изменение магнитного потока в изучаемой зоне превращает эту индикацию в бесформенный сбор магнитного порошка, рисунок рассеивается.

При наличии дополнительных полюсных элементов тангенциальная составляющая магнитного поля возрастает в 1,5–2 раза. Аналогичные опыты с увеличением расстояния между полюсами в несколько раз за счет удлинения магнитопровода практически не изменили результатов экспериментов.

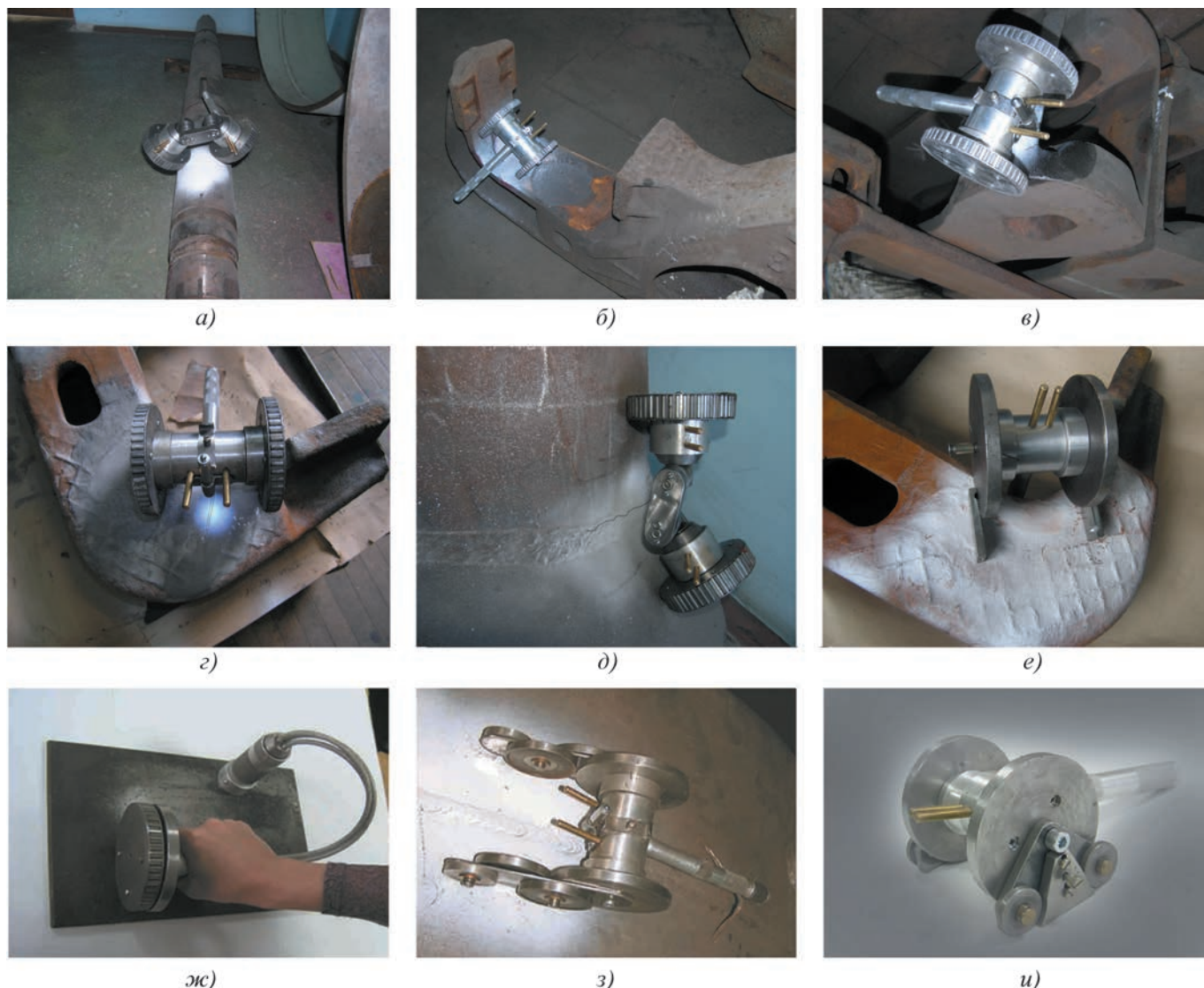


Рис. 7. Устройства ТВА в разных ракурсах с дополнительными полюсными элементами:

