## ЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА

№ 1, 2007

Издается с января 1989 г.

Учредители: Национальная академия наук Украины Институт электросварки им. Е. О. Патона Издатель: Международная ассоциация «Сварка»

Международная ассоциация «Сварка»

#### РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ Главный редактор Б.Е.ПАТОН

А. Я. Недосека (зам. гл. ред.), В. А. Троицкий (зам. гл. ред.), 3. А. Майдан (отв. секр.), И. П. Белокур, Ю. К. Бондаренко, В. Л. Венгринович, Э. Ф. Гарф, А. А. Грузд, Ю. Б. Дробот, Н. Н. Зацепин, В. И. Иванов, О. М. Карпаш, В. В. Клюев, Л. М. Лобанов, А. А. Лебедев, В. К. Лебедев, Г. Г. Луценко, Н. В. Новиков, Е. С. Переверзев, П. П. Прохоренко, В. П. Радько, В. Н. Учанин, А. А. Улитко, А. И. Степаненко, В. А. Стрижало, А. Я. Тетерко,

#### Т. М. Швец, И. Я. Шевченко Адрес редакции

03680, Украина, г.Киев-150, ул. Боженко, 11 Институт электросварки им.Е.О.Патона НАН Украины Тел.: (044) 271-23-90, Факс: (044) 528-34-84, 529-26-23 E-mail: journal@paton.kiev.ua http://www.nas.gov.ua/pwj

#### Научные редакторы

Н. Г. Белый, А. А. Грузд

#### Электронная верстка

Л. Н. Герасименко. И. Р. Наумова, И. С. Баташева

Свидетельство о государственной регистрации KB 4787 or 09.01.2001

Журнал входит в перечень утвержденных ВАК Украины изданий для публикации трудов соискателей ученых степеней

При перепечатке материалов ссылка на журнал обязательна

За содержание рекламных материалов редакция журнала ответственности не несет

Цена договорная

#### СОДЕРЖАНИЕ

#### ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА

ЛОБАНОВ Л. М., БУТЕНКО Ю. В., ГОРЯЧЕК А. В., СЕРБИН В. И., ТИЩЕНКО Л. Е., ФРИДМАН В. А., ПИВТОРАК В. А., КАЙДАЛОВ А. А., САВИЦКИЙ В. В., ТКАЧУК Г. И. Исследования напряженного состояния сварных дисков рото-ЛАНЧАКОВ Г. А., СТЕПАНЕНКО А. И., НЕДОСЕКА А. Я., ЯРЕМЕНКО М. А., ЕГУРЦОВ С. А. Диагностика трубопроводов ДКС и воздушных переходов НЕДОСЕКА А. Я., ОВСИЕНКО М. А., ХАРЧЕНКО Л. Ф., ЯРЕМЕНКО М. А. Оптимизация акустоэлектронного тракта при применении волноводов ............ 14

#### НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ

ТРОИЦКИЙ В. А., БОНДАРЕНКО А. И., ТРОИЦКАЯ Н. В., ШЕКЕРО А. Л. О коллективном проекте стран Европы по мониторингу состояния объектов посредством дальнодействующего ультразвука (LRUCM) ...... 17 ЕРЕМЕНКО В. С., МОКИЙЧУК В. М., ОВСЯНКИН А. М. Обнаружение ударных повреждений сотовых панелей методом низкоскорос-СТОРОЖЕНКО В. А., МАЛИК С. Б. Применение термографии для контроля ДУБОВ А. А., КОЛОКОЛЬНИКОВ С. М., ЗАГРЕБЕЛЬНЫЙ В. И. Оценка качества сварных соединений методом магнитной памяти металла в сравнении с ОВСЯНКІН А. М., ДЕРЕЧА В. Я., ЛУБЯНИЙ В. В. Контроль втомних пошкод-

#### TRATITION IT THE CONTRACTOR

кидамчофни и алиночх	
Вітаємо лауреатів Державної премії України!	45
<i>ШЕКЕРО А. Л.</i> Итоги 9-й Европейской конференции по неразрушающему	
контролю в Берлине	46
14-я Международная конференция-выставка «Современные методы	
и средства неразрушающего контроля и технической диагностики»	51
Итоги проведения «Первого Международного конкурса по неразру-	
шающему контролю» в Украине	53
Научно-технический семинар НПФ «Диагностические приборы»	
в рамках 5-го Промышленного форума	54
Новости	
По страницам журнала «Дефектоскопия» (РФ) за 2006 г	58
Календарь конференций и выставок по НК в 2007 г.	
Поздравляем юбиляра!	
Ультразвуковой дефектоскоп Phasor XS с фазированной решеткой	
Система непрерырвного мониторинга оборудования и технологичес-	
ких трубопроводов цеха производства аммиака Одесского	
припортового завода	63

#### ИЗДАНИЕ ЖУРНАЛА ПОДДЕРЖИВАЮТ:

Технический комитет по стандартизации "Техническая диагностика и неразрушающий контроль" ТКУ-78



Украинское общество неразрушающего контроля и технической диагностики

# TECHNICAL DIAGNOSTICS

**№** 1, 2007

Founded in January, 1989

Founders: The National Academy of Sciences of Ukraine The E. O. Paton Electric Welding Institute International Association «Welding»

Publisher: International Association «Welding»

#### **EDITORIAL BOARD:**

Editor-in-Chief

#### **B. E. PATON**

A. Ya. Nedoseka (vice-chief ed.), V. A. Troitsky (vice-chief ed.), Z. A. Maidan (exec. secr.), I. P. Belokur, Yu. K. Bondarenko, V. L. Vengrinovich, E. F. Garf, A. A. Gruzd, Yu. B. Drobot, V. I. Ivanov, O. M. Karpash, V. V. Klyuev, L. M. Lobanov, A. A. Lebedev, V. K. Lebedev, G. G. Lutsenko, N. V. Novikov, E. S. Pereverzev, P. P. Prokhorenko, V. P. Radko, I. Ya. Shevchenko, A. I. Stepanenko, V. A. Strizhalo, A. Ya. Teterko, V. N. Uchanin, A. F. Ulitko, T. M. Shvets, N. N. Zatsepin, A. V. Shimanovsky

#### Address:

The E. O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine, 11 Bozhenko str., 03680, Kyiv, Ukraine Tel.: (044) 271-23-90, Fax: (044) 528-34-84, 529-26-23 E-mail: journal@paton.kiev.ua ttp://www.nas.gov.ua/pwj

#### Scientific editors:

N. G. Bely, A. A. Gruzd

#### **Electron galley:**

I. R. Naumova, L. N. Gerasimenko, I. S. Batasheva

> State Registration Certificate KV 4787 of 09.01.2001

All rights reserved. This publication and each of the articles contained here in are protected by copyright. Permission to reproduce material contained in this journal must be obtained in writing from the Publisher.

#### CONTENTS

#### **TECHNICAL DIAGNOSTICS**

LOBANOV L. M., BUTENKO Yu. V., GORYACHEK A. V., SERBIN V. I., TISHCHENKO L. E., FRIDMAN V. A., PIVTORAK V. A., KAIDALOV A. A., SAVITSKII V. V., TKACHUK G. I. Investigation of the stressed state of welded discs of GTE rotors	2
LANCHAKOV G. A., STEPANENKO A. I., NEDOSEKA A. Ya., YAREMENKO M. A., EGURTSOV S. A. Diagnostics of booster compressor unit piping and aerial crossings of interfield collectors	
NEDOSEKA A. Ya., OVSIENKO M. A., KHARCHENKO L. F., YAREMENKO M. A. Optimisation of acousto-electronic circuit at waveguide application	
NONDESTRUCTIVE TESTING	
TROITSKII V. A., BONDARENKO A. I., TROITSKAYA N. V., SHEKERO A. L. About a collective project of European countries on long-range ultrasonic monitoring of the condition of facilities	17
EREMENKO V. S., MOKIJCHUK V. M., OVSYANKIN A. M. Detection of impact damage of honeycomb panels by the low-speed impact method	
monitoring PC board thermal modes	28
quality of welded joints by the method of metal magnetic memory, compared to radiation and ultrasonic techniques	
of structures from polymer composite materials	39
Congratulations to the winners of the State Prize of Ukraine	
14th International Conference LExhibition «Modern Methods and Means	
of NDT and Technical Diagnostics»	
Scientific-Technical Seminar of SPF «Diagnosticheskie Pribori» within	-
the framework of the 5th Industrial Forum	
News	
Review of «Defektoskopia» Journal (RF) for 2006	
Congratulations on the jubilee	
Ultrasonic flaw detector Phasor XS with a phased array	
System of continuous monitoring of the equipment and process piping of an ammonia producing shop at Odessa Port Plant	63

Concerning publication of articles, subscription and advertising, please, contact the editorial board



УДК 621.19.16

### ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ СВАРНЫХ ДИСКОВ РОТОРОВ ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Л. М. ЛОБАНОВ, Ю. В. БУТЕНКО, А. В. ГОРЯЧЕК, В. И. СЕРБИН, Л. Е. ТИЩЕНКО, В. А. ФРИДМАН, В. А. ПИВТОРАК, А. А. КАЙДАЛОВ, В. В. САВИЦКИЙ, Г. И. ТКАЧУК

Исследовано напряженное состояние сварных дисков роторов газотурбинного двигателя с использованием метода электронной спекл-интерферометрии. Проведены исследования механических свойств, а также металлографические исследования и разгонные испытания сварного диска ротора.

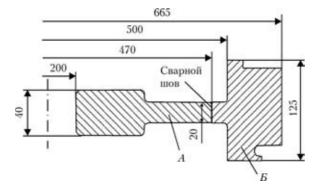
Stressed state of welded discs of GTE rotors has been studied using the method of electron speckle-interferometry. Investigations of mechanical properties, as well as metallographic examination and overspeed testing of the rotor welded disc have been conducted.

В современных отраслях турбостроения по-прежнему актуальны разработка и создание высоконадежных и работоспособных деталей, узлов и систем газотурбинных двигателей. Одной из ответственных деталей таких двигателей является сварной диск ротора, который работает в условиях высоких нагрузок и температур, вызывающих ползучесть материала диска, а также неравномерное по радиусу и непостоянное во времени распределение температур. Это обусловливает наложение часто периодически изменяющихся во времени температурных напряжений. В процессе работы диска изменяются, как правило, его механические свойства и напряженное состояние.

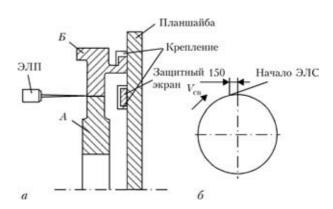
Для проведения комплексных исследований, включающих определение полей остаточных напряжений, исследование механических свойств, металлографические исследования и разгонные испытания, было изготовлено три сварных диска (Д-1, Д-2, Д-3) из хромоникелевой стали мартенситного типа  $07X12HM \ \Phi-III$  (ЭП-609III), которую применяют в турбостроении. Каждый диск состоял из двух деталей: ступицы A и обода B (рис. 1).

Диски сваривали с помощью электронного пучка на сварочной установке с энергоблоком ЭЛА-30 (ускоряющее напряжение 60 кВ) [1] и системой развертки электронного пучка СУ-165. Перед сваркой провели термообработку деталей диска на следующих режимах: закалка — 1030 °С в течение 1,5 ч, охлаждение в масле; отпуск — 630 °С в течение 2,5 ч, охлаждение на воздухе.

Сборку ступицы и обода выполняли с натягом 0,03...0,07 мм, после чего наносили прихватки аргонодуговой сваркой со стороны корня будущего шва. Размагничивание дисков перед сваркой осуществляли с помощью устройства ПМ-1, разработанного ГП НПКГ «Заря»-«Машпроект» (г. Николаев). Остаточная намагниченность не превышала 0,5 Э. Толщина металла в месте сварки составляла 20 мм. Электронно-лучевую сварку выполняли в режиме: скорость сварки 10 м/ч, сила тока электронного пучка 140 мА, круговая развертка электронного пучка с частотой 420 Гц и диаметром 0,7 мм. Затем провели косметический проход расфокусированным электронным пучком пониженной мощности.



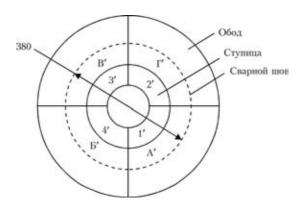
Puc. 1. Геометрические размеры диска и расположение сварного шва



*Рис. 2.* Схема крепления диска в камере (a) и сварки ( $\delta$ ): ЭЛП — электронная пушка;  $V_{\text{св}}$  — скорость сварки

© Л. М. Лобанов, Ю. В. Бутенко, А. В. Горячек, В. И. Сербин, Л. Е. Тищенко, В. А. Фридман, В. А. Пивторак, А. А. Кайдалов, В. В. Савицкий, Г. И. Ткачук, 2007

#### ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА



Puc. 3. Схема разрезки сварного диска для последующих исследований

При сварке оси планшайбы вращателя и свариваемого диска располагали в вертикальном положении. Ось электронной пушки находилась в горизонтальном положении и пушка оставалась неподвижной (рис. 2).

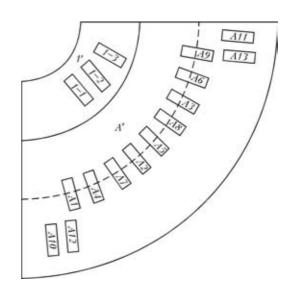
После электронно-лучевой сварки для снятия остаточных напряжений диски отжигали на режиме: нагрев до 620 °С и выдержка при данной температуре в течение 2,5 ч с последующим охлаждением на воздухе.

После механической обработки полотна диска в месте сварного стыка до толщины 10 мм с плавным переходом на детали ступицы и обода сварные диски прошли контроль качества с помощью рентгенографии и цветной дефектоскопии. Контроль сварных швов цветной дефектоскопией, выполненный с двух сторон полотна вдоль шва, не выявил дефектов в дисках. Результаты рентгенографического контроля, выполненного аппаратом Isovolt 3002 с использованием пленки марки A-400, показали следующее: в диске Д-1 сварной шов не имеет дефектов; в Д-2 по всей длине сварного шва имеются продольные трещины длиной 8...15 мм с промежутками 40...100 мм; диск Д-3 в сварном шве дефектов не имеет.

Анализ показал, что наличие продольных трещин в диске Д-2 вызвано неточным попаданием электронного пучка в стык (сварочная аппаратура не имеет системы слежения за стыком). Смещение электронного пучка на одну из кромок стыка полотна ослабляет прочность сварного шва, на который действуют остаточные напряжения.

Для устранения выявленных дефектов в диске Д-2 выполняли ремонтную сварку. После рентгенконтроля все же были выявлены дефекты: продольная трещина длиной 6 мм и несколько пор размерами 1,5...2 мм, которые находились в разных местах вдоль сварного шва. Устранение в сварном шве продольной трещины выполняли путем ее высверливания и последующей заварки.

Механические и металлографические исследования выполняли на сварном диске Д-1, который разрезали по диаметру 380 мм на две части (отделяли ободную часть от ступицы). Обод и сту-



 $Puc.\ 4.\ Схема$  расположения темплетов на участках A' и I': образцы на растяжение: A1-A3, A10, A11, I-I; образцы на ударный изгиб: A4-A6, A12, A13, I-2, I-3; образцы для макро- и микроисследований: A7-A9

пицу разрезали на четыре равные части в соответствии со схемой, приведенной на рис. 3.

Исследование механических свойств металла диска проводили на образцах, вырезанных согласно схемы, приведенной на рис. 4. Исследовали две части ступицы I' и 3' и обода A' и B'. Образцы для определения предела прочности материала изготавливали в соответствии с ГОСТ 1497–84, а для испытаний на ударную вязкость материала — в соответствии с ГОСТ 5494–78.

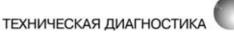
Проведенные исследования показали, что разрушение сварных образцов, испытанных на растяжение, произошло по основному материалу на расстоянии 5,5 мм от сварного шва. Полученные значения  $\sigma_{\rm B}$ ,  $\sigma_{0,2}$ ,  $\delta$  и  $\psi$  соответствуют данным механических свойств образцов, вырезанных из основного материала обода и ступицы.

Анализ результатов испытания образов на ударную вязкость показал, что ударная вязкость сварных образцов ниже ударной вязкости образцов, вырезанных из основного материала обода и ступицы (табл. 1).

Исследования твердости показали, что твердость сварного шва (*HB* 302...321) выше таковой основного материала диска (*HB* 277...285), однако оба показателя находятся в пределах допустимого интервала твердости и соответствуют нормам для материала ЭП-609Ш.

Результаты количественного спектрального анализа металла обода и ступицы соответствуют составу стали ЭП-609Ш (табл. 2).

Проведенные микро- и макроисследования литой зоны шва и зоны термического влияния на наличие трещин показали, что в исследованных зонах трещины отсутствуют. Однако в корне косметического прохода на макрошлифах попереч-



Т а б л и ц а 1. Результаты испытаний образцов на растяжение и ударный изгиб при комнатной температуре

Место вырезки	Темплет	$\sigma_{\rm b}$ , kpc/mm <sup>2</sup>	$\sigma_{0,2}$ , кгс/мм <sup>2</sup>	δ, %	ψ, %	<i>КСU</i> , кгс∙м/см <sup>2</sup>	$d_{\scriptscriptstyle  ext{OTII}}\!/\!H\!B$	
							Основной материал	Сварной шов
Зона сварного шва	A'	93 93 93,5	82 83,5 83	14 12 12	61 61 62	4,0 13,8 5	_	3,45/311
	В'	94 93 94	85 86 85	12 14 12	64 64 61,5	5,0 6,3 3,8	_	3,4/321 3,5/302 3,4/321
Основной металл обода	A'	94,5 93	85 84	16 16	64 61,5	10,3 9,0		_
	В'	94 94	84,5 83	12 14	61,5 63	6,3 7,3	3,65/277 3,65/277	_
Основной металл ступицы	1'	98,5	88	20	66,5	13,1 14,0	3,6/285 3,6/285	_
	3'	97	87,5	18	67,0	10,0 12,5	3,6/285 3,6/285	_
Требования нормативной док	77	69	6	34	4,5	3,33,8	_	

Таблица 2. Химический состав металла исследуемого диска, мас. %

Область контроля	С	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Nb	V	S	P
Обод	0,07	0,43	0,27	10,89	1,57	0,37	0,07	0,18	0,006	0,02
Ступица	0,08	0,42	0,27	10,93	1,59	0,37	0,07	0,18	0,005	0,02
ЭП-609 (стандарт)	0,05	_	_	10,50	1,4	0,35	0,05	0,15	_	
И255.105.092-87	0,09	0,60	0,60	12,00	_	0,50	0,15	0,25	0,02	0,03

ного сечения сварного шва темплетов A' и B' выявлены участки несплавлений.

Разгонные испытания проводили на диске Д-3, который был собран в ротор (состыкован с цапфой и насажен на вал), сбалансирован, обмерен (измерен наружный диаметр диска) и смонтирован в разгонной камере на стенде ВРД-500. Цель разгонных испытаний — определение несущей способности диска по месту кольцевого сварного соединения. В связи с этим диск для испытаний имел в месте сварки утонение для локализации разрушения по заданному сечению. Испытания проводили в несколько этапов по следующей программе: а) запуск установки; б) плавное повышение частоты вращения; в) выдержка не менее трех минут на максимальной частоте вращения; г) остановка и охлаждение диска до температуры окружающей среды. После завершения каждого этапа и охлаждения диска до температуры окружающей среды выполняли измерение наружного диаметра диска в шести его сечениях. При выполнении измерений диск находился в разгонной камере. Усредненные результаты измерений диаметра диска в зависимости от частоты его вращения приведены ниже:

Частота враще- ния, об/мин	0	12000	12500	13000	13500
Наружный диа- метр диска, мм	629,94	630,09	630,13	630,13	630,21

Расчет несущей способности диска на частоте вращения 15000 об/мин (с учетом действительной геометрии диска) проводили по методике, описанной в работе [2]. Разрушение диска произошло на частоте вращения 14650 об/мин, при этом коэффициент снижения запаса k по разрушающей частоте вращения по сравнению с расчетной оценкой (0,95) составил k=0,99. Из рис. 5 видно, что обод диска разрушился на несколько частей. Начало разрушения — область проточки в месте расположения сварного шва, которая является самой напряженной частью диска.

На протяжении более чем 4/5 периметра круговой проточки разрушение развивалось в плоскости максимальных растягивающих напряжений под углом примерно 45° с началом со стороны полотна. Дефекты в исходном материале и сварном шве по данным анализа изломов не выявлены.

Анализы результатов макро- и микроисследований области разрушения показали, что разрушение начинается в зоне термического влияния основного

#### ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА

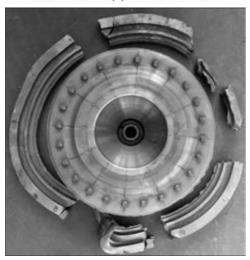


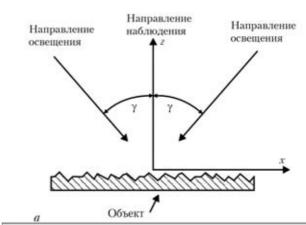
Рис. 5. Разрушенный диск

материала полотна диска и заканчивается в центре сварного шва с другой стороны диска.

Исследование остаточных напряжений выполняли на сварном диске Д-2. Следует отметить, что для определения остаточных напряжений в деталях и узлах конструкций применяют различные методы [3–7]. Среди методов экспериментального определения остаточных напряжений в конструкциях большое распространение получил метод зондирующего отверстия [4], заключающийся в следующем: в исследуемой точке на поверхности объекта высверливают сквозное или несквозное отверстие и измеряют деформации, вызванные упругой разгрузкой объема материала при освобождении остаточных напряжений в нескольких направлениях. Измеряют величины деформаций с помощью наклеенных в окрестности отверстия специальных розеток тензорезисторов. По величине этих деформаций с помощью различных расчетных или аналитических моделей могут быть определены главные направления и соответствующие величины остаточных напряжений.