а – ТВА-4 на валу мощного компрессора; б, в, г – ТВА-2 на элементах железнодорожных конструкций; д – ТВА-4 на гйбе трубопровода $\varnothing 1020$ мм; е – ТВА-1 с дополнительными полюсными элементами в режиме оценки индикации; ж – ТВА-6 с одним подвижным полюсом, движущимся в зоне неподвижного полюса; з – ТВА-7 с широкой зоной контроля; и – ТВА-8, имеющий режимы поиска и оценки дефектов

Были испытаны различные типы дополнительных полюсных элементов. Опыты показали, что przenосимая дополнительная магнитная проводимость зоны сопряжения зависит только от площади контакта полюса и тела изделия. Это явление происходит до определенного количества съемных полюсных элементов, число которых может при необходимости варьироваться (по одному или по два на каждом полюсе). Значительное увеличение площади контакта с изделием обычно существенно не изменяют результаты МПК.

В том случае, если геометрия поверхности изделия сложная, с

нерегулярным рельефом, например такая, как элементы подвижного железнодорожного состава, то должны использоваться намагничивающие устройства (рис. 5), у которых полюса соединены шарнирными или гибкими магнитопроводами, способными обеспечивать синхронное или раздельное (один полюс движется, а другой стоит) перемещение каждого из полюсов в разных направлениях и разных плоскостях. Эффективными оказались такие устройства ТВА-4 (см. рис. 5) с шарнирными соединительными магнитопроводами. На рис. 5 приведены фотографии локального

намагничивания боковин железнодорожных тележек и колес такими устройствами.

При необходимости полюса ТВА-4 устанавливаются последовательно (см. рис. 5, в, г) друг за другом. Подобным локальным регулируемым намагничиванием можно выявить практически все поверхностные и подповерхностные дефекты, в ободах колес, в деталях подвижного состава. На рис. 6, а показано устройство ТВА-5 с одним подвижным полюсом, расположенным на подвижной платформе, способной перемещаться на 360° вокруг неподвижного полюса.

Контактная сторона подвижной платформы, обращенная к изделию, имеет конструкцию, подобную ТВА-2 (см. рис. 2, б), т.е. содержит пазы с подвижными роликами. Полус с подвижной платформой легко перемещается оператором в зоне расположения неподвижного полюса. На рис. 5, б показано подвижное устройство ТВА-9, имеющее на каждом полюсе три точки контакта с контролируемым изделием, которое применяется для МПК компрессорных валов и протяженных металлоконструкций.

Если устройство ТВА специализировано, т.е. предназначено для контроля конкретных типов изделий с определенной конкретной кривизной поверхности, например для определенного диапазона диаметров валов, труб, то внешняя поверхность полюса должна повторять эту кривизну (см. рис. 4, б).

На рис. 4, 7 показаны специализированные устройства ТВА-1 (см. рис. 2) с заострением или профилированием внешних поверхностей круглых магнитных полюсов. Такая форма полюсов повышает магнитную проводимость в зоне контакта с проверяемым объектом. Некоторые устройства ТВА на рис. 7 показаны в разных ракурсах, с дополнительными полюсными элементами в виде приставных пластин и без них.

Результаты и обсуждение

Из данных обширной литературы [12–14], посвященной выявляемости дефектов при магнитопорошковом контроле, следует, что магнитное поле более 100 А/см мало добавляет информации о дефектах шириной 0,005...0,1 мм и глубиной $h=1,0...5,0$ мм. При этом величины полей над дефектами глубиной 5 и 1,0 мм могут отличаться только в 1,5–2,5 раза.

Это говорит о том, что поиск практически всех поверхностных дефектов может проводиться на относительно слабом поле, а распознавание образа индикации – на усиленном магнитном поле. Вместе с тем для обнаружения подповерхностных дефектов магнитотвердых металлов требуются магнитные поля больше чем 100 А/см.

Ширина магнитного следа от дефекта на поверхности увеличивается с ростом глубины его залегания, но происходит только до определенной глубины, за пределами которой ширина следа начинает убывать.

Дополнительные элементы в виде приставных полюсных элементов значительно увеличивают магнитное поле внутри объекта контроля. Это наиболее эффективно проявилось для простейшего ТВА-1 с гладкими полюсами. Здесь магнитное поле за счет этих элементов может вырасти почти в 2 раза и наименее эффективно в случае ТВА-2 с пазами. Таким образом, описанные модели намагничивающих устройств обеспечивают глубокое регулируемое локальное намагничивание. Усилие намагничивающих полей для магнитомягких сталей может быть уменьшено сокращением числа источников МДС в виде постоянных магнитов, расположенных внутри соединительного магнитопровода. Устройства ТВА используют как для исследования магнитотвердых сталей больших толщин, так и для магнитомягких сталей. Они имеют многоэлементные источники МДС в виде шайб постоянных магнитов, число которых можно изменять в соответствии с технологией МПК.

Как любое другое оборудование для НК, поисковое намагничивающее устройство типа ТВА должно быть определено в соответствии с маркой стали, толщиной металла, глубиной залегания и размерами недопустимых дефектов, подлежащих обнаружению.

Таким образом, разнонаправленное локальное намагничивание приложенным магнитным полем открывает новые возможности для магнитных методов, расширяет возможности магнитопорошкового контроля, увеличивает в несколько раз его производительность, обеспечивает режимы поиска и оценки индикаций за счет величины и направления тангенциальной составляющей магнитного поля.

Мобильные намагничивающие устройства серии ТВА и соответствующая технология обеспечивают разнонаправленное про-

пускание через металлоконструкцию магнитного потока, поиск направления намагничивания, дающего наиболее рельефную форму индикации над дефектом, уменьшают количество ложных индикаций.

Возвратно-поступательные перемещения устройств ТВА обеспечивают низкочастотное воздействие на порошок, способствуют лучшему распределению магнитного порошка как над дефектами, так и над зонами внутренних напряжений, например, из-за усталости металла, его наклепа и других причин.

Поиск дефектов рекомендуется вначале вести при относительно небольшом магнитном поле, определяемом свойствами стали, типом ожидаемых дефектов и т.п. обстоятельств, предусмотренных технологией контроля, а оценку индикаций проводить при усилении тангенциальной и уменьшении нормальной составляющих магнитного поля, используя, например, дополнительные полюсные элементы, шунты, экраны и т.п.

Возвратно-поступательные движения намагничивающего устройства повышают выявляемость дефектов.

Благодаря возможностям новой технологии существенно повышаются скорость и достоверность обнаружения дефектов, а стоимость и трудоемкость снижаются по сравнению с обычным МПК в приложенном магнитном поле.

Библиографический список

1. Троицкий В.А., Радко В.П., Демидко В.Г., Бобров В.Т. Неразрушающий контроль качества сварных конструкций. Киев: Техника, 1986. 159 с.
2. Troitskij V.A., Es'kov Y.B., Rad'ko V.P. Non-destructive testing of welded structures and constructions in the E.O. Paton Electric Welding Institute // Insight. 1997. V. 39. N 9. P. 646 – 649.
3. Троицкий В.А. Магнитопорошковый контроль сварных соединений и деталей машин. Киев: Феникс, 2002. 300 с.
4. ISO 9934-1. Non-destructive testing. Magnetic particle testing. Part 1.