В последние годы для определения перемещений и деформаций интенсивно развивают новый бесконтактный метод лазерной интерферометрии — электронную спекл-интерферометрию [8–10], которая практически нечувствительна к точному размещению высверливаемого отверстия и к его размерам. Отверстие, используемое для упругой разгрузки остаточных напряжений, можно выполнить в любой точке участка, освещенного лазерным светом. При этом отраженные световые волны до и после выполнения отверстия с помощью ССD-камеры записывают в память компьютера и обрабатывают для получения величин остаточных напряжений.

Спекл-интерферометрический метод определения остаточных напряжений основан на использовании оптической схемы интерферометра (рис. 6, *a*). При этом исследуемый участок объекта освещают двумя симметричными лучами под уг-





Puc.~6.~ Спекл-интерферометрическая измерительная система: a — оптическая схема спекл-интерферометра;  $\delta$  — общий вид спекл-интерферометрической измерительной системы

лом  $\gamma$ . Это позволяет определять плоскостные компоненты вектора перемещений, которые характеризуют деформацию объекта в его плоскости.

Для определения остаточных напряжений в элементах и узлах конструкций на основе этой оптической схемы в ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины были разработаны методика определения остаточных напряжений и малогабаритный прибор, который устанавливают непосредственно на поверхность исследуемого объекта (рис. 6,  $\delta$ ). В состав прибора входят спекл-интерферометр 1, CCD-камера 2, световод 3, лазер 4 и компьютер 5. Измерение выполняют в следующей последовательности: прибор устанавливают на поверхности объекта. Отраженную световую волну, характеризующую исходное состояние контролируемого участка, с помощью ССО-камеры вводят в память компьютера. После упругой разгрузки напряжений путем сверления несквозного отверстия диаметром и глубиной ~ 1...2 мм отраженную световую волну вводят в память компьютера аналогично исходной световой волне. После компьютерной обработки этих двух световых волн на мониторе наблюдают интерференционную картину полос в окрестности отверстия, которая содержит информацию о величине остаточных напряжений в контролируемой точке исследуемого участка объекта (рис. 7) [15].



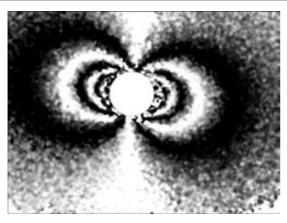


Рис. 7. Типичная интерференционная картина окрестности несквозного отверстия в поле остаточных напряжений

Для пластины со сквозным отверстием, которая находится в поле растягивающих напряжений, величины перемещений в окрестности отверстия могут быть вычислены аналитически с использованием зависимостей, полученных в работах [6, 7]. Аналогичная задача для пластины с несквозным отверстием не имеет аналитического решения, и поэтому в этом случае используются эмпирические формулы, приведенные в работах [11, 12].

Зависимость перемещений  $u_r$  и  $u_\theta$ , возникающих в результате разгрузки напряжений  $\sigma_{xx}$ ,  $\sigma_{yy}$  и  $\sigma_{xy}$  на некотором расстоянии r от центра отверстия, от угла  $\theta$  (угол между радиус-вектором измеряемой точки и осью  $\theta X$ ) имеет вид [13]:

$$u_r(r,\theta) = \overline{A}(\sigma_{xx} + \sigma_{yy}) + + \overline{B}[(\sigma_{xx} - \sigma_{yy})\cos 2\theta + 2\tau_{xy}\sin 2\theta],$$
 (1)

$$u_{\theta}(r, \theta) = \overline{C}[(\sigma_{xx} - \sigma_{yy}) \sin 2\theta - 2\tau_{xy} \cos 2\theta],$$
 (2)

где  $\overline{A}$ ,  $\overline{B}$  и  $\overline{C}$  — эмпирические коэффициенты, которые зависят от механических свойств материала, расстояния от центра отверстия и его диаметра

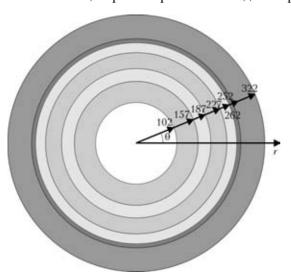


Рис. 8. Схема расположения и размеры контролируемых участков на исследуемом сварном диске

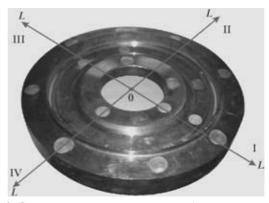
и не зависят от вида напряженного состояния; поэтому, вычисленные для одноосного напряженного состояния, они должны быть верны и для двухосного напряженного состояния исследуемого объекта [9]. Это утверждение положено в основу разработанных численных и экспериментальных методов определения эмпирических коэффициентов  $\overline{A}$ ,  $\overline{B}$  и  $\overline{C}$ .

Для экспериментального определения эмпирических коэффициентов дополнительно разработаны соответствующие методика и оборудование. Методика предполагает создание одноосного напряженного состояния в специальном тестовом образце с известным уровнем напряжения. В нагруженном образце высверливали отверстие и с помощью спекл-интерферометра в зоне отверстия измеряли компоненты векторов перемещений. По данным о перемещениях в исследуемых точках по формулам из работы [15] вычисляли эмпирические коэффициенты. Значения эмпирических коэффициентов для дополнительной проверки определяли с помощью метода конечных элементов по разработанному алгоритму. Полученные результаты показали, что данные численного определения эмпирических коэффициентов  $\overline{A}$ ,  $\overline{B}$  и  $\overline{C}$  хорошо согласуются с экспериментальными. Это позволило дополнительно получить ряд зависимостей, повышающих точность определения остаточных напряжений для различных материалов без проведения трудоемких и дорогостоящих экспериментальных исследований.

В разработанной методике предлагается измерение методом электронной спекл-интерферометрии компоненты перемещений  $u_x$  на постоянном расстоянии от центра отверстия ( $r=2,5r_0$ ,  $r_0$  — радиус высверленного отверстия).

В общем случае определение остаточных напряжений предложенным методом выполняют в следующей последовательности [15]:

на расстоянии 2,5 $r_0$  от центра высверленного отверстия радиусом  $r_0$  выбирают три точки под произвольными углами  $\theta_1$ ,  $\theta_2$  и  $\theta_3$  относительно оси освещения;



Puc. 9. Схема исследуемых сечений и областей при определении остаточных напряжений



L, mm		I	I	I		III	I	V
L, MM	$\sigma_{rr}$ , МПа	$\sigma_{\theta\theta}$ , МПа	σ <sub>гг</sub> , МПа	$σ_{\theta\theta}$ , ΜΠ $a$	$\sigma_{rr}$ , МПа	$\sigma_{\theta\theta}$ , МПа	$\sigma_{rr}$ , МПа	$\sigma_{\theta\theta}$ , МПа
112	6,32	217,85	23,25	194,84	2,34	231,14	29,14	216,40
122	28,65	195,85	43,32	165,96	11,05	209,31	27,98	177,79
132	37,36	165,02	23,20	153,79	32,07	179,96	39,99	163,25
195	55,15	125,38	56,44	144,52	39,79	154,81	49,02	144,60
202	83,31	128,23	88,51	141,20	88,63	149,03	74,90	143,36
282	27,60	-138,23	37,98	-143,20	41,30	-158,51	57,13	-136,24
292	43,56	-128,45	57,16	-126,08	34,01	-150,11	32,31	-124,34
302	43,09	-120,93	37,58	-135,51	37,56	-115,71	43,00	-104,07
$\Pi$ р и м е ч а н и е : $\sigma_{rr}$ , $\sigma_{\theta\theta}$ — напряжения, измеренные соответственно в радиальном и окружном направлениях.								

экспериментально измеряют перемещения  $u_x(\theta_1),\ u_x(\theta_2)$  и  $u_x(\theta_3)$  в выбранных точках;

находят компоненты  $\sigma_{xx}$ ,  $\sigma_{yy}$  и  $\tau_{xy}$  тензора напряжений как решение системы из трех линейных уравнений;

вычисляют значения главных напряжений  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  и угол  $\eta$  между осью освещения спекл-интерферометра и направлением  $\sigma_1$ ;

повторение четырех последних пунктов для других трех точек с последующим усреднением получаемых результатов расчета напряжений позволяет значительно повысить точность определения остаточных напряжений.

Для оценки точности измерения плоскостных перемещений с помощью малогабаритного спеклинтерферометра и автоматизированной компьютерной обработки интерферограмм использовали решение известной задачи об изгибе консольной балки. Выполненные эксперименты показали, что отклонение значений напряжений, которые определяли спекл-интерферометрическим методом, от расчетных не превышают 6 % предела текучести исследуемого материала [14, 15].

На рис. 8, 9 показаны расположение и размеры контролируемых участков, сечения и области, в которых определяли остаточные напряжения. Выполняя последовательно операции, описанные выше, определяли остаточные напряжения в исследуемых сечениях I—IV (табл. 4).

Анализ результатов показал, что остаточные напряжения распределены неравномерно на поверхности ступицы, полотна и обода. Тем не менее, при проведении разгонных испытаний модельного диска существенного влияния сварки на его прочность не выявлено.

Для создания оптимальной конструкции сварного диска необходимы дальнейшие комплексные исследования, включающие натурные исследования прочностных характеристик и напряженного

состояния дисков в лабораторных и производственных условиях в составе изделия.

- 1. *Кайдалов А. А.* Электронно-лучевая сварка / Изд. 2-е, испр. и доп. Киев: Экотехнология, 2004. 260 с.
- 2. Биргер И. А., Шорр Б. Ф., Шнейдерович Р. М. Расчет на прочность деталей машин. М.: Машиностроение, 1966. 420 с.
- Экспериментальные методы исследования деформаций и напряжений / Б. С. Касаткин, А. Б. Кудрин, Л. М. Лобанов и др. — Киев: Наук. думка, 1981. — 583 с.
- 4. Экспериментальная механика. Кн. 2 / Под ред. А. Кобаяси. М.: Машиностроение, 1990. —551 с.
- Биргер И. А. Остаточные напряжения в элементах конструкций // Тр. II Всесоюзн. симп. «Остаточные технологические напряжения». М.: 1985. С. 5–27.
- Лобанов Л. М., Пивторак В. А. Развитие голографической интерферометрии для исследования напряженно-деформированного состояния и контроля качества сварных конструкций // Сучасне матеріалознавство XXI сторіччя. — Київ: Наук. думка, 1998. — С. 620–636.
- Остаточные напряжения в элементах авиационных конструкций, выполненных из сплава 1420 / А. Г. Братухин, Л. М. Лобанов, В. А. Пивторак и др. // Автомат. сварка. 1995. № 3. С. 10–13.
- Moore A. J., Tyrer J. R. Two-dimensional strain measurement with ESPI / Opt. Lasers Eng. 1996. 24. P. 381–402.
- Zhang J. Two-dimensional in-plane its application to residual stress determination / Opt. Eng. 1998. 37. P. 2402–2409.
- Speckle Metrology / Ed. By R. S. Sirohi. New-York: Marcel Dakker, 1993. 342 c.
- Makino A., Nelson D. Residual stresses determination by single-axis holographic interferometry and hole-drilling. Pt. I: Theory / Exp. Mech. — 1994, 34. — P. 66–78.
- 12. Wu Z., Lu J., Joulaud P. Study of residual stresses distribution by moire interferometry incremental hole drilling method / The Fifth Int. Conf. on Residual Stresses. Lin Koping (Sweden) june 16–18, 1997. P. 1127–1132.
- Schaer G. S. Application of finite element calculations to residual stresses measurements. J. Eng. Mater. Tech., 1981. 103, № 4. P. 157–163.
- Тимошенко С. П. Курс теории упругости. Киев: Наук. думка, 1972. — 501 с.
- 15. Лобанов Л. М., Пивторак В. А., Савицкий В. В., Ткачук Г. И. Методика определения остаточных напряжений в сварных соединениях и элементах конструкций с использованием электронной спекл-интерферометрии // Автомат. сварка. 2006. № 1. С. 25–30.

Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, Киев ГП НПКГ «Заря»-«Машпроект», Николаев

Поступила в редакцию 26.12.2006



УДК 621.129.30.16

#### ДИАГНОСТИКА ТРУБОПРОВОДОВ ДКС И ВОЗДУШНЫХ ПЕРЕХОДОВ МЕЖПРОМЫСЛОВЫХ КОЛЛЕКТОРОВ

#### Г. А. ЛАНЧАКОВ, А. И. СТЕПАНЕНКО, А. Я. НЕДОСЕКА, М. А. ЯРЕМЕНКО, С. А. ЕГУРЦОВ

Проведен краткий анализ факторов, вызывающих аварийные ситуации на технологических трубопроводах «высокой стороны» дожимных компрессорных станций (ДКС). Представлены некоторые технические решения, их реализация на объектах ООО «Уренгойгазпром» по обеспечению более надежной эксплуатации трубопроводов на вечной мерзлоте, состояние свайных оснований во времени, воздушных переходов и т. п.

Brief analysis of factors causing emergency situations in process pipelines of the Vhigh side  $\Phi$  of booster compressor stations is given. The paper presents some engineering solutions, their implementation in the facilities of OJSC VUrengoj-gasprom  $\Phi$  for guaranteeing a more reliable pipeline operation on permafrost, condition of pile supports in time, aerial transitions, etc.

В настоящее время протяженность трубопроводов, требующих ремонта или замены, превышает протяженность вновь строящихся. Удельные затраты на капитальный ремонт возросли только по ОАО «Газпром» за последние годы в несколько раз. Особо следует выделить межпромысловые трубопроводы, воздушные переходы через мелкие реки, ручьи и малые водотоки [1]. Условия их эксплуатации характеризуются режимом малоциклового нагружения в широком диапазоне температур от 20 до -60 °C, воздействием высоких неконтролируемых упругопластических деформаций. Систематическое изменение теплового потока постепенно приводит к отклонению трубопровода от первоначального (проектного) положения. Образуются арки трубопроводов на свайных основаниях. Нередко меняются внешние условия, отрицательно влияющие на работоспособность трубопроводов, меняется расчетная схема и напряженно-деформированное состояние. Факторы, влияющие на работоспособность трубопроводов, представлены на рис. 1. Это относится и к трубопроводным обвязкам ДКС, которые выполнены в наружном исполнении на свайных основаниях. Особое место по

обеспечению надежности трубопроводов необходимо выделить на стадии эксплуатации.

Важная роль в решении этой проблемы отводится технической диагностике трубопровода как эффективному средству прогнозирования и предотвращения аварийных ситуаций, а также экологической защиты и обеспечения промышленной безопасности.

Рассмотрим некоторые особенности обеспечения надежности трубопроводов в районе Крайнего Севера. Традиционные подходы и методы диагностики, применяемые в районах с умеренными природно-климатическими условиями, нельзя применить для трубопроводов Крайнего Севера. Связано это с тем, что трубопроводы в этих регионах эксплуатируются в сложных природно-климатических и геокриологических условиях в области отрицательных температур.

Несомненный интерес представляет опыт обеспечения надежной эксплуатации трубопроводов, проложенных в условиях вечной мерзлоты, накопленный в газодобывающей компании ООО «Уренгойгазпром».



Рис. 1. Факторы, вызывающие аварийную ситуацию на технологических трубопроводах «высокой стороны» ДКС

© Г. А. Ланчаков, А. И. Степаненко, А. Я. Недосека, М. А. Яременко, С. А. Егурцов, 2007

#### ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА

Трубопроводные системы Уренгойского НГКМ представляют собой разветвленный комплекс трубопроводов различного назначения (газо-, нефте-, конденсатопроводы) и диаметра, начиная от 57 до 1420 мм, общей протяженностью более 5000 км, эксплуатирующихся на различных типах многолетнемерзлых пород в экстремальных природно-климатических условиях, характерных для Крайнего Севера. Трубопроводы и трубопроводные обвязки установки комплексной подготовки газа (КПГ), ДКС выполнены в различном исполнении прокладки (надземной и подземной), пересекают большое количество ландшафтных зон, малых рек и водотоков, резко различающихся между собой как температурой грунта, так и его составом.

Для обеспечения устойчивости трубопровода в таких условиях его обваловывают и закрепляют пригрузами. Однако в процессе эксплуатации газопроводов в многолетнемерзлых слабонесущих грунтах вносится возмущение в температурный режим грунтов. При этом развиваются процессы многочисленных локальных пучений, происходит деградация многолетнемерзлых пород вокруг газопровода, сопровождающаяся разрушением обваловки, всплытием и просадками трубопроводов, пучением (просадкой) свайных оснований трубопроводных обвязок (ТПО) ДКС и воздушных переходов [2].

Наибольшую опасность для межпромысловых коллекторов (МПК) представляют участки переходов через геолого-геоморфологические уровни (коренной берег—пойма), контрастные типы и состояния местности (мерзлое—талое—болото—сухой участок), водотоки. На этих участках, как правило, происходят интенсивные перемещения трубопроводов с возникновением в них напряженно-деформированного состояния (НДС).

Таким образом, можно смело констатировать, что одной из основных задач диагностирования трубопроводов, эксплуатирующихся в условиях Крайнего Севера, является оценка НДС трубопроводов и динамика его изменения в результате взаимодействия их со слабонесущими многолетнемерзлыми грунтами.

В связи с этим в ООО «Уренгойгазпром» была предпринята попытка решить эту задачу на конкретных, наиболее значимых объектах добычи газа и его транспортировки, а именно на подключающих трубопроводах наружной и подземной прокладки (шлейфах) и ТПО ДКС, а также на воздушных переходах через ручьи, малые водотоки и реки МПК.

Традиционные методы проведения диагностических обследований указанных трубопроводов включали в себя: визуально-измерительный контроль, при обнаружения потенциально-опасных участков (ПОУ) трубопроводов применяли аппаратуру ультразвукового (УЗ) контроля, магнитные

методы для выявления дефектов на данных участках. После проведения обследований принимали решение о выполнении ремонтных работ. В большинстве таких случаев принятое решение о ремонтных работах носило субъективный характер и, как правило, зависело от человеческого фактора и не всегда было верным. Это влекло за собой неоправданное увеличение объемов ремонтных работ и увеличение денежных средств, потраченных на их выполнение. В данный момент такой подход неприемлем.

Устранение выявленных дефектов (в основном пучение и просадка свайных оснований трубопроводов) выполняли путем подрезания и наращивания свай с помощью сварки. Данные работы приходилось проводить почти ежегодно.

Поставлена задача — уйти от проведения ненужных сварочно-монтажных работ и попытаться разработать систему диагностики, которая бы позволяла получать информацию о НДС свайных оснований во времени и проводила постоянный мониторинг.

В первую очередь оснащению измерительными модулями системы инструментального мониторинга (СИМ), «отслеживающими» изменения параметров технического состояния объектов добычи и транспорта газа, подлежат потенциально опасные участки трубопроводов — трубопроводные обвязки «высокой стороны» (ДКС, УКПГ) и воздушные переходы, указанные в «Правилах технической эксплуатации магистральных газопроводов» (ВРД-39-0.10-006–2000).

Для решения поставленной задачи были проведены диагностические обследования выбранных объектов с целью выявления ПОУ, а именно: трубопроводные обвязки ДКС-7 и воздушный переход МПК через малый водоток длиной около 60 м.

Параллельно совместно с ООО «Газпромэнергодиагностика» разрабатывалась диагностическая система инструментального контроля, которая включает саму регулирующую опору, систему контроля и регулировки опорных конструкций, систему линий связи и регистрирующую аппаратуру с программным обеспечением [3, 4].

Здесь решались задачи информационной, программной и аппаратной совместимости, эффективности хранения данных, выбора номенклатуры пользовательских запросов и т. п. Исходя из концептуальных соображений, определялись требования к отдельным подсистемам и модулям. Учитывалось, что СИМ не должна нарушать технологические процессы добычи и транспорта газа.

Изготовленные регулирующие конструкции опор (рис. 2) были установлены на выбранных ПОУ ДКС и воздушном переходе МПК Уренгойского НГКМ, совместно с изготовленной измерительной автоматизированной системой мониторинга.

После полугодичной эксплуатации установленных систем на ТПО ДКС и переходе проведены эксплуатационные ведомственные испытания с участием представителей ООО «ВНИИГАЗ» и проектного института ООО «ВНИПИгаздобыча», выпущены нормативные документы, утвержденные ОАО «Газпром», согласована проектная документация. В процессе испытаний выявлены некоторые недостатки, которые были устранены при изготовлении последующих конструкций диагностической системы.

Испытания показали надежную работу разработанной системы и конструкций силоизмерительных регулируемых опор. Это позволило рекомендовать данную разработку для внедрения на предприятиях ОАО «Газпром».

На Уренгойском месторождении предварительно была проработана документация по ранее проводившемуся базовому обследованию объектов и выявлены ПОУ. После уточнения результатов диагностики на опасных участках трубопроводов шести цехов ДКС и пяти воздушных переходах на малых реках и водотоках МПК (р. То-Яха, Яр-Яхатарка и др. длиной от 50 до 180 м) были смонтированы измерительные системы мониторинга. Всего было установлено 65 силоизмерительных опор.

Измерительные модули, из которых состоит сама система, герметичны (IP67), имеют широкий диапазон рабочих температур (от –55 до +70 °C) и удовлетворяют требованиям ПУЭ для оборудования, применяемого во взрывоопасных зонах. Частота расположения модулей и датчиков на объектах обеспечивает достаточную точность измерений параметров с аналоговым изменением в пространстве. Цифровые каналы выполнены в помехозащищенном исполнении, что гарантирует отсутствие искажений информации при ее передаче от модулей к центру. Кроме того, аппаратура, предназначенная для размещения в неохраняемых зонах, изготовлена в «вандалоустойчивом» исполнении.

На рис. 3 представлена структурная схема СИМ. Ядром системы является отказоустойчивый сервер, который с заданной периодичностью опрашивает измерительные модули, установленные непосредственно в наиболее ответственных узлах. Способ передачи цифровой информации от измерительных модулей в каждом случае определяется в зависимости от требуемой оперативности принятия решений. Предусмотрены каналы: проводной (Field-bus), УКВ-канал с использованием существующих радиосетей, GSM-радиоканал при работе в зоне покрытия сетей GSM, спутниковый, с использованием средств телемеханики. При необходимости данные могут быть считаны с помощью переносного устройства сбора информации.