- General principles, 2001. 14 p. Part 2. Detection media; 2002, Zip. Part 3. Equipment, 2002. 14 p.
5. ГОСТ Р ИСО 9934-1-2011. Контроль неразрушающий. Магнитопорошковый метод. Часть 1. Основные требования. М., 2011.
 6. Пат. України № 51871 від 10.08.2010. Рухомий намагнічуючий пристрій для магнітної дефектоскопії / В.О. Троїцький, О.Г. Бондаренко, В.М. Горбик. Київ, 2010.
 7. Постоянные магниты: справочник / под ред. Ю.М. Петина. М.: Энергия, 1971. 376 с.
 8. Пат. України № 77027 від 25.01.2013. Рухомий намагнічуючий пристрій для магнітної дефектоскопії / В.О. Троїцький, О.Г. Бондаренко, В.В. Самойлович. Київ, 2013.
 9. Пат. України № 81659 від 10.07.2013. Рухомий намагнічуючий пристрій / В.О. Троїцький. Київ, 2013.
 10. Пат. України № 82447 від 12.08.2013. Рухомий намагнічуючий пристрій для дефектоскопії протяжних конструкцій / В.О. Троїцький. Київ, 2013.
 11. Troitskiy V.A. Non-destructive testing of multilayer welded structures // Insight. V. 39. № 9. 1997. P. 646 – 648.
 12. Пашагин А.П., Бенклевская Н.П. Выявляемость поверхностных дефектов малого раскрытия при магнитной дефектоскопии // Дефектоскопия. 2013. № 1. С. 66 – 70.
 13. Коваленко А.Н. Анализ факторов, влияющих на достоверность контроля трубопроводов магнитными дефектоскопами // Контроль. Диагностика. 2013. № 8. С. 30 – 36.
 14. Шелихов Г.С., Глазков Ю.А. Особенности ГОСТ Р ИСО 9934-1 по магнитопорошковому контролю деталей // Контроль. Диагностика. 2013. № 4. С. 9 – 15.
 15. Патон Б.Е., Троицкий В.А. Деятельность ИЭС им. Е.О. Патона в области неразрушающего контроля // Территория NDT. 2013. № 3.
 16. Пат. України № 82208 від 25.07.2013. Намагнічуючий пристрій / В.О. Троїцький, Г.Г. Луценко. Київ, 2013.
 17. Troitskiy V.A. Multidirectional Local Magnetization of Extended Metal Structures in Magnetic Particle Testing // Журнал Японского общества JSND Journal. 2015. V. 64. N 2.
 18. Troitskiy V.A. New Technology for Magnetic Particle Testing (MPT) // Журнал Американского общества TheNDTTechnician. 2015. January. P. 13.



Спектр

Издательский дом

А.В. Полупан

ВИЗУАЛЬНЫЙ И ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОНТРОЛЬ В ДОКУМЕНТАХ И ФОТОГРАФИЯХ



950 руб.

ISBN 978-5-4442-0030-8. Формат - 60х90 1/8, 108 страниц, год издания - 2013.

Рассмотрена структура системы действующих на сегодняшний день российских нормативных и методических документов, затрагивающих вопросы визуального и измерительного контроля. Кратко описаны и проанализированы более 100 документов.

Представлен сводный список наиболее употребительных терминов и определений в области визуального и измерительного контроля, регламентированных различными документами. Некоторые понятия дополнены формализованными критериями, позволяющими более наглядно и четко определить термины. Затронута проблема неопределенности в терминологии и нормах оценки качества, приведены рекомендации по ее преодолению.

Пособие содержит фотографии дефектов со схемами и комментариями, иллюстрирующие термины, рабочие моменты визуального и измерительного контроля, особенности выявления дефектов, а также характерные дефекты, возникающие при производстве и эксплуатации металлических конструкций.

Для специалистов, работающих в области неразрушающего контроля и технического диагностирования.

119048, г. Москва, ул. Усачева, д. 35, стр. 1. ООО «Издательский дом «Спектр»

Телефон отдела реализации: (495) 514-26-34. Дополнительный телефон офиса: (926) 615 17 16.

E-mail: zakaz@idspektr.ru. Http://www.idspektr.ru

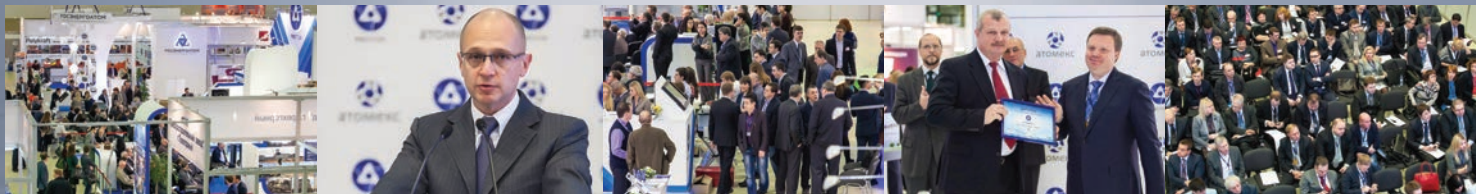
VII Международный Форум поставщиков атомной отрасли «АТОМЕКС 2015»



атомекс

13-15 октября 2015 года

МОСКВА, ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР»



www.atomeks.ru

атомЭКСПО

Телефон: +7 (495) 66-33-821
E-mail: atomeks@atomexpo.com
Присоединяйтесь к нам на  - Атомекс Форум