Сервер работает в комбинации с динамической экспертно-диагностической базой данных (БД),





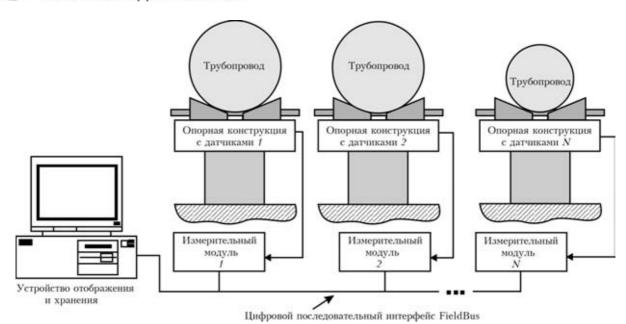
*Рис. 2.* Устройство контроля (a) и регулирования  $(\delta)$  опорной конструкции трубопроводов

где происходит постоянное накопление получаемой информации. Существенным для БД является организация хранения и представления данных в соответствии с принятым компьютерным моделированием технических устройств и сооружений и контролируемых параметров. Информация о техническом состоянии, накопленная за определенный период, используется для коррекции расчетных и статистических моделей диагностируемых узлов в реальном масштабе времени, причем интервал коррекции выбирается исходя из требуемой оперативности принятия решения о прекращении эксплуатации опасного производственного объекта. Централизованный сбор информации различной природы и ее однозначная временная привязка позволяет получать более достоверные результаты диагностирования [5].

В дальнейшем, по нашему мнению, в систему можно добавлять другие модули диагностики, которые увеличат ее функциональные возможности, а именно:

системы непрерывного мониторинга предельного состояния труб в области расположения опор на основе аттестованной акустической эмиссии;

#### ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА



*Рис. 3.* Структурная схема передачи информации интегральной автоматизированной системы контроля и регулирования опорных конструкций трубопроводов

системы контроля и регулировки (СКР) опорных конструкций трубопроводов, которые позволяют вести непрерывный контроль фактической нагрузки на опоры в условиях нестабильности свайных оснований и проведение регулировки в случае появления отклонений от номинальной нагрузки;

системы виброконтроля ТПО, позволяющие вести непрерывную оценку вибросостояния в различных режимах работы ГПА;

системы мониторинга НДС трубопровода в реальном времени;

системы мониторинга коррозионного состояния, контролирующие скорость коррозии подземных технологических трубопроводов и эффективность работы электрохимической защиты (ЭХЗ);

системы контроля пространственного положения трубопровода (СКПТ), позволяющие вести высокоточные измерения отклонений положения трубопровода от проектного.

Силоизмерительные опоры были выполнены с таким расчетом, чтобы в течение минимум 10...15 лет свайные основания, претерпевающие наибольшие пучения—просадки, могли регулироваться, что исключает их ремонт в процессе эксплуатации.

Перечень модулей и условия контроля определяются техническим состоянием оборудования и условиями эксплуатации.

Системами контроля и регулирования опорных конструкций могут оснащаться как действующие, так и строящиеся, ремонтируемые или реконструируемые надземные трубопроводы.

Целью применения систем контроля и регулирования опорных конструкций трубопроводов является обеспечение надежной и безаварийной эк-

сплуатации надземных трубопроводов на опорах и, тем самым, обеспечение промышленной безопасности опасных производственных объектов ООО «Уренгойгазпром», а также снижение затрат на выполнение ремонтных работ по восстановлению свайных оснований.

Системы контроля и регулирования опорных конструкций трубопроводов предназначены для решения следующих задач [6]:

автоматизированного получения информации в реальном масштабе времени о силовом взаимодействии трубопроводов и опор для ее использования при комплексной оценке и прогнозировании технического состояния надземных трубопроводов, выработки обоснованных рекомендаций по их дальнейшей эксплуатации, техническому обслуживанию и ремонту;

увеличения сроков безопасной эксплуатации надземных трубопроводов на опорах за счет компенсации негативного влияния природно-климатических воздействий (изменение температуры окружающего воздуха, многолетние и сезонные морозное пучение и термоосадка опор, примыкающих подземных коллекторов, ветровые воздействия) и эксплуатационных факторов (колебания температуры и давления газа, вибрация) путем проведения обоснованного регулирования высотного положения опорных конструкций;

систематического накопления информации для использования при проведении экспертизы промышленной безопасности надземных трубопроводов с целью продления срока их эксплуатации;

снижения эксплуатационных затрат и затрат на капитальный ремонт.

#### ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИК

#### Выводы

В результате решения указанных задач обеспечивается: определение фактических параметров силового взаимодействия трубопроводов и опор; оптимизация уровня НДС трубопроводов; предупреждение достижения заданных предельных состояний трубопроводов вследствие изменения его планово-высотного положения, инициируемого комплексом внешних и внутренних нагрузок и воздействий; оптимизация равномерности и уровня нагруженности опорных конструкций трубопроводов; предупреждение достижения заданных предельных состояний опорных конструкций трубопроводов; оптимизация управления техническим обслуживанием и ремонтом надземных трубопроводов на опорах за счет перехода на стратегию технического обслуживания и ремонта по «фактическому техническому состоянию» [7, 8].

1. *Диагностика* напряженного состояния газопроводов при эксплуатации /  $\Gamma$ . А. Ланчаков, А. И. Степаненко и др. — М.: Газовая пр-сть. — 1996. — № 4. — С. 15–18.

ООО «Уренгойгазпром» Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, Киев ООО «Газпромэнергодиагностика», Москва

- Пат. № 2249747 МКИ<sup>7</sup> F 163/205. Опорная система трубопровода / С. В. Власов, И. И. Губанок, А. Н. Дудов и др. Опубл. 12.10.2006, Бюл. № 34.
- 3. *Инструментальный* мониторинг промышленной безопасности технологических объектов / И. И. Губанок, В. В. Салюков, А. В. Хороших и др. М.: Газовая прсть. 2004. № 11. С. 82–84.
- 4. *Система* инструментального мониторинга промышленной безопасности технологических объектов / И. И. Губанок, В. В. Салюков, А. В. Хороших и др. М.: Газовая пр-сть. 2004. № 9. С. 82–83.
- Ланчаков Г. А., Зорин Е. Е., Степаненко А. И. Работоспособность трубопроводов. Диагностика и прогнозирование. — М.: ООО «Недра-бизнесцентр», 2003.
- 6. *Ремонт* магистральных и промысловых газопроводов. Справ. пособие / Под ред. А. И. Степаненко. Киев: Интерграфик, 1996. 191 с.
- 7. *Недосека А. Я.* Контроль критического напряженного состояния методом акустической эмиссии // В мире неразрушающего контроля. 2005. № 1 (27). С. 14—16
- 8. Акустико-эмиссионный контроль в нефтехимическом производстве / А. Я. Недосека, С. В. Агарков, М. А. Овсиенко и др. // Техн. диагностика и неразруш. контроль. 2003 N 4. С. 37–39.

Поступила в редакцию 14.11.2006



#### Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

#### Шоста науково-технічна конференція «ПРИЛАДОБУДУВАННЯ: СТАН І ПЕРСПЕКТИВИ»

24-25 квітня 2007 р.

м. Київ, Україна

#### Шановні колеги!

Пропонуємо Вам взяти участь в науково-технічній конференції **«ПРИЛАДОБУДУВАННЯ: СТАН І ПЕРСПЕКТИВИ»**, яка відбудеться в Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут».

Метою конференції є спілкування фахівців з питань перспективних розробок, прецизійних технологій, нових рішень в приладобудуванні, зустріч з керівниками провідних підприємств, формування спільних проектів, пошук партнерів для співпраці.

#### В рамках конференції будуть працювати секції:

- ✓ Теорія та практика навігаційних приладів і систем
- ✓ Оптичні та оптико-електронні прилади і системи
- ✓ Процеси виготовлення приладів, методи і засоби їх контролю
- ✓ Теорія і проектування наноприладів і систем вимірювання механічних величин і нанопереміщень
- ✓ Аналітичне та екологічне приладобудування
- ✓ Біомедичне приладобудування
- ✓ Неруйнівний контроль, технічна та медична діагностика
- ✓ Прилади і системи обліку витрат енергоносіїв

Контактні телефони: (044) 454-95-47, (044) 241-77-01 E-mail: psnk@ntu-kpi.kiev.ua УДК 620.19;620.179;621.721

#### ОПТИМИЗАЦИЯ АКУСТОЭЛЕКТРОННОГО ТРАКТА ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ВОЛНОВОДОВ

#### А. Я. НЕДОСЕКА, М. А. ОВСИЕНКО, Л. Ф. ХАРЧЕНКО, М. А. ЯРЕМЕНКО

Представлены результаты исследования влияния волноводов на характеристики (форму и амплитуду) принимаемого сигнала АЭ, экспериментально установлена оптимальная рабочая полоса акустического тракта, определены оптимальные размеры волновода. Показано, что использование волноводов при АЭ контроле промышленных изделий, работающих при высоких температурах, практически не ухудшает чувствительность аппаратуры, расширяет сферу применения данного метода контроля для высокотемпературных изделий.

Results of studying the influence of waveguides on the characteristics (shape and amplitude) of the received AE signal are presented, optimum working bandwidth of the acoustic circuit is experimentally established and optimum wave guide dimensions are determined. It is shown that application of wave guides at AE control of industrial products operating at high temperatures, practically does not impair the instrument sensitivity, and widens the scope of application of this control technique for high-temperature products.

Необходимость широкого применения АЭ метода контроля на объектах с повышенной температурой стенки требует разработки и усовершенствования приемного акустоэлектронного тракта.

Традиционные системы контроля [1, 2] используют датчики сигналов АЭ на основе пьезокерамических материалов типа ЦТС-19, ЦТС-23, 25 и могут работать при температурах ниже температуры точки Кюри (250...310 °C), а со встроенными предварительными усилителями — при температурах меньше 80 °C. Возникают проблемы применения таких датчиков на поверхности нагретого до высокой температуры объекта контроля.

Для решения данной проблемы необходимо или создать специальные высокотемпературные датчики и средства их крепления, или применять волноводы, которые обеспечили бы вынос датчика АЭ из зоны высокой температуры. Первый путь решения задачи довольно дорогой. Проанализируем второй путь решения данной проблемы.

Основное назначение волноводов — вынос датчика—приемника АЭ сигналов из зоны высокой температуры. Появление в акустическом тракте дополнительного устройства — волновода — требует детального изучения его влияния на форму и амплитуду принимаемого сигнала, согласование акустического импеданса с объектом контроля и рабочей поверхностью датчика, определение основного резонанса волновода, а затем и системы волновод—переходной слой—датчик.

В настоящее время недостаточно публикаций с рекомендациями по выбору и применению волноводов, отсутствуют расчеты по установлению однородности акустического поля на рабочей поверхности волновода, а также подходы к определению характеристик волноводов, которые обеспечивали бы прохождение волн эмиссии в том ди-

апазоне частот и с теми модами, на которые рассчитаны датчики.

Для обеспечения оптимальной работы датчиков в диапазоне температур от 370 до 560 °С и частотном диапазоне 12,5...800 кГц были выбраны и исследованы стальные волноводы длиной 540 мм.

Температурные исследования проводили на образце соответствующих размеров из стали Ст3. Торец волновода, который устанавливали на поверхность высокотемпературного объекта, нагревали до температур  $T_{\rm H1}=370\,^{\circ}{\rm C},\ T_{\rm H2}=450\,^{\circ}{\rm C},\ T_{\rm H3}=560\,^{\circ}{\rm C}$  (при температуре окружающей среды  $T_{\rm cp}=20\,^{\circ}{\rm C}$ ). На противоположном торце волновода температура рабочей поверхности, на которую устанавливается датчик АЭ, соответственно составляла  $T_{\rm k1}=34\,^{\circ}{\rm C},\ T_{\rm k2}=37\,^{\circ}{\rm C},\ T_{\rm k3}=41\,^{\circ}{\rm C}.$  Измерение температуры проводили прибором Triple-Display Auto-Display M-3890D.

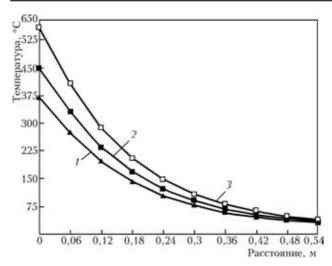
Расчет уменьшения температуры от нагреваемого торца до места установки датчика АЭ проводили по формуле [3]:

$$T = T_{\rm cp} + T_{\rm Haq} \exp(-z\sqrt{b}/a), \tag{1}$$

где  $T_{\rm Hau}$  — начальная температура;  $b=(2\alpha a)/(\lambda_0 r_{\rm c});~a=\lambda_0/(c\gamma);~\alpha$  — коэффициент теплоотдачи;  $\gamma$  — удельный вес; c — удельная теплоемкость;  $\lambda_0$  — коэффициент теплопроводности;  $r_{\rm c}$  — радиус стержня; z — координата.

Теплофизические постоянные для данного материала волновода взяты из справочных материалов [3].

Зависимость значений конечной температуры, рассчитанной по формуле (1), от длины волновода и начальной температуры нагретого торца, представлена на рис. 1.



*Рис. 1.* Изменение температуры в зависимости от расстояния от торца волновода до рабочей поверхности при различных начальных температурах  $T_{\rm Hay}$ , °C: I — 370; 2 — 450; 3 — 560

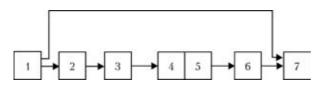


Рис. 2. Схема для определения АЧХ системы датчик—излучатель—датчик—приемник: 1 — генератор видеоимпульсов; 2 — генератор радиоимпульсов; 3 — усилитель мощности; 4 — датчик—излучатель сигналов АЭ; 5 — датчик—приемник сигналов АЭ; 6 — промежуточный усилитель; 7 — осциллограф

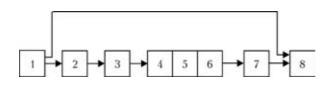
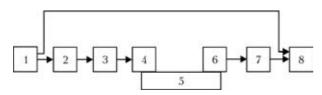


Рис. 3. Схема для определения АЧХ системы датчик—излучатель — волновод—датчик—приемник: I — генератор видеоимпульсов; 2 — генератор радиоимпульсов; 3 — усилитель мощности; 4 — датчик—излучатель сигналов АЭ; 5 — волновод; 6 — датчик—приемник сигналов АЭ; 7 — промежуточный усилитель; 8 — осциллограф



*Рис. 4.* Схема для определения АЧХ системы датчик—излучатель—фрагмент трубы—датчик—приемник: 1 — генератор видеоимпульсов; 2 — генератор радиоимпульсов; 3 — усилитель мощности; 4 — датчик—излучатель сигналов АЭ; 5 — фрагмент трубы; 6 — датчик—приемник сигналов АЭ; 7 — промежуточный усилитель; 8 — осциллограф

Исследование волновых характеристик (АЧХ систем) проводили по нескольким схемам (рис. 2—6). Параметры радиоимпульса устанавливали с учетом длины волновода, скорости распростране-

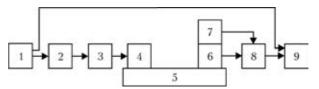
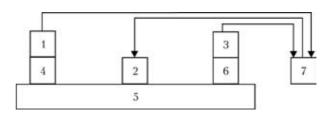


Рис. 5. Схема для определения АЧХ системы датчик—излучатель—фрагмент трубы—волновод—датчик—приемник: I — генератор видеоимпульсов; 2 — генератор радиоимпульсов; 3 — усилитель мощности; 4 — датчик—излучатель сигналов АЭ; 5 — фрагмент трубы; 6 — волновод; 7 — датчик—приемник сигналов АЭ; 8 — промежуточный усилитель; 9 — осциллограф



*Рис. 6.* Схема для определения координат источников АЭ на фрагменте трубы системы (датчик—приемник—волновод)—фрагмент трубы—(волновод—датчик—приемник): 1,3 — датчик—приемники; 2 — датчик—излучатель сигналов АЭ; 4,6 — волноводы; 5 — фрагмент трубы; 7 — система EMA-3U

ния УЗВ и рабочего частотного диапазона (12,5...800 кГц). Амплитуду зондирующего радиоимпульса выбирали такой, чтобы максимальный выходной сигнал, снимаемый с промежуточного усилителя, не превышал половины уровня насыщения. Время прохождения радиоимпульса t определяли по временной развертке осциллографа, синхронизируемого генератором видеоимпульсов. Оно составило 110 мкс при длине волновода 540 мм. Скорость распространения сигнала АЭ 4,9 мм/мкс. Длительность зондирующих импульсов и их частоту следования устанавливали с учетом резонансных свойств волновода и степени затухания УЗВ.

Следовательно, чтобы переотраженные в волноводе радиоимпульсы не накладывались, длительность зондирующих радиоимпульсов должна быть менее 300 мкс и составила в нашем случае 250 мкс. Частота следования зондирующих импульсов составила 100 Гц.

На каждой частоте заполнения проводили 10 измерений со снятием и установкой датчика—приемника сигналов АЭ. Далее проводили арифметическое усреднение значений выходного сигнала и строили АЧХ.

При проведении исследований по схеме, представленной на рис. 2, датчик—излучатель и датчик—приемник приклеивали один к другому протекторами;

по схеме на рис. 3 датчики устанавливали на торцах волновода;

по схеме на рис. 4 датчик-излучатель и датчик-приемник устанавливали на верхней осевой



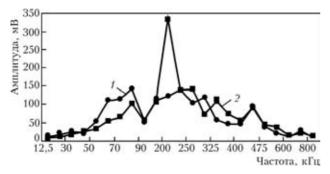
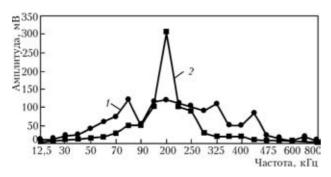


Рис. 7. АЧХ для систем датчик—датчик (1) и датчик—волновод—датчик (2)



 $\mathit{Puc.}\ 8.\ \mathrm{AYX}$  для систем датчик—фрагмент трубы—датчик (  $\mathit{I}$  ) и датчик—фрагмент трубы—волновод—датчик (  $\mathit{2}$  )

линии фрагмента трубы на расстоянии 375 мм один от другого;

по схеме на рис. 5 датчик—излучатель располагали на фрагменте трубы по осевой линии на расстоянии 375 мм от волновода.

АЧХ для систем датчик—датчик и датчик—волновод—датчик представлены на рис. 7.

АЧХ для систем датчик—фрагмент трубы датчик и датчик—фрагмент трубы—волновод датчик представлены на рис. 8.

После исследования АЧХ различных систем проведено исследование влияния применения волноводов установленных размеров на погрешность определения координат источников АЭ на образце по схеме, представленной на рис. 6, с применением системы технической диагностики EMA-3U.

Для определения координат источников АЭ сигналов использовали линейную антенну из двух датчиков (*I* и *3*, рис. 6). Волноводы *4* и *6* приваривали к фрагменту трубы на расстоянии 1500 мм один от другого. Датчики–приемники *I* и *3* устанавливали соответственно на волноводах *4* и *6*. Система ЕМА-3U принимала информацию с датчиков–приемников *I* и *3* и генерировала видеоимпульсы амплитудой 4 В, длительностью 2 мкс и частотой 1 Гц, поступающие на датчик–излуча-

Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, Киев

Результаты локации имитаций источников АЭ и оценка погрешности их определения

Номер точки имитации сигналов АЭ	Координаты источника АЭ, мм	Полученные координаты, мм	Относительная погрешность, %
1	75	91	1,1
2	375	400	1,7
3	750	748	0,1
4	1125	1121	0,3
5	1425	1426	0,1

тель 2. Датчик–излучатель 2 устанавливали на фрагменте трубы последовательно на расстоянии 75, 375, 750, 1125 и 1425 мм от волновода 4 по направлению к волноводу 6 (таблица). Относительная погрешность определения координат источников АЭ не превысила допустимую в соответствии с нормативными документами [4].

Проверка результатов проведенных исследований на реальных высокотемпературных изделиях подтвердила полученные экспериментальные данные.

#### Выводы

Применение волноводов обеспечивает вынос датчиков АЭ из зоны высокой температуры в зону температуры, гарантированно обеспечивающей нормальную работоспособность датчиков.

Проведенные исследования показали, что при правильном выборе геометрических размеров, формы и характеристик волноводов чувствительность датчиков АЭ в рабочем диапазоне частот практически не уменьшается; применение волноводов не оказывает существенного влияния на форму и амплитуду принимаемого сигнала.

Применение волноводов практически не ухудшает локацию источников сигналов АЭ. Относительная погрешность определения координат источников сигналов АЭ при применении волноводов на опытном образце не превышала допустимую в соответствии с нормативными документами.

- 1. *Грешников В. А., Дробот Ю. Б.* Акустическая эмиссия. М.: Изд-во стандартов, 1976. 272 с.
- 2. *Приборы* для неразрушающего контроля материалов и изделий. Справ. / Под ред. В. В. Клюева. М.: Машиностроение, 1976. 326 с.
- 3. *Недосека А. Я.* Основы расчета и диагностики сварных конструкций. Киев: Индпром, 2001. 815 с.
- ДСТУ 4227-2003. Настанови щодо проведення акустикоемісійного діагностування об'єктів підвищеної небезпеки. — Київ: Держ. комітет України з питань техн. регулювання та спожив. політики. — 2003. — 47 с.

Поступила в редакцию 04.10.2006



УДК 621.19.16



## О КОЛЛЕКТИВНОМ ПРОЕКТЕ СТРАН ЕВРОПЫ ПО МОНИТОРИНГУ СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТОВ ПОСРЕДСТВОМ ДАЛЬНОДЕЙСТВУЮЩЕГО УЛЬТРАЗВУКА (LRUCM)

#### В. А. ТРОИЦКИЙ, А. И. БОНДАРЕНКО, Н. В. ТРОИЦКАЯ, А. Л. ШЕКЕРО

Рассмотрены основные принципы метода дальнодействующего ультразвука (LRUCM) для диагностики технического состояния протяженных инженерных конструкций и сооружений. Описаны цели и структура проекта LRUCM, который выполняется по плану 6-й Рамочной Программы Европейского Союза. Приведены результаты опроса потребностей стран Европы в технологии LRUCM, включая Украину.

The paper deals with the main principles of the long-range ultrasonic control method (LRUCM) for diagnostics of the technical condition of extended engineering structures and constructions. The goals and structure of LRUCM project fulfilled under the EU 6th Framework Program are described. Results of surveying the requirements of the European countries for LRUCM technology, including Ukraine are given.

В странах Европы эксплуатируется множество протяженных инженерных конструкций и сооружений, основными из которых являются нефтеи газопроводы, железнодорожные рельсы, морские основания, вантовые мосты, плоские речные сваи и волнобойные стенки. Результатом длительной эксплуатации этих конструкций в естественных условиях является образование в них повреждений различного происхождения и формы (трещины, коррозия и т. д.). Для решения задач диагностики технического состояния таких объектов странами Европы инициировано выполнение проекта «Мониторинг состояния объектов посредством дальнодействующего ультразвука (LRUCM)» (в оригинале — Long Range Ultrasonic Condition Monitoring), который выполняется по плану 6-й Рамочной Программы Европейского Союза. Для выполнения проекта создан Консорциум, в состав которого входят следующие организации:

федерации, общества и ассоциации по неразрушающему контролю (Общества по НК): EFNDT (Бельгия), DGZfP (Германия), AEND (Испания), APMI (Португалия), AIPnD (Италия), BSpZ (Болгария), USNDT (Украина);

малые и средние предприятия по НК (МСП): CPS (Англия), I&T (Италия), Sonatest (Англия), Isotest (Италия), RARI (Португалия), ACIL (Португалия), Atlantis NDE (Испания), NDT Con (Англия), ATG (Чехия);

научно-исследовательские организации (НИИ): TWI (Англия), ISQ (Португалия), КСС (Англия), Zenon (Греция), KTU (Литва), Nexus (Болгария).

Организация, ответственная за выполнение работ по проекту — TWI Ltd (Англия). Целью проекта является развитие новых технологий диагнос-

тики и контроля протяженных инженерных сооружений и прежде всего разработка новых технологических инструментов — датчиков и систем дальнодействующего ультразвукового контроля (УЗК), предназначенных для обнаружения дефектов и коррозионных поражений.

Используемые на протяжении последних пятидесяти лет методы контроля протяженных инженерных сооружений имеют основной недостаток: с определенного места может быть проконтролирована только небольшая по площади зона с максимальными размерами, измеряемыми десятками миллиметров. Это значит, что для контроля больших конструкций, таких как трубопроводы и трубные конструкции, мостовые канаты, рукавные части оснований морских платформ и др., необходимы большие временные и финансовые затраты. Кроме того, эти методы контроля требуют доступа непосредственно ко всем участкам конструкции в целом. Затраты на обеспечение доступа к поверхностям конструкции могут превышать затраты по диагностике конструкции в 5...10 раз, что приводит к значительным общим затра-

Основные принципы метода дальнодействующего УЗК (LRUT) основан на использовании направленных волн, способных распространяться на большие расстояния от места закрепления датчиков, что позволяет по эхо-сигналам обнаруживать, к примеру, коррозионные поражения. Термин «направленная волна» в неразрушающем контроле (НК) означает «волну с высокочастотной модой, распространяющуюся вдоль пластин и труб». Эти волны характеризуются небольшим затуханием, так

© В. А. Троицкий, А. И. Бондаренко, Н. В. Троицкая, А. Л. Шекеро, 2007



как энергия при распространении концентрируется между нижней и верхней поверхностями трубы. При НК трубопроводов направленными волнами используется именно их способность распространяться на большие расстояния, что позволяет контролировать участки трубопроводов от нескольких метров до нескольких десятков метров. Поэтому по сравнению с традиционными методами контроля производительность контроля направленными волнами намного выше, а стоимость ниже.

Принципы метода LRUT для контроля трубопроводов отличаются от принципов традиционных методов НК. На рис. 1, а приведена схема контроля трубопроводов традиционными методами (ультразвуковым, вихретоковым, цифровой радиографией и т. д.), которые позволяют контролировать только небольшие по площади участки (несколько квадратных сантиметров), находящиеся непосредственно под преобразователем. Предлагаемая схема контроля методом LRUT, принцип действия которого основан на использовании направленных волн, показана на рис. 1, б. Посредством этого метода можно контролировать десятки метров инженерных протяженных конструкций с одного подготовленного участка на их поверхности, даже если эти конструкции находятся под землей и имеют изоляционные покрытия. В LRUT направленная волна возбуждается пьезо- или электромагнитными преобразователями, расположенными в кольце, которое закрепляется на трубе по периметру.

Направленная волна по типу может быть продольной или крутильной. Пакетные сигналы имеют частоту от 20 до 100 кГц. Несполошности в трубе отражают ультразвук обратно на кольцо преобразователей. Время прохождения волны от кольца к дефекту и обратно к кольцу дает возможность определить местоположение дефекта в трубе с достаточной точностью (приблизительно  $\pm 100$  мм). Сварные соединения трубопроводов являются симметричными отражателями, поэтому

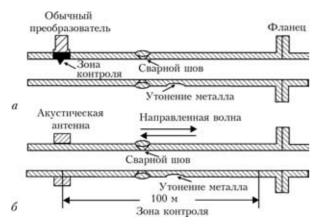


Рис. 1. Схема контроля трубопровода традиционными методами (а) и методом дальнодействующего УЗК направленными волнами  $(\delta)$ 

они симметрично отражают волны обратно к кольцу преобразователей. Такие отражатели, как коррозионные поражения, являются асимметричными отражателями и поэтому вызывают конвертацию волновой моды, что позволяет отличать их от сварных соединений. Достоверно определяются дефекты, площадь поперечного сечения которых составляет более 10 % толщины стенки трубы.

**Цели и структура проекта LRUCM**. В процессе выполнения работ по проекту будут

#### 1) разработаны:

новые многоканальные дефектоскопы, в которых каждый канал будет иметь свой адрес, что позволит возбуждать преобразователи как фазированную решетку;

сенсорные решетки для возбуждения различных типов волновых мод, что позволит увеличить протяженность контроля до 200 м и более;

алгоритмы обработки сигналов и программное обеспечение для УЗК протяженных сооружений;

#### 2) исследованы:

влияние на чувствительность и протяженность контроля различных факторов, таких как покрытия, виды почвы, типы и характеристики продукта, геометрия трубы, а также характер несплошности;

возможность уменьшения усилия прижима пьезопреобразователей к трубе, а также возможность использования электромагнитных сенсоров;

возможность дополнительного применения метода LRUT, например, для контроля плоских свай, которыми укреплены тысячи километров побережья Европы и берегов рек.

Проект LRUCM содержит 10 рабочих пакетов (WP). Структурная схема проекта приведена на рис. 2.

На схеме не показаны рабочие пакеты — WPA и WPJ. Задачей рабочего пакета WPA является изучение потребностей рынка в технологии LRUT в странах Европы. С этой целью было проведено изучение потребности промышленности Европы в методе LRUT в странах, участвующих в Консорциуме. В выполнении пакета WPA принимают участие все участники консорциума. Пакет WPJ обеспечивает управление проектом и выполняется лидером проекта — организацией TWI Ltd (Англия).

Опрос потенциальных потребителей технологии LRUT. Для изучения потребностей рынка в технологии LRUT были разработаны опросные формы по шести потенциальным областям применения данного метода:

технологические трубопроводы для углеводородов, химикатов, воды и других технологических

магистральные трубопроводы для транспортировки газов, углеводородных жидкостей, воды и других продуктов;



рельсы для железных дорог;

трубы для всех типов теплообменников — из черных и цветных металлов;

кабели из многожильной проволоки для поддержки пролетов мостов и других применений;

гофрированные секции для укрепления берегов рек и морей, а также глубоких траншей.

Общества по НК направляли опросники на предприятия и в организации потенциальным пользователям новой технологии. Всего было получено 49 ответов

От Украины в опросе, проведенном Украинским обществом НКТД, приняли участие научно-исследовательские и учебные организации, предприятия различных форм собственности, работающие в области НК и ТД промышленных объектов (всего 19 организаций). Среди организаций, давших наиболее полные ответы на вопросы опросника, следует отметить следующие:

ЗАО «Морское бюро Регистра», Олесса:

ЗАО «Северодонецкое объединение «Азот», Луганская область;

МП «ДИСИТ» НАН Украины, Киев; Энергоналадка Киевэнерго, Киев;

ООО «Энергосервис», Харьков;

АЦНК при Институте электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, Киев;

ОКТБ ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины, Киев:

ГП «Центр сертификации и контроля качества строительства объектов нефтегазового комплекса Украины», Днепропетровск.

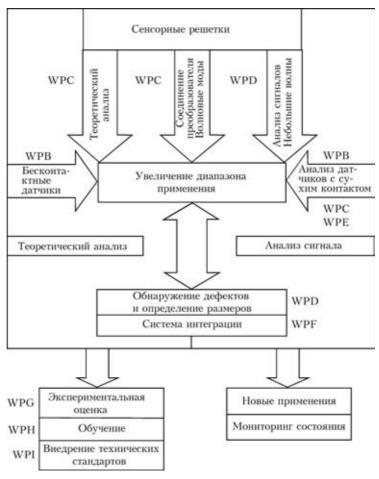
Исходя из собранной информации, вытекает много новых вопросов, что свидетельствует о не-

обходимости дальнейшего общения с потенциальными потребителями технологии LRUT. В частности, из опросников получено недостаточное количество информации по экономическим вопросам в связи с ограничением для многих компаний давать эту информацию. Сбор информации продолжается.

Далее в обзоре рассматриваются результаты опроса по различным направ-

Активность компаний (рис. 3). Респондентов просили отметить принадлежность к соответствующему типу организации.

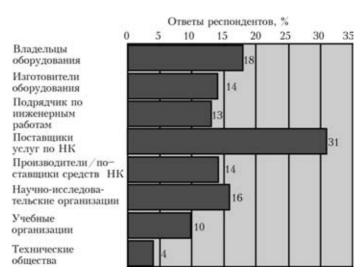
Свыше 30 % предприятий, принявших участие в опросе, — поставщики услуг по НК. Кроме того, отмечено, что Рис. 3. Активность компаний



Puc. 2. Структурная схема проекта LRUCM

все поставщики услуг по НК, участвовавшие в опросе, — МСП. Они выполняют контроль для владельцев или поставщиков оборудования (или отдельных его частей). Также они выполняют работы по НК для подрядчиков по инженерным и строительным работам, обслуживают технологические заводы.

Производителями и поставщиками средств для НК также являются МСП. Их рынок распростра-





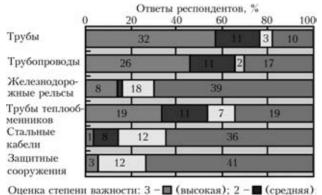


Рис. 4. Продукция, относящаяся к деятельности компаний

1-□ (низкая); 0 -□ (не имеет отношения)

няется не только на организации, предоставляющие услуги по контролю, но и на некоторых владельцев заводов, эксплуатационщиков, которые имеют свои отделы контроля.

Многие производители и поставщики средств для контроля, кроме того, являются учебными организациями, в тех случаях, когда обучение обеспечивает цельность их услуг заказчику. Научно-исследовательская работа является основным видом деятельности для тех производителей средств НК, которые ищут новые виды применения для своих приборов и материалов.

**Продукция, относящаяся к деятельности компаний** (рис. 4). Опрашиваемых попросили оценить промышленную продукцию в зависимости от степени важности для их деятельности по шкале от 3 (высокой) до 1 (низкой) или как не относящуюся к их деятельности (0).

Деятельность опрошенных компаний в основном направлена на контроль труб при их изготовлении (32 %), трубопроводов (26 %) и заводского оборудования, такого, как теплообменники (19 %). Интерес к контролю железнодорожных рельсов имеют специалисты, работающие в этой области, а также некоторые сервисные компании,

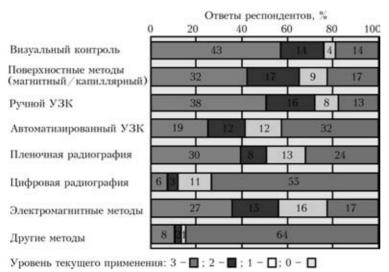


Рис. 5. Методы эксплуатационного контроля

увидевшие потребность в их контроле, не удовлетворенную существующими технологиями. Один опрашиваемый интересуется контролем стальных кабелей (владелец вантового моста). Диагностика защитных сооружений — еще один пример в пользу применения метода LRUT в гражданском строительстве, где в настоящее время невелика потребность в услугах по контролю из-за отсутствия приемлемой технологии.

Методы эксплуатационного контроля (рис. 5). Опрашиваемых попросили отметить уровень текущего применения от 3 (высокий) до 1 (низкий). Результаты по различным типам продукции (трубам, трубопроводам, рельсам, трубам теплообменников, кабелям и защитным сооружениям) были объединены.

Основными методами НК, отмеченными в анкетах, являются магнитный, капиллярный, вихретоковый, ультразвуковой и радиографический. Эти пять методов охвачены национальными и международными схемами подготовки и сертификации специалистов по НК. Визуальный контроль является неотъемлемой частью всех остальных методов контроля, но часто используется самостоятельно в тех случаях, когда все дефекты выходят на поверхность и достаточно велики, что позволяет видеть их невооруженным глазом. Выходящие на поверхность несплошности — это обычно намного более серьезные дефекты, чем подповерхностные, хотя и подповерхностные дефекты могут дорасти до поверхности и вызвать затем быстрое разрушение. Магнитный и капиллярный методы контроля используются для обнаружения выходящих на поверхность дефектов с малым раскрытием, и, следовательно, являются достаточно распространенными методами контроля. Вихретоковый метод контроля имеет большую чувствительность к дефектам, выходящим на поверхность, а вихретоковые датчики открывают доступ к таким скрытым поверхностям, как внут-

ренняя поверхность труб. Ультразвуковой и радиографический контроль используются для выявления внутренних дефектов. С недавнего времени они автоматизированы. При автоматизированном УЗК используются механические сканеры и компьютерные программы для сбора и анализа данных. При автоматизированном радиографическом контроле для сбора данных о дефектах вместо рентгеновской пленки используются детекторные решетки и цифровые методы для улучшения изображений.

Из результатов опроса видно, что автоматизированные методы распространяются пока медленно. Только 19% ответивших проявляют большой интерес к автоматизированному УЗК, несмотря





на недавно введенные национальные стандарты и нормы для автоматизированного УЗК трубопроводов и сосудов давления. Цифровая радиография — новая технология и прежде чем метод может быть реализован необходимо аттестовать нормы и методики проведения такого контроля.

При эксплуатационном контроле качества труб используется широкий диапазон методов, причем чаще всего применяется ручной УЗК, за которым следуют методы поверхностного контроля и радиография. Реже остальных используются вихретоковые методы. Ультразвуковые методы применяются в основном для измерения толщины конкрет- Рис. 6. Степень уверенности в результатах методов контроля ных участков трубопроводов, таких как гибы и отводы. При этом применяются простые в использовании цифровые толщиномеры, не тре-

Ручной УЗК также является широко используемым методом контроля трубопроводов. Важную роль для контроля трубопроводов играют электромагнитные методы. Они используются во внутритрубных снарядах, которые пропускаются через трубу вместе с потоком продукта, переносящим датчики, и выявляют коррозию, трещины, вмятины и другие повреждения. В тех местах, где обнаружены следы дефектов, для определения их размеров применяется ручной УЗК и радиография.

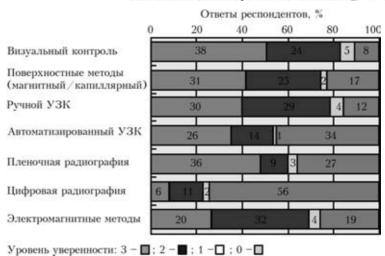
бующие специальной подготовки поверхности.

Для выявления трещин в рельсах используется в основном автоматизированный УЗК, дающий возможность контролировать путь со скоростью до 35 км/ч. По-прежнему есть необходимость в проведении ручного УЗК дефектных участков для подтверждения показаний автоматизированного

контроля. Один из респондентов заинтересован в контроле железнодорожного пути для выявления радиальных трешин, образовавшихся вокруг отверстий под болты для крепления накладок.

Трубки теплообменников контролируются в основном вихретоковым методом. Это достаточно быстрый контроль, хотя его скорость снижается в связи с необходимостью очистки труб. Несмотря на высокую надежность, существуют проблемы с контролем в местах отверстий и бандажей.

Один респондент — владелец моста — использует только визуальный метод, хотя он и знает о существовании электромагнитного метода для контроля кабелей. Некоторые компании по НК проявили интерес к раз-



витию новой технологии для контроля кабелей канатных подъемников.

Отбойные стенки для защиты причалов в гаванях должны контролироваться под водой. Поэтому контроль таких объектов ограничивается применением визуального метода и измерением толщины с помощью УЗК.

Уверенность в методах контроля (рис. 6). Ответивших попросили оценить используемые ими в настоящее время перечисленные выше методы по уровню уверенности в результатах от 3 (высокий) до 1 (низкий).

Высокую степень уверенности в применяемых методах контроля имеют около 1/3 опрашиваемых, что больше имеющих только среднюю степень уверенности. Количество респондентов с низкой степенью уверенности незначительное. Относительно метода цифровой радиографии и вихретокового метода контроля большее количес-

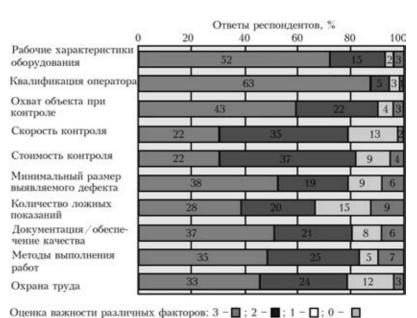


Рис. 7. Вопросы контроля



тво респондентов имеют среднюю степень уверенности.

**Вопросы контроля** (рис. 7). Опрашиваемых попросили оценить важность различных факторов для контроля той продукции, которую они диагностируют.

Результаты показали, что 65 % респондентов ответили, что при выполнении контроля такой фактор как «квалификация оператора» является очень важным и только 3 % посчитали его наименее важным. Представляется, что обучение и квалификация операторов по НК является ограничивающим фактором для быстрого внедрения метода LRUT.

Как важный оценили фактор «характеристики оборудования» 52 % участвующих в опросе организаций. Однако 43 % опрашиваемых считают особенно важным «охват объекта при контроле», несмотря на внедрение методологии, основанной на выявлении областей с высокой вероятностью наличия в них несплошностей и их последующим детальным контролем. Неожиданно большой процент опрошенных считают, что «стоимость контроля» имеет среднюю важность (37 %). Очевидна сильная зависимость между «стоимостью контроля» и «скоростью контроля». Высокая важность фактора «минимальный размер выявляемого дефекта» подчеркнута 38 % ответивших, хотя этот умеренный процент объясняется пониманием специалистами того, что по мере повышения чувствительности контроля увеличивается и количество ложных показаний. Для 28 % предприятий, участвовавших в опросе, «количество ложных показаний» очень важно. Вопросы обеспечения ка-

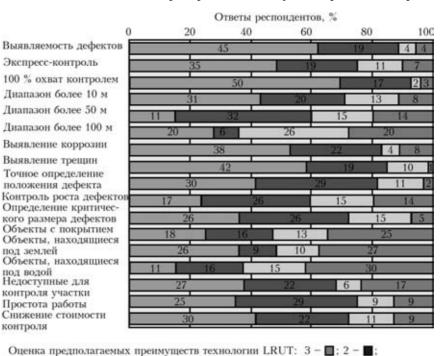
чества и создания надежной системы документирования, оптимальных методов работы, охраны здоровья и труда операторов-дефектоскопистов признаются приблизительно одной третью компаний, принявших участие в опросе.

Предполагаемые преимущества метода LRUT (рис. 8). Опрашиваемых попросили отметить предполагаемые преимущества технологии LRUT. Наиболее важным предполагаемым преимуществом LRUT 50 % респондентов считают тафактор контроля, «100%-й охват объекта при контроле» (рис. 8), в то время, как для 26 % опрашиваемых наименее важным преимуществом LRUT является «диапазон контроля свыше 100 м». Кроме товажным

LRUT 45 % опрашиваемых отмечен фактор «выявляемость дефектов» при контроле. Фактор «выявление трещин» считают важным большее количество опрашиваемых (42 %), чем тех, которые отметили фактор «выявление коррозии» (38 %), хотя последний фактор в действительности является самым важным преимуществом LRUT труб. Факторы «точное определение местоположения дефектов» и «определение критических размеров дефектов» находятся приблизительно на одном уровне по количеству ответов: 30 % респондентов отметили высокую важность «точного определения положения дефектов» и лишь немного меньшее количество 26 % — «определение критического размера дефектов». Фактор «контроль роста дефектов» большинство ответивших (26 %) посчитали преимуществом средней важности.

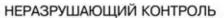
Одной из исходных целей новой технологии — технологии LRUT — является выявление дефектов на недоступных контролю участках труб (в изоляции, в воздушных, подземных и подводных переходах). Поэтому для многих респондентов (26 %) очень важен контроль объектов, находящихся под землей, так же как он важен и тем (27 %), кому требуется диагностировать недоступные для контроля участки объектов, которые могут находиться над землей.

В противоположность высокому уровню важности, присвоенному фактору «квалификация оператора» в разделе «Вопросы контроля», фактор «простота работы» оборудования для LRUT, который играет важную роль в работе оператора, считают очень важным только 25 % ответивших. Некоторые респонденты устно прокомментирова-



преимуществом *Рис.* 8. Предполагаемые преимущества LRUT

1 - | ; 0 - |





ли, что «простота работы» является важным фактором для уменьшения ошибок оператора.

«Снижение стоимости контроля» как важное преимущество метода LRUT рассматривают только 30~% ответивших.