A1040 MIRA

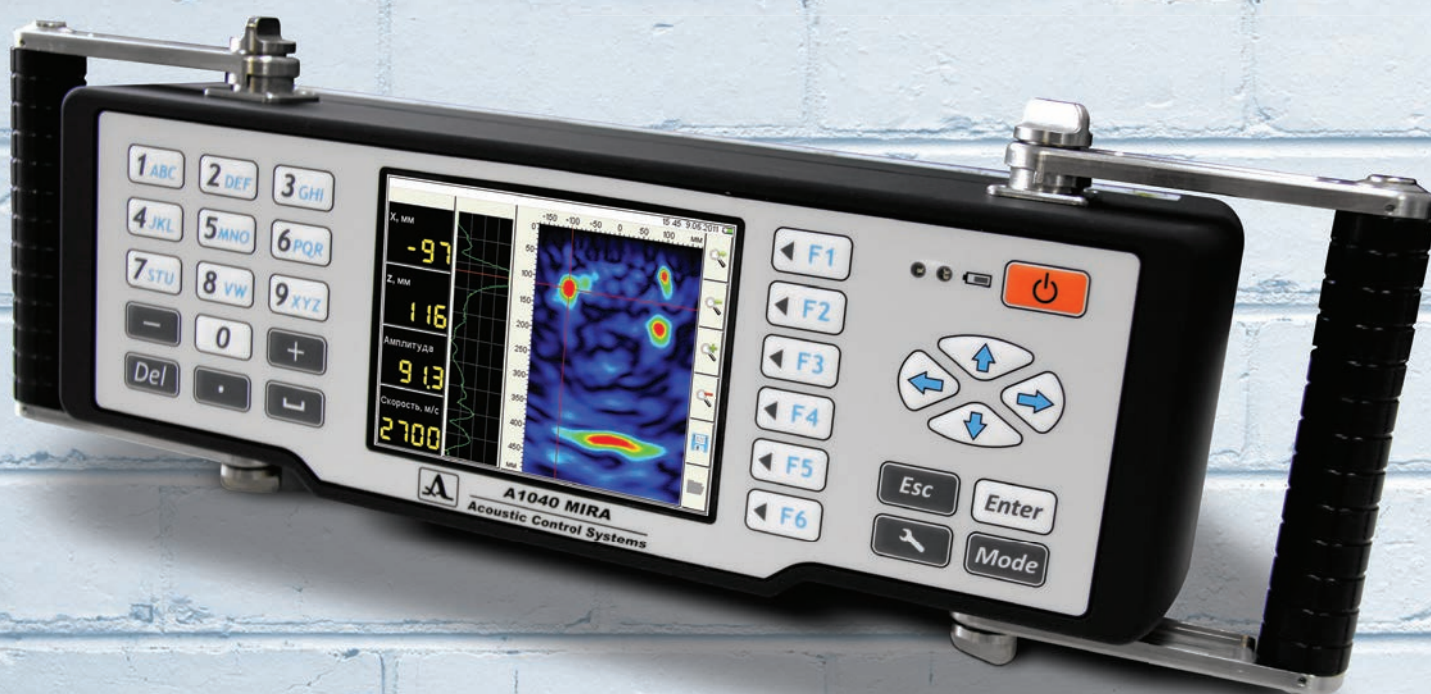


**АКУСТИЧЕСКИЕ
КОНТРОЛЬНЫЕ
СИСТЕМЫ**

Приборы для неразрушающего
контроля металлов, пластмасс
и бетона

115598, МОСКВА, УЛ. ЗАГОРЬЕВСКАЯ, Д. 10, КОРП. 4
ТЕЛ./ФАКС +7 (495) 984-74-62 (МНОГОКАНАЛЬНЫЙ)
WWW.ACSYS.RU | MARKET@ACSYS.RU

**НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ —
ВООБРАЖЕНИЕ В ДЕЙСТВИИ**



УЛЬТРАЗВУКОВОЙ НИЗКОЧАСТОТНЫЙ ТОМОГРАФ ДЛЯ ПОИСКА ПОЛОСТЕЙ, НЕПРОЛИВОВ, ТРЕЩИН, РАССЛОЕНИЙ В КОНСТРУКЦИЯХ ИЗ БЕТОНА, ЖЕЛЕЗОБЕТОНА И КАМНЯ С ВИЗУАЛИЗАЦИЕЙ ВНУТРЕННЕЙ СТРУКТУРЫ ПРИ ОДНОСТОРОННЕМ ДОСТУПЕ К ОБЪЕКТУ КОНТРОЛЯ

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ

- Встроенная матричная антенная решетка – 48 преобразователей с СТК
- Максимальная глубина обзора в бетоне – 2500 мм
- Максимальная глубина обзора в железобетоне – 800 мм
- Диапазон измерения глубины залегания дефекта (воздушный цилиндр диаметром не менее 20 мм, длиной не менее 200 мм) – от 50 до 400 мм
- Диапазон устанавливаемых скоростей ультразвука – от 1000 до 4 000 м/с
- 3D-моделирование объекта контроля
- Рабочая частота преобразователей – от 25 до 85 кГц
- Продолжительность непрерывной работы от встроенного аккумулятора – 5 ч
- Связь с ПК по USB
- Габаритные размеры электронного блока – 470x150x170 мм
- Масса электронного блока – 4,5 кг
- Диапазон рабочих температур – от -10 до + 50°C

РЕКЛАМОДАТЕЛЯМ

Редакция журнала приглашает к сотрудничеству рекламодателей. Информация о вас, о вашем оборудовании, ваших технологиях, услугах, разработках и исследованиях в области неразрушающего контроля и технической диагностики будет донесена до специалистов и потребителей одновременно как минимум в 11 странах. Есть возможность предложить свою продукцию и услуги не только в рекламных блоках, но и путем публикации развешенных материалов и отчетов.

Размещение рекламы в журнале «Территория NDT»

Местоположение рекламного модуля	Занимаемое место на полосе (обрезной формат)	Стоимость размещения, руб. (без НДС)
ОБЛОЖКА		
1-я страница	210 x 180 мм	65 000
2-я страница	1/1 (210 x 290 мм)	55 000
3-я страница	1/1 (210 x 290 мм)	42 000
4-я страница	1/1 (210 x 290 мм)	60 000
МОДУЛЬ ВНУТРИ ЖУРНАЛА		
1-я страница	1/1 (210 x 290 мм)	55 000
2-я страница	1/1 (210 x 290 мм)	48 000
Расположение по усмотрению редакции	1/1 (210 x 290 мм) 1/2 (210 x 145 мм) 1/3 (210 x 100 мм)	32 000 18 000 15 000
СТАТЬЯ		
Расположение по усмотрению редакции	1 страница 2 страницы 3 страницы	30 000 36 000 48 000

Действует гибкая система скидок.