У некоторых компаний, занимающихся НК, уже есть опыт использования LRUT для испытания труб на наличие коррозии. Среди недостатков подчеркнуты следующие:

сложность убеждения заказчиков в преимуществах такой технологии контроля труб. Они считают, что единственная ценность контроля заключается в возможности определения размеров дефектов. Одно лишь выявление дефектов является недостаточным;

сложность контроля закопанной в землю трубы из-за высокого затухания ультразвука;

отсутствие нормативной документации на использование этого метода.

Экономические аспекты. Респондентов попросили ответить на вопрос об обычной частоте контроля и вероятной стоимости его выполнения с точки зрения предоставляющих услуги по контролю компаний и экономическом аспекте с точки зрения владельцев/эксплуатационщиков.

Очень мало ответивших заполнили эту часть вопросника. Те, кто это сделал, высказали следующие замечания:

частота контроля сильно различается: от нескольких дней (при контроле для мониторинга конкретных трещин) до периодов, равных 12 годам (между капитальными ремонтами или остановками);

стоимость LRUT должна быть на уровне стоимости автоматизированного УЗК, чтобы покрыть высокие капитальные вложения и стоимость подготовки операторов. Типичные цифры — 1500...2000 евро в день;

экономический эффект зависит от объема применения.

#### Выводы и рекомендации

На заседании, посвященном итогам первого года выполнения работ по проекту, состоявшемся 1–2 октября 2006 г. в Берлине, были сделаны следующие выводы и рекомендации.

Продолжается сбор информации о потребностях в новой технологии дальнодействующего низкочастотного УЗК (LRUT).

Для продолжения сбора информации о потребностях в новой технологии, ее ограничениях, для

определения рынка для данной технологии организациям Украины и России, которые занимаются диагностикой промышленных объектов и конструкций, предложено выходить на созданный вебсайт проекта: www.lrucm.eu.com. Там размещена информация о проекте LRUCM, а в разделе «Questionnaire» помещен опросник по маркетингу технологии LRUT.

В рамках проекта LRUCM основное внимание уделено контролю трубопроводов. Именно для контроля трубопроводов и была применена в начале 1990-х годов идея метода LRUT. Планируется расширить эту технологию на трубы с гибами, увеличить дальность обнаружения дефектов при испытаниях подземных трубопроводов, направить усилия на выявление трещин и коррозии.

В Европе насчитывается более 300 вантовых мостов, многие из них разрушаются вследствие старения. Поэтому необходимо обследовать сложные крепления канатов и кронштейны для определения остаточного ресурса. Проектом LRUCM предусмотрена разработка средств для сбора основных данных о состоянии канатов мостов с тем, чтобы дать заключение о возможности их дальнейшей безопасной эксплуатации.

В Европе эксплуатируются тысячи километров речных и морских свайных укреплений, служащих для защиты береговой линии. Основную опасность представляет коррозия, поэтому необходим экономичный метод для определения степени коррозионного ослабления. Проект LRUCM нацелен на создание средств быстрого контроля состояния свай и морских платформ для определения тех, которые нуждаются в замене.

Хотя с помощью вихретокового метода хорошо контролируются неферромагнитные трубы, достаточно сложно применить этот метод для контроля ферромагнитных стальных труб, используемых в большинстве теплообменников. Дальнодействующий низкочастотный ультразвук может стать альтернативным методом для контроля таких труб. В ходе выполнения проекта LRUCM будет разработано оборудование, позволяющее выполнять этот контроль более эффективно, без предварительной очистки внутренних каналов труб.

Проектом предусмотрена разработка программы для обучения персонала данному методу контроля, а также необходимых экзаменационных материалов и образцов, отвечающих требованиям EN 473. Эта программа будет внедрена через существующие схемы национальных обществ по HK.

Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, Киев Поступила в редакцию 14.11.2006 УДК 620.179.16

### ОБНАРУЖЕНИЕ УДАРНЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ СОТОВЫХ ПАНЕЛЕЙ МЕТОДОМ НИЗКОСКОРОСТНОГО УДАРА

#### В. С. ЕРЕМЕНКО, В. М. МОКИЙЧУК, А. М. ОВСЯНКИН

Рассмотрена возможность обнаружения локальных ударных повреждений композиционных материалов методом низкоскоростного удара. Даны краткие технические характеристики системы диагностики, с помощью которой проводили исследования. Приведены результаты экспериментальных исследований для зон с нанесенным повреждающим ударом в диапазоне от 2 до 5,1кДж. На основе экспериментальных данных показаны преимущества метода низкоскоростного удара по сравнению с импедансным.

Observed possibility of discovery of local shock damages of composition materials is considered by the method of low-velocity impact impact. Short technical descriptions of the system of diagnostics are given which researches were conducted on. The results of experimental researches are resulted for areas with inflicted damaging impact in a range from 2 to 5,1kDg. On the basis of experimental data the advantages of method of low-speed impact on comparison with impedance method are shown.

Метод низкоскоростного удара для контроля композиционных материалов был предложен в работах [1, 2]. Он основан на измерении параметров ударного взаимодействия бойка измерительного датчика и контролируемой зоны объекта. Измерительный датчик представляет собой ударный механизм в виде электромагнита, разгоняющего до заданной скорости шток, на котором установлены датчик динамической силы и бойок, контактирующий с поверхностью изделия.

При воздействии на объект бойка, имеющего кинетическую энергию  $A = mv^2/2$ , где m — масса штока; v — скорость бойка в момент, предшествующий удару, возникает импульс силы ударного взаимодействия, который характеризуется амплитудой, длительностью, формой. Так как большинство композиционных материалов имеют относительно малые модули упругости по сравнению с материалом бойка ударного механизма, то длительность соударения намного превосходит период собственных колебаний бойка, и эти колебания практически не влияют на форму импульсов соударения. Поэтому подвижную систему будем рассматривать как сосредоточенную массу.

Максимальное значение силы ударного взаимодействия в упругой области, согласно работам [3, 4], можно записать как  $F_m = \sqrt{2A/K}$ , где K — податливость зоны контакта.

Поэтому при постоянной кинетической энергии удара A сила ударного взаимодействия будет обратно пропорциональна податливости зоны соударения.

Согласно теории Герца при контакте двух упругих тел (в нашем случае контролируемого образца и бойка ударного механизма, который деформирует этот образец пластически), податли-

вость K зоны контакта будет представлять собой сумму значений  $K_1$  и  $K_2$  податливости обеих контактирующих поверхностей [5]:

$$K = K_1 + K_2 = \frac{\left(\frac{1 - \mu_1^2}{E_1} + \frac{1 - \mu_2^2}{E_2}\right)^{2/3}}{1,82 \sqrt[3]{F_m r}} \approx \frac{\left(\frac{1 - \mu_2^2}{E_2}\right)^{2/3}}{1,82 \sqrt[3]{F_m r}},$$

где r — радиус кривизны бойка;  $\mu_1$ ,  $\mu_2$  и  $E_1$ ,  $E_2$  — коэффициенты Пуассона и модули Юнга соответственно материала бойка и контролируемого изделия.

При условии постоянства площади контакта упругая податливость ведет себя как линейная пружина. Поэтому наличие дефекта в контролируемом изделии аналогично вводу пружины с податливостью K' между бойком и изделием, следовательно, податливость дефектной зоны увеличивается с увеличением величины дефекта:  $K_{\rm g} = K + K'$ .

В общем случае рассчитать податливость дефектного участка не представляется возможным, так как не определены форма дефекта, граничные условия и координаты ударного воздействия. Поэтому будем рассматривать дефект в виде зажатой по контуру круглой пластины, имеющей условный диаметр d и толщину h, которая соответствует толщине отделенного дефектом (например, непроклеем) слоя [6]. В этом случае податливость в центре пластины, которой моделируется дефект, определяется как

$$K_{\rm m} = \frac{3d^2(1 - \mu_2^2)}{16\pi E_2 h^3}.$$

Следовательно, податливость дефектной области возрастает с увеличением геометрических



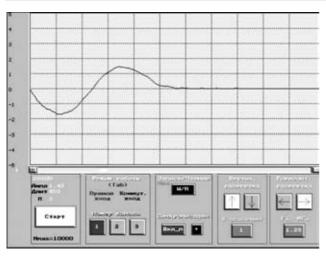


Рис. 1. Интерфейс пользователя системы

размеров дефектов и уменьшается с увеличением глубины их залегания.

Таким образом, наличие дефектов в зоне соударения обусловливает увеличение податливости данной зоны, что будет приводить к уменьшению амплитуды регистрируемого импульса силы ударного взаимодействия. В то же время, в силу закона сохранения площадь ударного импульса при постоянной энергии удара должна оставаться неизменной, следовательно, происходит увеличение времени контактного взаимодействия.

На основании изложенных выше кратких сведений по теории удара можно сделать вывод, что основными диагностическими признаками метода низкоскоростного удара являются амплитуда и длительность импульса силы ударного взаимодействия. Необходимо также отметить, что в зависимости от физико-механических характеристик зоны контакта изменяется и форма импульса силы, поэтому параметры, зависящие от формы, также могут быть использованы в качестве информативных характеристик контроля [7, 8].

Для проведения исследований по возможности использования метода низкоскоростного удара для контроля композиционных материалов, применяемых в авиастроительной отрасли, была разработана система диагностики, представляющая собой программно-аппаратный комплекс на базе персонального компьютера. В состав системы входит порт аналого-цифрового ввода-вывода типа ЕТ-1250, собранный на основе 12-тиразрядного аналого-цифрового преобразователя с частотой дискретизации до 10 МГц, осуществляющий первичную обработку информационных сигналов, измерительного датчика, который представляет собой электромагнитный ударный механизм, обеспечивающий нанесение ударного воздействия на контролируемую зону с энергией 5...50 мДж, в наконечнике которого установлен пьезоэлектрический преобразователь динамической силы и электронный блок возбуждения измерительного датчика.

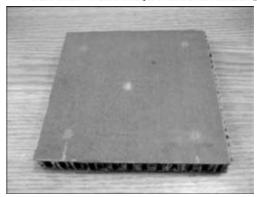


Рис. 2. Образец композитной панели

Программное обеспечение системы представляет собой независимый интерфейс, обеспечивающий контроль и управление процессом сбора, обработки, хранения и интерпретации информации, полученной от объекта контроля. Автономная работа интерфейса осуществляется в среде MS DOS и не требует установки дополнительных программ или библиотек. Программное обеспечение позволяет проводить обработку информационных сигналов и осуществлять принятие диагностического решения в реальном времени. Интерфейс пользователя системы представлен на рис. 1.

Экспериментальные исследования проводили на образцах композитных панелей с сотовым заполнителем типа ИСП-1 и обшивкой на основании стеклоткани Т42/1-76. Толщина панели составляет 12 мм, толщина обшивки — 1,5 мм (рис. 2).

Моделями дефектов служили зоны с нанесенным точечным ударом с нормированной энергией  $A_{\rm уд}$  в диапазоне от 2,0 до 5,1 кДж. Видимые размеры зон разрушения не превышали 5 мм (рис. 3).

С помощью разработанной системы были получены осциллограммы с пьезоэлектрического датчика силы ударного взаимодействия в бездефектной зоне и зонах с различными ударными повреждениями (указана энергия, с которой наносили повреждающие удары на образцы) (рис. 4).

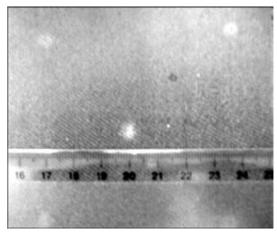
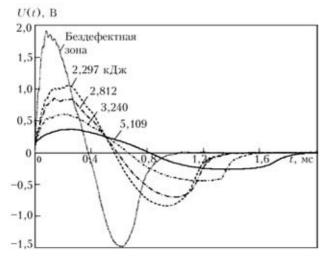


Рис. 3. Модель дефекта



#### НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ



Puc. 4. Осциллограммы импульсов силы ударного взаимодействия

Ударные импульсы измеряли в центрах зон повреждения. Полученные осциллограммы подтверждают теоретические выводы о том, что в качестве информативных параметров контроля наиболее целесообразно использовать амплитуду и длительность измеряемых импульсов. Для одновременного учета обоих параметров рассчитывали коэффициент

$$R = U_m / \tau_{_{\mathrm{ИМ\Pi}}},$$

где  $U_m$ , В — амплитуда первой полуволны регистрируемого импульса;  $\tau_{\rm имп}$ , с — длительность первой полуволны.

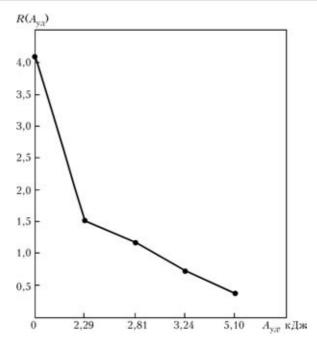
Зависимость коэффициента *R* от степени повреждения поверхности сотовой панели (энергии повреждающего удара) представлена на рис. 5.

Интерес также представляет исследование возможности определения истинных размеров зоны повреждения сотовой панели с помощью предлагаемого метода. С этой целью были получены информационные сигналы в видимом центре ударного повреждения и в точках, расположенных со смещением от центра к краю повреждения с шагом 2 мм. Осциллограммы данных сигналов для

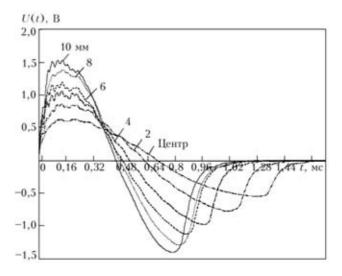
панели с нанесенным повреждающим ударом с энергией 5,1 кДж представлены на рис. 6.

Графики зависимости коэффициента *R* от координаты положения измерительного датчика при прохождении его с шагом 2 мм через дефектные зоны, образованные повреждающими ударами с энергией 2,0 и 5,1 кДж, представлены на рис. 7.

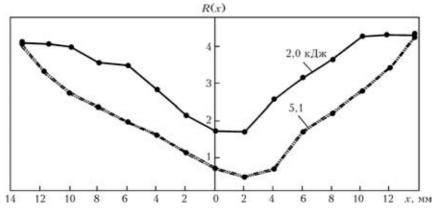
Данные графики показывают, что измеренные диаметры зон повреждений составляют 18 мм для удара с энергией 2,0 кДж и



Puc.5. Зависимость коэффициента R от энергии повреждающего удара  $A_{\rm VA}$ 



*Рис. 6.* Осциллограммы импульсов в центре ударного повреждения и в точках со смещением от центра к краю повреждения с шагом 2 мм



для удара с энергией 2,0 кДж и *Рис. 7.* Зависимости коэффициента *R* от координаты положения измерительного датчика относительно видимого центра дефекта

### 1

#### НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ

28 мм для удара с энергией 5,1 кДж (на рис. 7 это области, в которых коэффициент *R* принимает значения, меньшие 4), а также то, что истинные центры зон повреждения (минимумы на приведенных графиках) смещены относительно визуально определенных центров приблизительно на 2 мм. При визуальном определении размеров данных зон по изменению структуры поверхности сотовых панелей их значения не превышали 5 мм.

Для сравнения в работе [9] исследовалии аналогичные образцы с помощью импедансного метода с использованием стандартного датчика ПС-1. Данные исследования показывают, что зона повреждения локализовалась с точностью, не превышающей 10 мм, что не позволяет измерять ее истинные размеры. Сравнивая приведенные в указанной работе зависимости с зависимостями, представленными на рис. 7, можно сделать вывод, что метод низкоскоростного удара имеет гораздо более высокую чувствительность к ударным повреждениям в композиционных материалах, чем широко известный импедансный метод.

 Adams R. D., Cawley P. Low-velocity impact inspection of bonded structures // Proc. of the intern. conf. on structural adhesives in engineering. — Bristol, 1986. — P. 139–142.

- Cawley P., Adams R. D. The mechanics of the coin-tap method of non-destructive testing // J. of sound and vibration. —
  1988. 2 (122). P. 299–313.
- 3. *Скучик Е.* Простые и сложные колебательные системы. М.: Мир, 1971. 316 с.
- Инженерные методы исследования ударных процессов / Г. С. Батуев, Ю. В. Голубков, А. К. Ефремова, А. М. Федосов. — М.: Машиностроение, 1977. — 240 с.
- 5. *Ландау Л. Д., Лифииц Е. М.* Теория упругости. М.: Наука, 1965. 204 с.
- 6. Cawley P., Clayton D. L. R. A vibration technique for the measurement of contact stiffness // Mechanical systems and signal processing. 1987. № 1. P. 273–283.
- 7. *Еременко В. С., Мокийчук В. М.* Исследование диагностических признаков в статистической диагностике изделий методом низкоскоростного удара // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. 2004. № 5. С. 58–60.
- Еременко В. С., Мокійчук В. М. Використання векторних зображень інформативних сигналів при низькочастотній акустичній діагностиці матеріалів // Вісник Нац. ун-ту України «Київський політехнічний інститут». Серія «Приладобудування». — 2004. — Вип. 28. — С. 115–119.
- 9. Повышение информативности акустического контроля конструкций из полимерных композиционных материалов / А. М. Овсянкин, В. С. Еременко, Е. Ф. Суслов, А. В. Бохенко // Фізичні методи та засоби контролю середовища, матеріалів та виробів. Вип. 11: Електромагнітний, ультразвуковий та оптичний неруйнівний контроль / Збірн. наук. праць; ФМІ ім. Г. В. Карпенка НАНУ. Львів, 2006. С. 56–59.

Нац. авиац. ун-т, Киев

Поступила в редакцию 06.09.2006



#### Уважаемые коллеги!

НТК «Институт электросварки им. Е. О. Патона» 16–19 апреля (г. Киев) приглашает принять участие в работе широкомасштабного выставочного форума «Промышленные выставки — 2007», на которых будут представлены достижения науки и производства в области сварки и родственных технологий, неразрушающего контроля и технической диагностики, антикоррозионной защиты металлоконструкций, обеспечения надежной эксплуатации и строительства ответственных конструкций, включая трубопроводные системы транспортировки нефти, газа, пара и воды, промышленной экологии и охраны труда.

Заявки на участие в выставке высылать устроителю выставок: ООО «Центр трансфера технологий «ИЭС им. Е. О. Патона, 03150, г. Киев, ул. Горького, 66, тел./факс: (044) 200 80 91, 200 80 89; 287 12 38; sv@ntk.in.ua

Украинский информационный центр «НАУКА.ТЕХНИКА.ТЕХНОЛОГИЯ» осуществляет информационную поддержку выставки и проводит в рамках выставки семинары «Сварка и родственные технологии», «Промышленная экология».

Заявки на участие в семинаре направлять по адресу: 02094, Киев, а/я 41, УИЦ «НТТ», тел./факс: (044) 573 30 40, моб. 067-708 93 95; office@conference.kiev.ua

Ассоциация «ОКО» и НТК «ИЭС им. Е. О. Патона» при поддержке УО НКТД, НАЭК «Энергоатом» в рамках выставки приглашают Вас принять участие в 9-й конференциивыставке «Неразрушающий контроль-2007», которая состоится 16–19 апреля 2007 г. в выставочном центре «КиевЭкспоПлаза», г. Киев, ул. Салютная, 2, б.

Заявки на участие направлять в Оргкомитет. Тел.: (044) 531 37 36, http://ndt.com.ua

УДК 621.396.6

#### ПРИМЕНЕНИЕ ТЕРМОГРАФИИ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

#### В. А. СТОРОЖЕНКО, С. Б. МАЛИК

В настоящее время весьма перспективно применение современных тепловизионных технологий для диагностики радиоэлектронной аппаратуры. Приведено описание методики проведения контроля печатных плат с помощью тепловизора, а также описание разработанной программы их автоматической разбраковки.

Now application of modern infrared technologies for diagnostics of the radio-electronic equipment is rather perspective. The description of a technique of monitoring procedure of printed-circuit-boards with the help of infrared camera, and also the description of the developed program of their automatic grading is resulted.

Основы теплового метода неразрушающего контроля плат радиоэлектронного оборудования были заложены в 1970–1980 гг. В качестве измерительных устройств использовались точечные или сканирующие пирометры и тепловизоры с охлаждаемым одноэлементным приемником и механической разверткой [1–3]. Этот факт в сочетании с несовершенными программными средствами сдерживал развитие тепловизионной диагностики электронной техники.

В последние годы аппаратурная база теплового метода контроля существенно изменилась. Это связано с развитием тепловизионной техники, появлением тепловизоров с многоэлементными неохлаждаемыми приемниками FPA [4] и более совершенным программным обеспечением. Это вывело тепловизионную диагностику на новый виток развития.

В настоящее время тепловизионный контроль электронного оборудования и его компонентов проводится в следующих направлениях: анализ теплового режима электронных схем; контроль изменения параметров электрических цепей; контроль качества элементов; автоматизация процессов контроля и поиска неисправностей [5]. В частности, такие технологии применяются в Великобритании на заводах фирм IBM, Digital Equipment, Plessi Telecommunications и позволяют не только повысить качество и надежность производимой продукции, но и существенно упростить и сократить по времени операцию контроля плат электронных узлов радиоэлектронного оборудования, в частности телекоммуникационного.

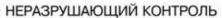
Схематически процедуру термографического контроля можно представить следующим образом: контролируемая плата с подключенным питанием устанавливается перед тепловизором, который регистрирует тепловое излучение ее элементов и визуализирует его в виде термограммы. Полученное температурное поле сравнивается с

эталонным, хранимым в памяти ЭВМ (обычно эталонные температурные сигналы получаются усреднением 20-30 термограмм заведомо годных плат). Экспериментальные данные, необходимые для построения достоверных математических моделей (эталонов), могут быть получены только для изделий массового производства (больших серий) или при наличии эталонов в норме и при наличии типовых дефектов или неисправностей.

Дешифрирование термограмм проводит оператор или автоматизированная система. Заключение о качестве изделий принимают на основе анализа величины обнаруженных температурных аномалий; особенностей их временного развития; морфологии температурных зон на поверхности изделия [6].

Так как существующего стандартного программного обеспечения тепловизора недостаточно, чтобы автоматически выделять дефектные элементы и принимать решения о годности всего изделия в целом, необходимо создание отдельного комплекса, позволяющего анализировать по одной термограмме температурные режимы всех элементов любого узла радиоэлектронного оборудования в отдельности. Для успешного решения такой задачи необходимо исследовать плату в рабочем режиме на тепловизоре, получить серию качественных термограмм; выбрать систему информационных признаков, описывающих температурный режим элементов платы; произвести обработку термограммы с помощью стандартного программного обеспечения тепловизора; сформировать базу данных по температурным режимам элементов на термограмме и справочным паспортным данным исследуемой платы; разработать алгоритм и программу для автоматической обработки результатов термографирования печатной платы.

Решению перечисленных выше задач посвящены настоящие исследования, нацеленные на соз-





дание измерительно-программного комплекса для контроля печатных плат.

В основу разработки было положено следующее [5]:

в качестве информативных параметров используются координаты точек и значения температуры в этих точках;

максимально допустимые тепловые режимы компонентов эталонной платы задаются согласно документации на изделие, номинальные рабочие температурные режимы определяются в процессе проектирования изделия по усредненному значению температур элементов сотни годных плат;

ввиду высокой плотности монтажа современных печатных плат, малых размеров элементов и недостаточно высокому пространственному разрешению некоторых тепловизоров, а также идентичности тепловых режимов некоторых элементов рядом расположенные элементы при необходимости можно рассматривать как группу элементов;

измерительная установка должна состоять из координатно-позиционного устройства, измерительного тепловизора, персонального компьютера с соответствующим программным обеспечением, к объекту контроля подводятся питание и нагрузка;

классы годности платы определяются как отклонение от номинальной рабочей температуры: до 5 — первый, до 10 — второй, более чем на 10% — третий класс [1].

Для обработки и анализа получаемых с помощью тепловизора термограмм была использована среда Matlab, которая содержит набор встроенных функций, позволяющих не только при необходимости проводить качественную фильтрацию и избавляться от шумов на термограмме, но и создавать образцы (эталоны) температурных полей как всего диагностируемого объекта (платы), так и отдельных его элементов с учетом их положения на плате (координаты) [7].

В этой среде была разработана программа ThermoPro v.1.0 обработки термограмм печатных плат с целью их разбраковки и предусматривающая одноразовый ввод в тело программы параметров эталонной печатной платы для каждого изделия, а также диапазона температур, в котором проводится снятие термограмм.

Программа согласована со стандартным программным обеспечением тепловизора, которое формирует термограммы в виде компьютерных файлов с различными разрешениями. Так, термограмма в формате .pcx представляет собой матрицу с нормированными значениями интенсивности цветов в диапазоне 0...255. Поэтому для определения соответствия значений интенсивности цветов реальной температуре предложены и введены в программу формулы:

 $t_{\text{инт}} = (t_{\text{град}} - T_{\text{min}}) \frac{256}{T_{\text{max}} - T_{\text{min}}}$  (1)

или

$$t_{\rm rpag} = \frac{(T_{\rm max} - T_{\rm min})t_{\rm инт}}{256} + T_{\rm min},\tag{2}$$

где  $t_{\rm инт}$  — величина интенсивности цвета на термограмме, соответствующая значению температуры  $t_{\rm град}$ ,  ${}^{\rm O}$ C;  $T_{\rm max}$  и  $T_{\rm min}$  — соответственно максимальная и минимальная температуры на термограмме,  ${}^{\rm O}$ C (определяются из информационной строки на термограмме).

Эталонная печатная плата, состоящая из эталонов отдельных элементов, представляет собой матрицы, отображающие значения максимальной допустимой температуры элемента и номинальной рабочей температуры.

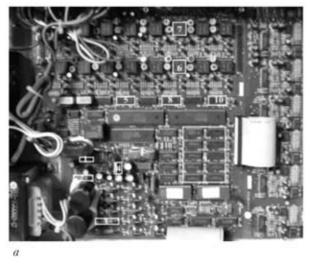
После ввода файла термограммы исследуемой платы согласно алгоритму начинается процесс ее обработки. В первую очередь выделяется элемент на плате. Затем определяется максимальное значение интенсивности в пределах координат этого элемента и сравнивается с максимально допустимым значением (эталоном) для этого элемента. Если элемент дефектный, то программа переходит к анализу следующих элементов. Если элемент имеет температуру ниже пороговой, то проводится сравнение температуры элемента с пороговыми для разных классов качества платы. Затем анализируется следующий элемент.

Таким образом, каждому элементу присваивается свой класс годности. В случае дефектности хотя бы одного элемента вся плата признается негодной. Если дефектных элементов нет, то плате присваивается класс годности «худшего» элемента [8].

Работоспособность предложенного алгоритма и программы была проверена экспериментально. Объектом исследования являлась плата мини-ATC MT-360 Series 616/824 Digital KSU (рис. 1, *a*). Для диагностики исследуемой платы был использован тепловизор IRTIS-200 и персональный компьютер типа Portege 660CDT.

Так как создание набора физических эталонов — очень сложная практическая задача, требующая наличия достаточно полной информации об элементной базе конкретного изделия, которой обладают разработчики контролируемой аппаратуры, то для проведения эксперимента на контролируемой плате были выделены десять по разному нагруженных элементов с известными пороговыми значениями рабочей температуры и по видимому изображению определены их координаты. Получена термограмма и определены максимальные значения температур выбранных элементов (рис.  $1, \delta$ ).





21.8

21.8

24.6

36.2 29.9 28.1

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21.8

21

*Рис. 1.* Плата мини-АТС: a — внешний вид;  $\delta$  — термограмма

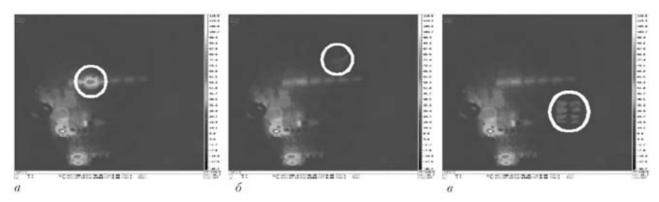


Рис. 2. Термограммы виртуальных плат: *а* — с имитированным дефектом элемента; *б* — второго класса качества (температура элемента выше эталонной); *в* — третьего класса качества (температура элемента выше эталонной)

Ввиду отсутствия идентичных как исправных, так и заведомо дефектных объектов контроля (т. е. аналогичных плат мини-ATC) для определения эталонных температур и проверки программы на возможность разбраковки проводился машинный эксперимент. В качестве эталонных номинальных значений температуры были приняты измеренные значения температуры элементов реальной печатной платы, что позволило сформировать в теле программы модель эталонной платы.

Для машинного эксперимента создан набор виртуальных плат различного качества. Термограммы (температурные поля виртуальных плат) моделируются с помощью графического редактора по определенной схеме (с заданными дефектами и отклонениями температур), часть из них приведена на рис. 2.

Полученные термограммы были введены для анализа в программу. Заключение программы соответствовало сути температурных аномалий, платы были разбракованы корректно.

#### Выводы

Применение термографии для контроля печатных плат является весьма перспективным направлением в неразрушающем контроле ввиду его эконо-

мичности в первую очередь с точки зрения временных затрат, возможности автоматизации процесса отбраковки. В ходе проведенных экспериментов было установлено, что процесс отбраковки может проходить корректно даже при минимальном наборе информационных признаков (значения температур и координаты), причем программное средство позволяет регулировать «порог брака» в зависимости от требований, предъявляемых к контролируемой аппаратуре. Разработанный программноизмерительный комплекс предусматривает возможность поточного контроля, что очень эффективно при массовом и серийном производстве.

- 1. Вавилов В. П. Тепловые методы контроля композиционных структур и изделий микроэлектроники. М.: Радио и связь, 1984. 152 с.
- 2. Данилин Н. С. Неразрушающий контроль качества продукции радиоэлектроники. М.: Изд-во стандартов, 1976. 240 с.
- Бекешко Н. А. Тепловые методы неразрушающего контроля изделий и элементов радиоэлектроники // Измерения, контроль, автоматизация. 1979. № 5. С. 13–24.
- 4. *Вавилов В. П., Климов А. Г.* Тепловизоры и их применение. М.: Интел универсал, 2002. 88 с.
- 5. Малик С. Б. Термографический контроль радиоэлектронного оборудования // 10-й Ювілейн. міжнар. форум «Радіоелектроніка і молодь у XXI ст.» // 36. матеріалів форуму. Харків: ХНУРЕ, 2006. С. 197.





- Неразрушающий контроль: Справочник: В 7 т. // Под общ. ред. В. В. Клюева. Т.5: В 2 кн. Кн. 1: Тепловой контроль / В. П. Вавилов. Кн. 2: Электрический контроль / К. В. Подмастерьев, Ф. Р. Соснин, С. Ф. Корндорф и др. М.: Машиностроение, 2004. 679 с.
- Xavier P. V. Maldague Theory and Practice of Infrared Technology for Nondestructive Testing. John Wiley & Sons, Inc. — 2001. — P. 684.
- 8. Стороженко В. А., Малик С. Б. Тепловизионная диагностика электронных узлов телекоммуникационной аппаратуры // 36. тез доповідей 5-ї Наук.-техн. конф. «Приладобудування: Стан і перспективи» 25-26 квітня 2006 р., Київ, ПБФ, НТУУ «КПІ», 2006. С. 245.

Харков. нац. ун-т радиоэлектроники

Поступила в редакцию 11.09.2006

#### НОВЫЕ КНИГИ

Скальський В. Р., Коваль П. М. Акустична емісія під час руйнування матеріалів, виробів і конструкцій. Методологічні аспекти відбору та обробки інформації. — Львів: СПОЛОМ, 2005. — 396 с.



Розглянуто основні фізичні принципи поширення пружних хвиль у твердих тілах, особливості таких процесів на межі їх поділу, а також у системі «тверде тіло- рідина». З позицій механіки руйнування і на основі явища акустичної емісії (АЕ) описано теоретико-експериментальні засади створення методик неруйнівного контролю для оцінки зародження і розвитку руйнування в різних конструкційних матеріалах: сталях, чавунах, алюмінієвих сплавах, бетоні та залізобетоні.

Запропоновано принципи побудови та практичного застосування основних вузлів і блоків засобів відбору, обробки та зберігання АЕ-інформації. Викладено методологічні засади низки методик АЕ-обстежень і технічного діагностування виробів і конструкцій у реальних умовах експлуатації. Показано специфіку застосування АЕ для обстеження великогабаритних об'єктів довготривалої експлуатації.

Для наукових працівників та інженерів-дослідників, а також аспірантів і студентів відповідних спеціальностей.

*Скальський В. Р., Андрейків О. Є.* **Оцінка об'ємної пошкодженості матеріалів методом акустичної емісії**. — Львів: Видавничий центр ЛНУ імені І. Франка, 2006. — 330 с.

У монографії на основі явища акустичної емісії (АЕ) викладено методологію і методи неруйнівного контролю для оцінки об'ємної пошкодженості та прогнозування її критичної величини у матеріалах, виробах і елементах конструкцій. Теоретичною основою цих методів слугує запропонована авторами модель кількісної оцінки об'ємної пошкодженості кристалічних тіл, на підставі якої розроблено експериментальні методики визначення механічної та акустико-емісійної міри об'ємної пошкодженості твердих тіл в області локалізованих пластичних деформацій. Описано методологічні засади для кількісної оцінки АЕ-міри об'ємної пошкодженості матеріалу в пластичній зоні макротрішини, запропоновано аналітичну залежність для її визначення і встановлено критерій початку розвитку макроруйнування. Отримано критерії визначення стадій накопичення об'ємної пошкодженості під час зародження та розвитку мікро- та макротріщин у різних матеріалах і виробах. Приведено методики та описано засоби для лабораторних АЕ-досліджень з метою встановлення базових характеристик матеріалів стосовно запропонованих критеріїв і моделей.



Для наукових працівників та інженерів-дослідників, а також аспірантів і студентів відповідних спеціальностей.

3 питань придбання книг звертатись: Скальський В. Р. Відділ № 12 ФМІ НАНУ, вул. Наукова, 5, м. Львів-60, Україна, 79060 Тел./факс: (0322) 22-96-546; e-mail: skal@ipm.lviv.ua УДК 621.119.24

## ОЦЕНКА КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ МЕТОДОМ МАГНИТНОЙ ПАМЯТИ МЕТАЛЛА В СРАВНЕНИИ С РАДИАЦИОННЫМ И УЛЬТРАЗВУКОВЫМИ МЕТОДАМИ

#### А. А. ДУБОВ, С. М. КОЛОКОЛЬНИКОВ, В. И. ЗАГРЕБЕЛЬНЫЙ

Показана связь между параметрами собственного магнитного поля рассеяния и характеристиками дефектов сварных соединений. Представлены критерии оценки состояния сварных соединений трубопроводов по результатам контроля методом магнитной памяти металла. Приведены результаты сравнительного контроля сварных соединений трубопроводов различных типоразмеров этим методом и радиационным методом НК.

A connection between the parameters of the self-magnetic leakage field and characteristics of welded joint defects is shown. Criteria of evaluation of the condition of pipeline welded joints by the results of control by the metal magnetic memory method are presented. Results of comparative testing of welded joints of pipelines of different typesizes by this method and radiation ND method are given.

Одной из важных и сложных проблем современного неразрушающего контроля (НК) качества сварных соединений разных типов является поиск и определение в них «слабого звена» в единой комплексной системе факторов «структурно-механическая неоднородность—дефекты сварного шва—конструктивный и технологический концентратор напряжений», т. е. зон с высокой неоднородностью напряженно-деформированного состояния или зон концентрации напряжений (ЗКН). Это важно как при изготовлении сварных соединений, т. е. непосредственно после сварки, для оптимизации технологического процесса, так и при их эксплуатации.

Традиционная дефектоскопия, ориентированная только на поиск несплошностей в сварных соединениях, не может обеспечить достоверную оценку их качества, так как она не учитывает напряженно-деформированное состояние металла шва и околошовной зоны. Опираясь только на результаты дефектоскопии, технологу-сварщику трудно выявлять причины дефектности шва и совершенствовать технологию сварки. На надежность сварных соединений влияет множество факторов, поэтому необходим метод НК, который бы интегрально оценивал состояние металла сварного соединения.

В настоящее время в России разработан и успешно внедряется в различных отраслях промышленности принципиально новый метод диагностики металла изделий и сварных соединений, основанный на использовании эффекта магнитной памяти металла (МПМ).

В соответствии с ГОСТ Р 52081–2003 магнитная память металла — последействие, которое проявляется в виде остаточной намагниченности металла изделий и сварных соединений, сформировавшейся в процессе их изготовления и охлаждения в слабом магнитном поле, или в виде необратимого изменения намагниченности изделий в зонах концентрации напряжений и повреждений от рабочих нагрузок.

Метод МПМ — метод НК, основанный на анализе распределения собственного магнитного поля рассеяния (СМПР) на поверхности изделий с целью определения ЗКН, дефектов и неоднородности структуры металла и сварных соединений.

СМПР — магнитное поле рассеяния, возникающее на поверхности изделия в зонах скопления дислокаций под действием рабочих или остаточных напряжений и в зонах максимальной неоднородности структуры металла. Более подробно физические основы и практические возможности метода МПМ представлены в работах [1–4].

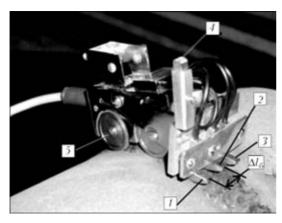
Путем считывания СМПР, отображающего остаточную намагниченность, сформировавшуюся естественным образом в процессе сварки, предоставляется уникальная возможность выполнять интегральную оценку фактического состояния сварного шва с учетом структурной неоднородности, распределения остаточных напряжений и дефектов сварки.

Все дефекты (несплошности), появляющиеся в сварных соединениях на этапе изготовления, являются концентраторами напряжений. Однако не все будут развиваться в процессе эксплуатации, так как плотности механической энергии в зоне концентрации напряжений может быть недостаточно, чтобы обеспечить развитие дефекта. Определение параметров дефектов при одновременной оценке их напряженного состояния является основной задачей метода МПМ.

В настоящее время накоплен значительный опыт контроля сварных соединений и разработана

©А. А. Дубов, С. М. Колокольников, В. И. Загребельный, 2007





 $Puc.\ 1.\$ Устройство для контроля стыковых сварных соединений труб многоканальным сканирующим устройством прибора типа ИКН: I-3 — феррозондовые преобразователи сканирующего устройства для регистрации поля  $H_p$  на поверхности сварного шва; 4 — феррозондовый преобразователь для отстройки от внешнего магнитного поля  $H_p$ ; 5 — колеса привода измерителя длины;  $\Delta l_6$  — базовое расстояние между феррозондовыми преобразователями

методология расшифровки магнитных сигналов, когда по амплитуде и ширине сигнала можно определять длину и глубину дефекта. Использование метода МПМ в области дефектоскопии в настоящее время активно развивается. При этом наиболее эффективным является сочетание метода МПМ с радиационным контролем (РК) или ультразвуковым контролем (УК).

Контроль методом МПМ осуществляется без зачистки металла и специального намагничивания и позволяет выполнять экспресс-контроль качества сварных соединений в ручном и автоматическом режимах при массовом производстве на различных изделиях из углеродистых, аустенитных и ферритно-аустенитных марок сталей [5].

Контроль выполняется с помощью специализированных малогабаритных приборов, имеющих автономное питание, сканирующие и регистрирующие устройства. Приборы типа ИКН (измерители концентрации напряжений магнитометрические) не имеют аналогов, серийное их изготовление организовано в России на предприятии «Энергодиагностика» (г. Москва). Приборы аттестованы в Госстандарте РФ и включены в государственный реестр средств измерений.

На рис. 1 показано расположение многоканального сканирующего устройства (СУ) на стыковом сварном соединении трубы при проведении контроля методом МПМ. Как видно из рисунка, феррозондовые преобразователи I и 3 располагаются напротив зон термического влияния (ЗТВ) с обеих сторон шва, преобразователь 2 расположен между ними посередине, а преобразователь 4, разверну-

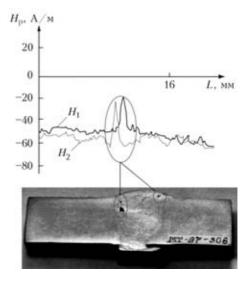


Рис. 2. Результаты обследования участка сварного стыка паропровода ( $\emptyset$ 273 $\times$ 32 мм, 12X1МФ) с применением ММП и анализа макроструктуры шлифа ( $H_1$ ,  $H_2$  — напряженность магнитного поля рассеяния по первому и второму каналу соответственно)

тый в противоположную сторону, предназначен для отстройки от внешнего магнитного поля.

На рис. 2 представлены результаты контроля участка сварного стыка паропровода ( $\emptyset$ 273 $\times$ 32, 12X1M $\Phi$ ) с применением метода МПМ и анализа макроструктуры шлифа.

Локальные изменения поля  $H_{\rm p}$  в данном примере соответствуют расположению дефектов в металле сварного шва, заложенных при изготовлении (шлаковые включения, газовые поры).

На рис. 3 представлен фрагмент результата контроля сварного шва реактора полимеризации полихлорвинила R-701/2. Ширина сварного шва 15 мм. Стенки корпуса реактора изготовлены из углеродистой стали толщиной 21 мм. Внутренняя поверхность реактора, со стороны которой проводился контроль, плакирована нержавеющей коррозионностойкой сталью 316L (Стандарт AISI (США) толщиной 3 мм.

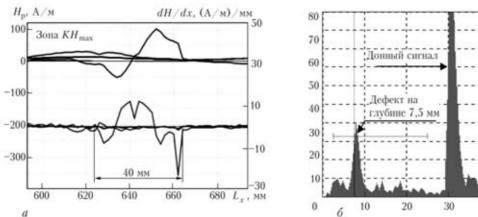
В зоне  $KH_{\rm max}$ , характеризуемой скачкообразным изменением поля  $H_{\rm p}$ , зафиксирован максимальный градиент поля dH/dx по третьему каналу  $H_{\rm p3}$ . При контроле феррозондовый преобразователь по этому каналу располагали напротив ЗТВ сварного шва (см. рис. 1).

Из рис. 3, a видно, что общая протяженность зоны  $KH_{\rm max}$  составляет 40 мм. Однако протяженность участка, на котором градиент поля dH/dx имел максимальное значение и который соответствовал расположению локального дефекта, выявленного УЗК, составляла 10 мм. На рис. 3,  $\delta$  показана диаграмма эхо-сигнала УЗК от дефекта на глубине шва 7,5 мм, зафиксированного в зоне максимального градиента поля.

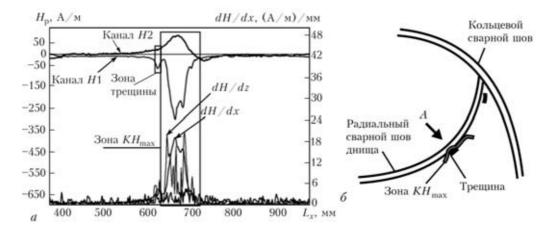
На рис. 4, a представлены результаты контроля методом МПМ участка радиального сварного шва

<sup>\*</sup> Проведенные экспериментальные исследования образцов из аустенитных сталей в ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины показали, что значения  $H_{\rm p}$  для сварных швов и околошовной зоны изменяются от -300 до +200 A/м, что показывает возможность их контроля методом МПМ.

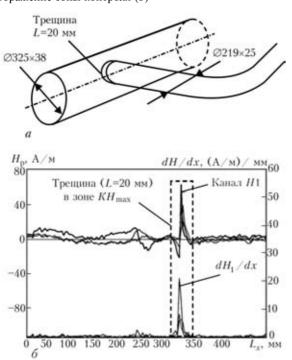




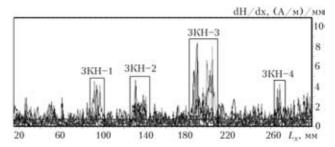
*Рис. 3.* Результаты контроля участка кольцевого сварного шва химического реактора методом МПМ УЗК: a — результаты контроля участка сварного шва в зоне  $KH_{\rm max}$ ;  $\delta$  — диаграмма эхо-сигнала при УЗК прямым ПЭП в зоне  $KH_{\rm max}$  ( $L_x$  — длина зоны концентрации напряжений)



Puc. 4. Результаты контроля радиального сварного шва нижнего днища химического реактора R-701/1 (a) и схематическое изображение зоны контроля ( $\delta$ )



*Рис.* 5. Схематическое изображение зоны контроля тройникового сварного соединения паропровода (*a*) и результаты контроля ( $\delta$ )

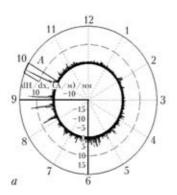


 $\it Puc.~6$ . Результаты контроля сварного шва из двух пластин методом МПМ и РК

днища химического реактора. При контроле в зоне  $KH_{\rm max}$  методом УЗК была выявлена трещина. На рис. 4,  $\delta$  отмечено расположение выявленной трещины (длина трещины 15 мм).