Требования к принимаемым рекламным модулям

Рекламный модуль	Размер рекламного блока после обрезки	Размер рекламного блока с полями под обрезку
1-я полоса обложки	210 x 180 мм	215 x 180 мм
1/1 полосы	210 x 290 мм (вертикальное расположение)	220 x 300 мм
1/2 полосы	145 x 210 мм (горизонтальное расположение)	155 x 220 мм
1/3 полосы	100 x 210 мм (горизонтальное расположение)	110 x 220 мм
Тип файла	PDF, EPS, TIFF, PSD	
Разрешение и цветовая модель	CMYK, не менее 300 dpi, без сжатия	

Подробную информацию о журнале, архив номеров и последние новости вы найдёте на сайте журнала «Территория NDT» – www.tndt.idspektr.ru

АВТОРАМ

Редакция журнала приглашает к сотрудничеству авторов. Статьи (обзорные, популярные, научно-технические, дискуссионные) присылайте в редакцию в электронном виде. Статьи не-рекламного содержания в журнале «Территория NDT» публикуются бесплатно. Объем статьи, предлагаемой к публикации, не должен превышать 10 страниц текста формата А4, набранного через полтора–два интервала, 11 – 12 кегель.

Требования к принимаемым статьям

В редакцию предоставляются:

1. Файл со статьей.
Статья должна быть набрана в текстовом редакторе Microsoft Word, (формат А4, полтора–два интервала, 11 – 12 кегель, шрифт Times New Roman).
В начале статьи обязательно набрать фамилии, имена и отчества авторов полностью (приветствуется указание ученых степеней и званий автора (если есть), место работы, должность).
2. Фотографии авторов статьи (отдельные файлы).
3. Иллюстрации в виде отдельных файлов – DOC, PDF, TIFF, JPEG с максимально возможным разрешением (рекомендуется 600 dpi).
4. Для заключения авторского договора на каждого автора необходимо указать: паспортные данные с кодом подразделения, адрес прописки с индексом, дату рождения, контактный телефон, e-mail (отдельный файл Microsoft Word).

Присылая статью в редакцию для публикации, авторы выражают согласие с тем, что:
• статья может быть размещена в Интернете;
• авторский гонорар за публикацию статьи не выплачивается.

По всем вопросам размещения рекламы и статей в журнале «Территория NDT» просим обращаться по телефону +7 (499) 393 30 25 или по электронной почте: tndt@idspektr.ru

КАК ПОДПИСАТЬСЯ НА ЖУРНАЛ

Оформить подписку на журнал «Территория NDT» можно через редакцию журнала, начиная с любого номера. Отправьте заявку в отдел реализации по e-mail: zakaz@idspektr.ru с указанием следующих данных:

1. Журнал «Территория NDT»
2. Количество экземпляров
3. Название организации (для юридических лиц)
4. Почтовый адрес
5. Юридический адрес (для юридических лиц)
6. ИНН, КПП предприятия, банковские реквизиты (для юридических лиц)
7. Телефон (с кодом города), факс
8. Адрес электронной почты (e-mail)
9. Фамилия, имя, отчество
10. Способ доставки (почтой*, самовывоз**)

* При доставке почтой стоимость услуги отправки почтой составляет 250 руб. за 1 экземпляр журнала. При заказе более двух номеров стоимость услуги уточните в редакции.

** При самовывозе журнал предоставляется бесплатно.

Самовывозом журнал получают в редакции журнала по адресу: Москва, ул. Усачева, д. 35, стр. 1, офис 2319.

Телефон отдела реализации: (495) 514 26 34
Телефоны редакции: (499) 393 30 25, (495) 514 76 50

Уважаемые дамы и господа, мы будем рады видеть Вас среди наших постоянных читателей, авторов, спонсоров и рекламодателей. Мы готовы обсудить любые формы сотрудничества и взаимодействия. Надеемся, что страницы нашего журнала станут постоянной территорией для обмена информацией и опытом в области неразрушающего контроля и технической диагностики.