Следует отметить, что вблизи трещины выявлена зона  $KH_{\rm max}$ , характеризуемая разнополярным распределением поля  $H_{\rm p}$  по каналам H1 и H2 с максимальным градиентом поля по базе dH/dz. Феррозондовые преобразователи каналов H1 и H2 при контроле методом МПМ располагали напротив 3TB с обеих сторон шва.





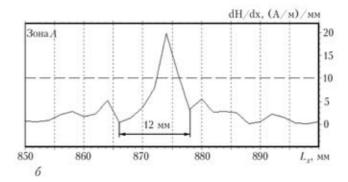


Рис. 7. Результаты контроля «поворотного» кольцевого сварного стыка № 12-13 магистрального газопровода  $\emptyset$ 720 $\times$ 7 мм: a — круговая магнитограмма распределения градиента магнитного поля  $dH_{\rm p}/dx$ ;  $\delta$  — фрагмент распределения градиента поля  $dH_{\rm p}/dx$  в дефектной зоне A

На рис. 5 представлены результаты контроля методом МПМ тройникового сварного соединения паропровода ( $\emptyset$ 325 $\times$ 38 мм и  $\emptyset$ 219 $\times$ 25 мм).

На рис. 5,  $\delta$  показано распределение поля  $H_{\rm p}$  и его градиента dH/dx вдоль сварного шва и отмечена зона  $KH_{\rm max}$ , характеризуемая знакопеременным распределением поля  $H_{\rm p}$  с максимальными значениями градиента поля dH/dx по всем трем каналам измерений.

В зоне  $KH_{\rm max}$  при дополнительном контроле после шлифовки металла шва выявлена поперечная трещина длиной 20 мм, развивающаяся с наружной поверхности трубы  $\varnothing$ 219 $\times$ 25 перпендикулярно шву. При этом максимальное изменение поля и его градиента выявлено по каналу HI, расположенному в 3TB шва со стороны трубы  $\varnothing$ 219 $\times$ 25 (см. рис. 5,  $\delta$ ).

На рис. 6 представлены результаты сравнительного контроля сварного шва двух пластин ( $L=290~{\rm MM},~S=10~{\rm MM},$  сталь 20) методом МПМ и РК. Шов изготовлен ручной дуговой сваркой под флюсом. Внизу на магнитограмме отмечены участки с ЗКН, характеризуемые максимальными градиентами поля dH/dx (ЗКН-1, ЗКН-2, ЗКН-3 и ЗКН-4). В ЗКН-3 с максимальными значениями градиента поля радиационным контролем был выявлен максимальный дефект несплавления, а в ЗКН-1 и ЗКН-2 дефекты в виде мелких пор. В зоне ЗКН-4 явных дефектов радиационным контролем не выявлено.

На круговой (часовой) магнитограмме рис. 7, a представлено распределение градиента поля dH/dx вдоль периметра кольцевого шва газопровода  $\emptyset$ 720 $\times$ 7 мм. Контроль выполнялся с помощью устройства, показанного на рис. 1. На рис. 7,  $\delta$  представлен фрагмент распределения градиента поля dH/dx в дефектной зоне A по одному каналу измерения, проходящему по центру шва. Ширина сигнала, соответствующая по методу МПМ длине дефекта, составляет 12 мм. По данным радиационного контроля этого шва в дефектной зоне A был обнаружен недопустимый дефект

типа Da10 > 0,1S — непровар в корне шва длиной не менее 10 мм.

На круговой (часовой) магнитограмме рис. 8, а представлены результаты контроля другого кольцевого сварного шва газопровода Ø720×7 мм. На магнитограмме отмечены зоны локального изменения градиента поля dH/dx, соответствующие по методу МПМ зонам концентрации напряжений. Как правило, в этих зонах другими методами НК выявляются дефекты. На рис. 8,  $\delta$  представлен фрагмент распределения градиента поля dH/dx в дефектной зоне A по одному каналу измерения, проходящему по ЗТВ сварного шва. Ширина магнитных сигналов, соответствующая по методу МПМ длине дефектов, составляет 14 и 20 мм. По данным PK этого шва в зоне A были выявлены недопустимые дефекты типа Da10 > 0.1S — непровар в корне шва длиной не менее 10 мм.

Следует отметить смещение расположения магнитных сигналов, фиксируемых на поверхности шва, от расположения глубинного дефекта, фиксируемого РК или УК. Такое смещение обусловлено тем, что магнитный сигнал соответствует площадкам скольжения, смещенным по глубине шва примерно на 45° в относительно максимальной концентрации напряжений от острого края дефекта. Дальнодействующие поля напряжений формируют дальнодействующие границы доменов вдоль площадок скольжения с выходом на поверхность шва в виде локальных изменений магнитного поля и его градиента [2, 3].

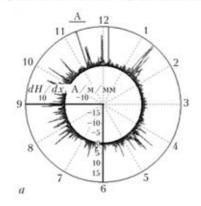
Примерный расчет глубины залегания h дефектной зоны по методу МПМ проводится с помощью тригонометрических зависимостей в соответствии со схемой, представленной на рис. 9:

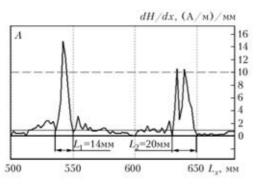
$$h = l/2$$
,

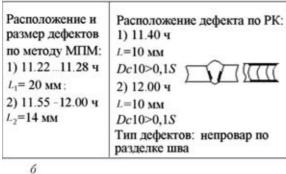
где l — длина дефекта, определяемая по графику градиента поля.

В соответствии с примером, представленным на рис. 7 (зона A), глубина залегания дефекта h составит: h = 12 мм/2 = 6 мм.





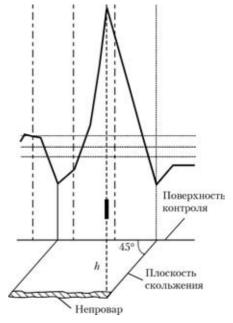




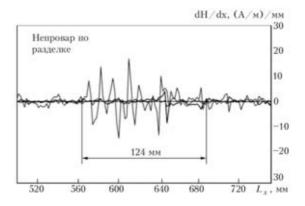
*Рис.* 8. Результаты контроля монтажного кольцевого сварного стыка № 19-20 магистрального газопровода  $\varnothing$ 720×7 мм: a — круговая магнитограмма распределения градиента магнитного поля  $dH_p/dx$ ;  $\delta$  — фрагмент распределения градиента поля  $dH_p/dx$  в дефектной зоне и расположение дефектов по методу МПМ и РК

На основании выполненного расчета можно сделать вывод о хорошей сходимости результатов контроля методом МПМ и РК. Как было отмечено выше, по данным РК в зоне *A* на глубине 6...7 мм в корне шва был выявлен непровар длиной 10 мм.

В случае протяженного дефекта в виде непровара в корне или разделке шва по методу МПМ на поверхности шва фиксируются знакопеременные сигналы градиента поля dH/dx. На рис. 10 представлено распределение градиента поля в зоне непровара по разделке монтажного сварного стыка № 12 магистрального газопровода Ø 720×7 мм. Длина дефектного участка по методу МПМ в этом шве составила 124 мм. По данным РК этого шва длина непровара по разделке шва составила 130 мм.



Puc. 9. Схема определения глубины залегания дефекта по методу МПМ



*Рис. 10.* Распределение поля  $H_{\rm p}$  в зоне непровара по разделке монтажного кольцевого сварного стыка № 12 магистрального газопровода  $\varnothing$ 720×7 мм

В данном примере большое количество магнитных сигналов знакопеременного характера от протяженного непровара в соответствии со схемой, представленной на рис. 9, обусловлено соответствующим количеством плоскостей скольжения, возникающих в зонах концентрации напряжений на краях дефектной зоны.

В таблице представлены результаты контроля методом МПМ отдельных сварных швов газопроводов  $\emptyset$  720×7 мм в сравнении с результатами контроля этих швов РК. Как видно, процент сходимости результатов контроля (или выявляемости дефектов) методом МПМ по сравнению с РК колеблется от 70 до 100%.

Всего на газопроводе  $\emptyset$  720 $\times$ 7 мм методом ММП и РК проконтролировано 17 кольцевых швов и по всем этим швам был сделан сопоставительный анализ результатов контроля.





Сравнительные данные результатов контроля методами МПМ и РК

Номер стыка	Градиент <i>dH/dx</i> ( <i>dH/dz</i> ), (A/м)/мм	Расположение ЗКН по результатам контроля методом МПМ (час. мин)	Результаты РК	Расположение дефектов по результатам РК (ч)	Выявляемость дефектов методом МПМ,	
	6	5.255.50	Dc 8 > 0,1S	56		
12-13	15	9.059.10			67	
	20	9.459.49	Da 10 > 0,1S	910		
	4	10.5310.56	Ba 10 > 0,1S	1112		
	_	_	Da 10 > 0,1S	1112		
	_	_	Dc 6 > 0,1S	12		
	3	0.150.21	Fa 7,0 > 2мм	01		
	8	1.25 1.45	Da 180 > 0,1S	12		
	0	1.251.45	Fa 9,0 > 2мм	12		
	4	2.382.42	Ba 7,0 > 0,1S	23		
	5 5	3.043.10 3.183.20	Fc 100 > 0,5 <sub>MM</sub>	3		
22	6 5	3.483.52 4.004.07	Fa 12 > 2мм	34	100	
	8	8.458.55	Aa $2,0 > 0,2S$	89		
	8 11	9.029.05 9.129.18	Bd 7,0 > 0,1S	910		
	7	10.2510.30	Aa 2,0 > 0,2S	1011		
	7		Aa $3,0 > 0,2S$	1011		
	3	11.1511.35	Ba 2,0 > 0,1S	1012		
	3		Ba 42,0 > 0,1S	1112		
	3	11.1511.35	Ba 2,5 > 0,1S	1112		
	7	1.181.21	Fc 20 > 0,5 <sub>MM</sub>	01		
	3	2.082.10	Da 30 > 0,1S	23		
	3	2.282.30	Ac 10; 1,5 > 0,1S	23		
	6	2.432.45	Fc $90 > 0.5$ MM	23		
12	4	3.333.36	Bb 130; 4,0 > 0,1S	34	90	
	3	9.179.18	Ac 70; 4,0 > 0,1S	910		
	_	_	Dc $50 > 0.1S$	910		
	5 10.2	10.2510.26	Da 30 > 0,1S	10		
		10.2510.26	Fc $55 > 0.5$ MM	10		
	17	11.1511.43	Dc 270 > 0.1S	11		
19-20	11 8	4.284.38 4.494.51	Dc 130 > 0,1S	5		
	8 5	5.175.19 5.285.30	Dc 70,0 > 0,1S	56		
	12	7.397.42	Dc 10,0 > 0,1S	78	100	
	10	8.228.26	Ac 18; 5,0 > 0,1S	89		
	6	8.358.42	Bc 15; 2,0 > 0,1S	89		
	13	10.0710.12	Da 5 > 0,1S	10		
	15	11.5512.00	Dc $10 > 0.1S$	1112		

### Выводы

Выявлен высокий уровень сходимости результатов контроля методом МПМ и РК. По количеству дефектов сходимость составила 75 %, а по распо-

ложению дефектов — 85 %. Большинство дефектов (80 %), выявленные методами МПМ и рентгеновским, оказались расположенными в ЗКН (предварительно были зафиксированы методом МПМ).



### НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ -

Несоответствие в результатах контроля по количеству дефектов (~25 %) и по расположению дефектов (~15 %) можно объяснить в определенной степени субъективным фактором, зависящим от подготовки дефектоскописта и различием в физической природе методов МПМ и рентгеновского. Метод МПМ слабо реагирует на дефекты, не создающие концентрацию напряжений (поры и шлаковые включения), но такие дефекты, в пределах допустимых, неопасны. С помощью рентгеновского метода выявляются поры и шлаковые включения независимо от концентрации напряжений, но не выявляются дефекты типа трещин.

Визуализация и документирование дефектов, выявленных методом МПМ, осуществляется оперативно в виде магнитограмм на экране прибора и распечаток на принтере.

Учитывая высокую сходимость результатов контроля методом МПМ и РК, целесообразно в дальнейшем применять комплексный контроль. Методом МПМ без какой-либо подготовки повер-

ООО «Энергодиагностика», Москва Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, Киев хности шва в режиме экспресс-контроля выявляются ЗКН, затем в ЗКН делается дополнительный рк

Практический опыт обследования методом МПМ сварных стыков магистральных газопроводов также показал, что недопустимые по нормам (РК или УЗК) дефекты, заложенные при изготовлении, но без КН, не развиваются в процессе длительной эксплуатации (30 лет и более).

- 1. Дубов А. А. Диагностика котельных труб с использованием магнитной памяти металла. М.: Энергоатомиздат, 1995. 112 с.
- Власов В. Т., Дубов А. А. Физические основы метода магнитной памяти металла. М.: ЗАО «ТИССО», 2004. 424 с.
- Дубов А. А., Дубов Ал. Ан., Колокольников С. М. Метод магнитной памяти металла и приборы контроля / Уч. пособие. — М.: ЗАО «ТИССО», 2003. — 320 с.
- 4. А. с. 1769105 РФ 5G01 № 27/83. Способ определения эксплуатационной стойкости труб из ферромагнитных материалов / Дубов А. А. Бюл. № 38, 1992.
- 5. ГОСТ Р 52005–2003. Контроль неразрушающий. Метод магнитной памяти металла. Общие требования.

Поступила в редакцию 17.04.2006



# 4-Я МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО НЕРАЗРУШАЮЩЕМУ КОНТРОЛЮ ГРЕЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА ПО НК

11-14 октября 2007 г.

о. Крит, Греция

International Conference on Non-Destructive Testing of the Hellenic Society of NDT

### October 11-14, 2007, Chania — Crete, Greece

Греческое общество по неразрушающему контролю приглашает ученых, пользователей, производителей и сервисные компании, работающих во всех областях НК, принять участие в 4-й Международной конференции по неразрушающему контролю, цель которой — собрать вместе ученых и инженеров для обмена опытом в проведении исследований и разработок в области НК.

Конференция будет включать пленарные, секционные и стендовые доклады по следующей тематике:

- ✓ Применения и инновации методов НК
- ✓ Подготовка и сертификация персонала
- ✓ Композитные материалы, сварка и адгезия
- ✓ Цифровая радиография
- ✓ НК для диагностики и восстановления исторических памятников
- ✓ Применения НК в судостроительной и аэрокосмической отраслях
- ✓ Применения НК для энергетики (включая атомную)
- ✓ Теоретическое моделирование
- ✓ Применения НК в гражданском строительстве
- ✓ Безконтактные методы НК и др.

Более подробную информацию относительно конференции можно получить на сайте

#### http://www.hsnt.gr/4thICNDT/4thICNDT.htm

или непосредственно в Оргкомитете конференции по

E-mail: prasian@central.ntua.gr, gpapan@mech.upatras.gr



УДК 621.114.35

### КОНТРОЛЬ ВТОМНИХ ПОШКОДЖЕНЬ КОНСТРУКЦІЙ З ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

#### А. М. ОВСЯНКІН, В. Я. ДЕРЕЧА, В. В. ЛУБЯНИЙ

Розглянуто питання оцінки втомних пошкоджень конструкцій з вуглепластиків неруйнівними методами контролю. Експериментальна оцінка проведена на зразках з однонаправленого вуглепластика з концентратором напружень після різних рівнів циклічного навантаження чистим вигином. Представлені результати контролю пошкодженості візуально-оптичним, акустичним і вихрострумовим методами. Визначено межі застосування методів.

Evaluation of fatigue damage in structures of coal-plastic by NDT methods is considered. Experimental evaluation has been performed on samples of unidirectional coal-plastic with a stress raiser after different levels of cyclic loading by pure bending out. The paper gives the results of controlling the damage level by visual-optical, acoustic and eddy current methods. Limits of the method applicability have been determined.

Аналіз особливостей втомного руйнування ПКМ і методів його оцінки. Полімерні композиційні матеріали (ПКМ) широко застосовуються в сучасному авіабудуванні. Найбільш розповсюдженими в авіаційних конструкціях з ПКМ є карбоволокніти, бороволокніти й органоволокніти. Останнім часом ПКМ використовується не тільки для виготовлення елементів обшивки, але і для виготовлення силового набору конструкцій, що значно підвищує показники їх вагової ефективності. Так, з карбоволокнітів (вуглепластиків) виготовляються ряд балансувальних агрегатів (рулі висоти, рулі повороту та ін.), а в деяких випадках вертикальне і горизонтальне оперення літака повністю виготовляється з карбоволокнітів.

Карбоволокніти — це композиції, що складаються з полімерного сполучення (матриці з епоксидних, фенолформальдегідних або поліамідних смол) і підсилювачів (наповнювачів) у вигляді вуглецевих волокон. В конструкціях використовують різні марки карбоволокнітів КМУ-1, КМУ-1У, КМУ-2, КМУ-2Л, КМУ-3, КМУ-3Л та ін., що відрізняються видом матриці, а також видом наповнювача і типом його укладки [1].

Перевага застосування сучасних композиційних матеріалів полягає в тому, що конструкції з них можуть бути спроектовані цілеспрямовано для забезпечення відповідності широкому діапазону вимог. Але при цьому необхідно враховувати, що їхні фізичні характеристики змінюються також широко внаслідок множини змінних факторів — волокна і типу матриці, орієнтації волокон, товщини шару і послідовності укладення шарів, які пов'язані з виробництвом. Для встановлення достовірності відповідних характеристик розрахунковим значенням композиційні матеріали потребують виконання поширених випробувань. Важливою  $\epsilon$  проблема забезпечення надійності матеріалів в конструкціях в

процесі експлуатації. Конструкції з композитів повинні бути надійними і працездатними як при багатократних повторюваннях циклів навантаження, так і при ударних діях. Встановлено, що навіть при незначних рівнях навантаження у виробах з композиційних матеріалів виникають мікротріщини, які під дією вологості, температури та інших факторів суттєво знижують їхні фізико-механічні властивості і несучу здатність елементів конструкції. Актуальним є своєчасне виявлення втомних пошкоджень таких елементів.

Для відстеження втомних пошкоджень і встановлення ресурсних характеристик більшість авіакосмічних фірм-виготовлювачів проводять випробування композиційних матеріалів на панелях-зразках або на натурних конструктивних елементах [2]. Вважають, що найкращим варіантом підтвердження відповідності матеріалів і конструкцій вимогам міцності є випробування на повномасштабних натурних агрегатах при моделюванні експлуатаційних навантажень. Втомні випробування викликають напружений стан, що виникає внаслідок дії спектра навантажень, який моделює термін служби конструкції.

При реалізації натурних випробувань навантаження прикладаються за допомогою гідравлічних силозбуджувачів (гідроциліндрів) сервогідравлічної важільної системи. Важільна система може містити до десяти і більше важелів, що складають основу випробувального стенда. Реакції конструкції на навантаження від гідроциліндрів на таких стендах записуються через мережу вимірювальних тензодатчиків (наприклад, провід зі змінним при деформуванні електричним опором).

Критичні зони з точки зору втомної міцності додатково контролюються з підвищеною частотою візуальними і неруйнівними методами контролю [2]. Проблема використання неруйнівних методів при таких випробуваннях стає важливою у зв'язку із застосуванням результатів випробу-

© А. М. Овсянкін, В. Я. Дереча, В. В. Лубяний, 2007



вань в експлуатації. При наявності результатів сумісних тензометричних і неруйнівних випробувань неруйнівний контроль (НК) може бути в достатній мірі інформативним при оцінюванні технічного стану і залишкової міцності конструкцій при їх технічному обслуговуванні. Актуальним є вибір оптимальних методів і засобів НК. Для цього необхідно враховувати агрегатний стан матеріалу, його структуру, здатність взаємодіяти з проникним випромінюванням та фізичними полями, розміри, конфігурацію і конструктивні особливості об'єкту. ПКМ — досить складний об'єкт контролю через неоднорідність структури (яка може бути односпрямована, подовжньо-поперечна, комбінована), має специфічні фізичні властивості (електричні, теплові, звукоізоляційні), малі значення щільності тощо. Оцінка ефективності існуючих методів НК показала, що найбільш інформативним для ПКМ можуть бути акустичні, радіохвильові, теплові, оптичні, радіаційні та вихрострумові методи. Враховуючи особливості карбоволокнітів (електропровідність вугільних волокон) і умови контролю в експлуатації для вуглепластиків, найбільш ефективно можуть використовуватися акустичні і вихрострумові методи [3].

З акустичних методів для контролю конструкцій з ПКМ частіше використовують імпедансний метод і метод вільних коливань [3]. Імпедансний метод грунтується на визначенні пошкоджень (дефектів) по зміні акустичного імпедансу контрольованого виробу.

Контроль методом вільних коливань заснований на ударному збудженні в контрольованому виробі вільно затухаючих пружніх коливань і реєстрації зміни їх спектрів в зонах дефектів. Метод ефективно використовується для контролю розшарування конструкцій невеликої товщини.

Вихрострумовий контроль використовують для виявлення дефектів в електропровідних матеріалах. Щільність вихрових струмів в матеріалі об'єкта залежить від електричних властивостей і геометричних параметрів об'єкта. У вуглепластиках це пов'язане зі щільністю волокон та їх з'єднанням, а також ступенем з'єднання шарів з волокон. Найбільшою перевагою вихрострумових методів є можливість контролю невеликих по площині ділянок деталей, розташованих у важкодоступних місцях конструкцій.

Вимогам більшої інформативності відповідає комплексний контроль, проте актуальним залишається вибір одного найбільш оптимального методу і засобу контролю для забезпечення контролепридатності конкретного матеріалу і конструкцій в експлуатації.

В роботі розглядається спосіб оцінки засобів контролю на зразках з ПКМ з різними рівнями втомних пошкоджень, який дозволяє обрати найбільш придатний засіб неруйнівного контролю

(НК) для застосування його на випробувальному стенді і далі в експлуатації для оцінки технічного стану об'єкту в процесі напрацювання.

Експериментальні дослідження втомних пошкоджень на зразках з ПКМ. Для оцінювання втомних пошкоджень використовували зразки з одноправленого шаруватого вуглепластика КМУ-11Э-0,08 на основі вуглецевої стрічки ЭЛУР-0,08ПА і зв'язуючого ЭДТ-69Н, характеристики яких відповідають реальним конструкціям. Зразки виготовлені у вигляді плоских прямокутних пластин завтовшки 2,2 мм і розміром 200×20 мм з орієнтацією шарів волокон вздовж зразка.

Для локалізації втомних пошкоджень на ребрі зразків було виконано надрізи (концентратори напружень) у вигляді півкола радіусом 1 (одна серія зразків) і 1,5 мм (друга серія зразків) для вибору оптимальної швидкості появи пошкоджень. Перед навантаженням зразки перевіряли на відсутність дефектів за допомогою приладів акустичного і вихрострумового контролю. Отримання втомних пошкоджень дослідних зразків шляхом чистого вигину проводили на втомній випробувальній машині МПИ-8 при навантаженнях перпендикулярно напрямку волокон зразків. Рівень навантаження зразків визначено з урахуванням міцності матеріалу зразка і можливостей випробувальної машини.

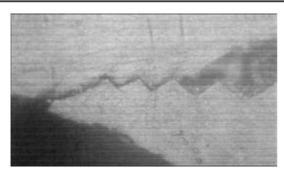
Для максимального прогинання f=0.8 мм на базі довжиною L=50 мм, що забезпечує машина МПИ-8, рівень напружень зразка завтовшки 2,2 мм досягає  $\sigma=366$  МПа, що відповідає  $0.33\sigma_{\rm B}$  матеріалу КМУ-11Э-0,08.

Навантаження зразків з концентраторами r == 1 і 1,5 мм з даним напруженням проведено з попередньою візуально-оптичною оцінкою пошкоджень і вимірюванням довжини тріщин за допомогою мікроскопа МБС-2. Зона розповсюдження тріщини також сканувалася за допомогою вихрострумового дефектоскопа ТВД. Навантаження здійснювалося в діапозоні від 0 до 10<sup>6</sup> циклів. Для детального аналізу зображення зон пошкоджень використовували їхнє збільшення за допомогою цифрового фото. Одержано, що в процесі навантажень відбувається зародження втомної тріщини в зоні концентратора напруг (для зразка з r = 1 мм при кількості циклів N = 3000, для зразка з r == 1,5 мм при N = 2000) і її подальше розповсюдження вздовж зразка (рис. 1), розшарування в зоні концентратора (рис. 2), а також порушення цілісності матриці (рис. 3).

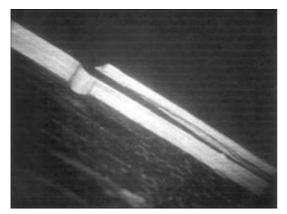
Швидкість зростання тріщини для зразків з більшим концентратором напружень збільшується (рис. 4).

Чисельні значення інформаційного сигналу вихрострумового дефектоскопу майже не змінювалися на початковому етапі навантажень (до  $10^5$  циклів). Суттєвих змін сигналів не відбувалося і при зростанні навантажень до  $10^6$  циклів.





 $Puc.\ 1.\$ Загальний вигляд втомної тріщини зразка з концентратором



Puc. 2. Загальний вигляд крайового розшарування зразка в зоні концентратора

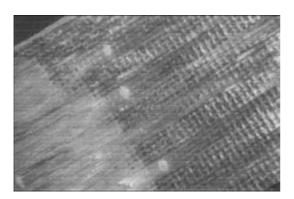
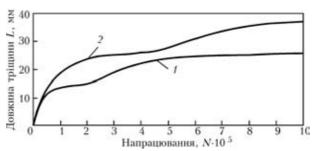


Рис. 3. Загальний вигляд розтріскування матриці зразка

Залежно від концентратора напружень порізному розвивалися інші порушення: крайове розшарування починалося при  $N=2\cdot 10^5$  і при  $N=10^5$  відповідно для r=1 і 1,5 мм, початок порушення матриці відслідковувалось при  $N=10^5$  і при  $N=10^5$  для таких же концентраторів.

Далі для отримання набору зразків з метою їхнього дослідження приладами НК були прийняті зразки з концентраторами напружень r=1,5 мм з подальшим навантаженням від  $10^5$  до  $10^6$  циклів.

Для оцінки пошкоджень зразків застосовували імпедансні дефектоскопи ИД-91М, АД-60С (з розподільно-сумісними і сумісними перетворювачами) і вихрострумові дефектоскопи ВД-3.01 та ВДЦ в амплітудному варіанті як такі, що найбільш використовуються при визначенні технічного ста-



*Рис.* 4. Залежність довжини втомної тріщини від напрацювання для зразків з концентратором r = 1 (1) и 1,5 мм (2)



Рис. 5. Точки контролю при скануванні робочої зони зразка

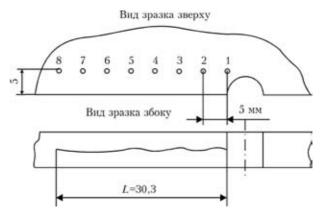


Рис. б. Точки контролю в зоні розшарування зразка

ну вітчизняних ПС. Для сканування робочої зони зразків точки контролю маркували в середині зразка (на відстані одна від одної 10 мм) (рис. 5), зони розшарування і зони тріщини згідно схем, представлених на рис. 6 і 7.

Залежності зміни амплітуди інформаційних сигналів  $\Delta A$  (показання індикаторів приладів) від відстані від концентратора при скануванні робочої зони зразків (навантаження  $N=1\cdot 10^6$  циклів) наведено на рис. 8.

При деякому зміщенні розподілу сигналів відносно зони концентратора напружень спостерігається однозначне збільшення амплітуди  $\Delta A$  інформаційного сигналу для усіх засобів контролю поблизу концентратора. Найбільші зміни  $\Delta A$  відзначалися при використанні імпедансного дефектоскопа ИД-91М із суміщеним перетворювачем (СП) і дефектоскопу АД-60С також із СП. Найменша величина сигналу  $\Delta A$  була отримана при скануванні робочої зони зразків роздільносуміщеним перетворювачем (РСП) дефектоскопа АД-60С і при використанні вихрострумових де-

### НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ

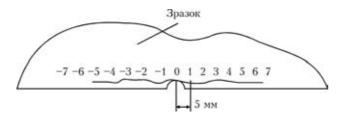
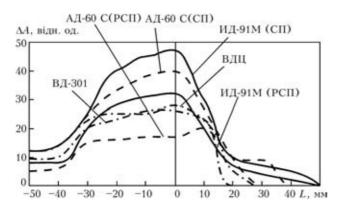


Рис. 7. Точки контролю в зоні тріщини



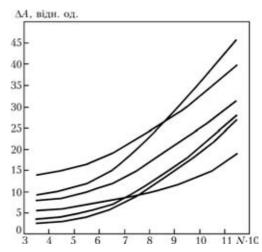
*Рис.* 8. Залежність амплітуди сигналів при скануванні робочої зони зразка ( $N=10^6$  циклів) різними засобами

фектоскопів ВД-3.01 і ВДЦ. При зменшенні навантажень (від  $N=1\cdot10^6$  до  $N=2,5\cdot10^5$ ) спостерігається пропорційне зменшення амплітуди ( $\Delta A$ ) для всіх засобів НК з побічною закономірністю відносно концентратора напружень. Залежності амплітуди сигналів від рівня навантаження для точки 0 робочої зони, відповідної концентратору, представлені на рис. 9.

З аналізу залежностей виходить, що найбільшу чутливість до втомних пошкоджень мають дефектоскопи ИД-91М і АД-60С з суміщеними перетворювачами (криві 1, 2) при деяких відхиленнях амплітуд сигналів на початковому і подальшому етапах навантажень. Сигнали вихрострумових дефектоскопів для прийнятих рівнів навантажень змінюються в незначній мірі (криві 4, 5), що може бути пов'язано зі зберіганням цілісності карбоволокон [5].

Тріщини і розшарування зразків при навантаженні спостерігали на зразках безпосередньо від концентратора напружень. При скануванні цих зон спостерігається зменшення інформаційного сигналу за рахунок впливу крайової зони. Максимальне значення сигналу  $\Delta A$  для дефектоскопів ИД-91М і АД-60С не перевищує 25 % шкали індикатора, але розподіл одержаних при скануванні сигналів по поверхні зразка в зоні розшарування має однозначну залежність зростання з характерним максимумом (рис. 8).

Зміни амплітуд сигналів при скануванні зони тріщини характеризуються більш симетричним розподілом показників відносно концентратора напружень.



*Рис. 9.* Залежність амплітуди сигналу при скануванні зразків від прикладеного навантаження: I — ИД-91 М (СП); 2 — АД-60 С (СП); 3 — ИД-91 М (РСП); 4 — ВД-3,01; 5 — ВДЦ; 6 — АД-60 С (РСП)

Результати сканування відповідають результатам спостережень, отриманих візуально-оптичним методом з деяким перевищенням розміру зон пошкоджень, що виявляються засобами НК. З результатів оцінки засобів контролю виходить, що найбільш інформативна оцінка пошкоджень досягається на певному віддаленні від крайової зони елемента конструкції (в даному випадку не менше 10 мм, що відповідає варіанту контролю робочої зони зразків). Найбільш чутливими засобами НК до порушень при втомі є імпедансні дефектоскопи з суміщеними перетворювачами, які бажано використовувати залежно від ступеня навантажень ( в даному випадку АД-60С або ИД-91М). Вихрострумові засоби контролю можна використовувати як додаткові для визначення цілісності карбоволокон.

При додатковому визначенні залишкової міцності елементів конструкцій після навантажень результати інструментального контролю пошкоджень можна використовувати для прогнозування технічного стану і визначення залишкового ресурсу конструкцій.

Проведен анализ состояния проблемы подтверждения выносливости авиационных конструкций из полимерных композиционных материалов в связи с их широким распространением для изготовления ответственных элементов. Вопросы оценки усталостной прочности являются актуальными при испытаниях и при эксплуатации конструкций.

Рассмотрены вопросы оценки усталостных повреждений конструкций из углепластиков при использовании неразрушающих методов контроля. Экспериментальные исследования проведены на образцах из однонаправленного углепластика КМУ-11Э-0.08 со стандартным концентратором напряжений. Образцы циклически нагружались чистым изгибом. Оценку разрушения проводили

### НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ



визуально-оптическим, акустическим и вихретоковым методами. Визуально-оптическим методом устанавливали момент зарождения и контролировали распространение усталостной трещины (рис. 1), расслаивание материала (рис. 2) и растрескивание матрицы (рис. 3). Для оценки повреждений приборами акустического и вихретокового контроля были определены зоны контроля — рабочая (средняя) зона (рис. 5), зоны расслоения (рис. 6) и трещины (рис. 7).

Наибольшая информативность о повреждениях получена при сканировании рабочей зоны образцов. Результаты сканирования отличаются в зависимости от типа дефектоскопа и первичного преобразователя (рис. 8). Величина амплитуды сигнала акустических дефектоскопов существенно изменяется при увеличении количества циклов нагружения. Незначительные изменения сигналов при вихретоковом контроле могут быть связаны с сохранением целостности карбоволокон при использованных нагружений. При сравнительной оценке средств контроля установлена наибольшая информа-

тивность о повреждениях импедансного метода при сканировании совмещенными преобразователями на определенном (в данном случае не менее 10 мм) расстоянии от краевой зоны элемента конструкции. Вихретоковый контроль может использоваться как дополнительный для определения нарушения целостности карбоволокон при значительных уровнях нагружений.

- 1. *Работников Ю. Н., Туполев А. А.* Применение углепластиков в конструкции летательных аппаратов // Механика композитных материалов. Рига. 1981. № 4. С. 657–667.
- 2. *Блэк С.* Проведение статических и усталостных испытаний для подтверждения выносливости конструкций // High Performance composites. 2003. № 1. P. 1–13.
- 3. Дефектология и обеспечение качества в производстве и эксплуатации авиационной техники / А. М. Овсянкин, И. П. Белокур, В. В. Лубяный и др. Киев, 2001. 148 с.
- 4. *Приборы* для неразрушающего контроля материалов и изделий: Ч. 2 / Под. ред. В. В. Клюева. М.: Машиностроение, 1986. 488 с.
- 5. *Фудзи Т., Язако М.* Механика разрушения композиционных материалов / Пер. с япон. М.: Мир, 1982. 232 с.

Нац. авіац. ун-т, АНТК ім. О. К. Антонова, Київ Надійшла до редакції 12.10.2006



### НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ «АЛТЕС»

105066, г. Москва, Токмаков пер., д. 14, стр. 3

Тел./факс: (495) 267-99-77, (495) 261-46-49, (495) 267-67-92, (495) 265-10-83, (495) 265-17-82

Научно-техническое предприятие **АЛТЕС** основано в 1991 г. **АЛТЕС** занимается разработкой и изготовлением оборудования автоматизированного, механизированного и ручного ультразвукового контроля, которое обеспечивает максимальную надежность, производительность и информативность процесса контроля качества при минимальном участии оператора-дефектоскописта.

В настоящее время в составе предприятия работают специалисты высшей квалификации по акустическому методу контроля, высококвалифицированные электронщики, программисты, конструкторы.

За достижения в области неразрушающего контроля ведущие специалисты предприятия награждены международной медалью «Рентген-Соколов».

Аппаратура, выпускаемая **АЛТЕС**, хорошо зарекомендовала себя в нефтегазодобывающей и перерабатывающей, химической промышленностях, на предприятиях Газпрома, заводах металлоконструкций, на транспорте, при строительстве мостов, в судостроении, в энергетике, авиации и пр.

АЛТЕС предлагает к внедрению: аппаратуру ручного контроля и комплекты ПЭП различного назначения, вспомогательную оснастку, СОП; механизированные установки УЗК; автоматизированные высокоскоростные установки и системы контроля в технологическом потоке производства различных изделий (труб, проката, листов и др.). Особой популярностью пользуется малогабаритная установка измерительная ультразвуковая серии «Сканер» — модель «Скаруч» (УИУ «Скаруч»), которая предназначена для оперативного обнаружения и определения характеристик дефектов в сварных соединениях и основном металле трубопроводов, сосудов и металлоконструкций с толщиной стенки 4...60 мм и проведения толщинометрии изделий толщиной до 100 мм. Установка используется для ручного и механизированного ультразвукового контроля и работает в режиме автоматической фиксации и расшифровки результатов контроля при ручном сканировании системой преобразователей, а также в режиме ручного дефектоскопа (толщиномера) общего назначения.

Установка прошла государственные испытания и имеет хорошие отзывы от предприятий различных отраслей, сертифицирована Госстандартом РФ и допущена к применению ГГТН РФ на подконтрольных объектах.

### **УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!**

Приглашаем Вас, посетить в 2007 году традиционную 9-ю выставку

### "НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ - 2007"

которая пройдет в рамках недели "Промышленные выставки" - 2007

### с 16 по 19 апреля

в выставочном центре

"КиевЭкспоПлаза"

### **ОРГАНИЗАТОР**

конференции-выставки "НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ-2007" АССОЦИАЦИЯ "ОКО"



Основные тематические разделы выставки:

Ультразвуковой контроль

Акустико-эмиссионный метод Вихретоковый контроль

Рентгенография

Капиллярная дефектоскопия

Магнитные методы

Тепловой контроль Вибродиагностика

The first announcement of the 9-th conference and exhibition "NDT-2007"

Для большей информации: Ассоциация "ОКО", а/я 31, г. Киев–111, 04111 т. (044) 531–37–27 (26) E-mail:ndt@ln.ua www.ndt.com.ua

### ВЫСТАВКА ПРОВОДИТСЯ ПРИ ПОДДЕРЖКЕ:

- Украинского общества неразрушающего контроля и технической диагностики;
- НТК "Института электросварки им. Е.О.Патона НАН Украины";
- Укрзализныци;
- НАЭК "Энергоатом";
- Национального авиационного университета;
- Ивано-Франковского национального технического университета нефти и газа;
- Госпотребстандарт Украины.

В рамках выставки

"НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ - 2007" состоится конференция

"НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ - 2007".

### Предусмотрено проведение отраслевых секций:

- ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ТРАНСПОРТ
- АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА
- АВИАЦИЯ
- НЕФТЕГАЗ
- ТЕПЛОВАЯ ЭНЕРГЕТИКА
- МАШИНОСТРОЕНИЕ И МЕТАЛЛУРГИЯ
- МЕТРОЛОГИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ НК
- СЕРТИФИКАЦИЯ ПЕРСОНАЛА НК.

На пленарном заседании и заседаниях секций специалисты неразрушающего контроля смогут заслушать доклады о новых технологиях неразрушающего контроля изделий и оборудования в различных отраслях, поделиться опытом в решении технологических проблем и задач.

Ждем Ваших заявок на участие, по ним будут высланы приглашения! В случае отсутствия приглашения вход в выставочный павильон платный.

### ВІТАЄМО ЛАУРЕАТІВ ДЕРЖАВНОЇ ПРЕМІЇ УКРАЇНИ!



ТРОЇЦЬКИЙ В. О.



НЕДОСЄКА А. Я.



ПІВТОРАК В. А.



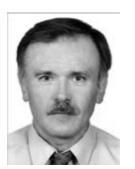
КАРПАШ О. М.



ЗІНЧАК Я. М.



ДЕВІН Л. М.



КУРИЛЯК Д. Б.



КРИНИЧНИЙ П. Я.

### УКАЗ ПРЕЗИДЕНТА УКРАЇНИ

Про присудження Державної премії України в галузі науки і техніки 2006 року

за розробку і впровадження засобів неруйнівного контролю і технологій технічної діагностики машинобудівного і нафтогазового обладнання тривалої експлуатації:

**ТРОЇЦЬКОМУ Володимиру Олександровичу** — докторові технічних наук, завідувачу відділу Інституту електрозварювання імені Є. О. Патона НАН України;

**НЕДОСЄЦІ Анатолію Яковичу** — докторові технічних наук, завідувачу відділу Інституту електрозварювання імені Є. О. Патона НАН України;

**ПІВТОРАКУ В'ячеславу Автономовичу** — кандидатові фізико-математичних наук, провідному науковому співробітникові Інституту електрозварювання імені  $\epsilon$ . О. Патона НАН України;

**КАРПАШУ** Олегу Михайловичу — докторові технічних наук, проректорові Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу;

**ЗІНЧАКУ Ярославу Михайловичу** — кандидатові технічних наук, заступникові директора Науководослідного інституту нафтогазових технологій Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу;

**ДЕВІНУ** Леоніду Миколайовичу — докторові технічних наук, провідному науковому співробітникові Інституту надтвердих матеріалів імені В. М. Бакуля НАН України;

**КУРИЛЯКУ Дозиславу Богдановичу** — докторові фізико-математичних наук, старшому науковому співробітникові Фізико-механічного інституту імені  $\Gamma$ . В. Карпенка НАН України;

**КРИНИЧНОМУ Петру Яковичу** — головному спеціалістові товариства з обмеженою відповідальністю «Науково-виробнича фірма «Зонд».

Президент України м. Київ, 20 грудня 2006 року № 1103/2006 В. ЮЩЕНКО

### ИТОГИ 9-й ЕВРОПЕЙСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ ПО НЕРАЗРУШАЮЩЕМУ КОНТРОЛЮ В БЕРЛИНЕ

#### А. Л. ШЕКЕРО

Очередное знаковое событие в мире неразрушающего контроля состоялось с <u>25 по 29 сентября</u> 2006 г. в Берлине. Около 1700 официальных участников со всех континентов собрались на 9-й Европейской конференции по НК, чтобы прослушать доклады специалистов и рассказать о своих достижениях по актуальным проблемам и новым направлениям в развитии методов НК, увидеть новейшие разработки приборов и материалов для НК, встретиться с коллегами и установить новые деловые контакты.

Четыре года напряженной работы Немецкого общества неразрушающего контроля (DGZfP) по организации конференции закончились великолепным финалом, который прошел в Estrel Convention Center — одном из самых больших выставочных комплексов Европы.

На 116 сессиях было представлено 507 устных и 216 стендовых докладов, которые проходили параллельно в восьми залах. Тематика докладов была посвящена теоретическим вопросам методов неразрушающего контроля (ультразвукового, акустической эмиссии, компьютерной томографии, цифровой радиографии, магнитного и вихретокового, инфракрасного, капиллярного, контроля герметичности, вибрационного анализа, визуального) и их практического применения.

Уже стало хорошей традицией для УО НКТД организовывать участие в европейских и всемирных конференциях по НК украинских специалистов — представителей коллективных членов Общества. Так, делегации УО НКТД принимали участие в 7-й (Копенгаген, 1998 г.) и 8-й (Барселона, 2002 г.) Европейских, а также в 15-й (Рим, 2000 г.) и 16-й (Монреаль, 2004 г.) Всемирных конференциях по неразрушающему контролю.

Украинское общество НКТД организовало поездку на 9-ю Европейскую конференцию делегации в составе 49 специалистов из 13 городов Украины, представляющих 28 предприятий и организаций.

Торжественная церемония открытия конференции состоялась в Большом зале Конгресс-центра 25 сентября.



 $\it Puc.~1.$  Президент EFNDT M. Farlet и председатель УО НКТД В. А. Троицкий

Традиционно перед началом заседания в зале проходили наши первые встречи с коллегами из других стран, среди которых президент Российского общества НКТД В. В. Клюев, президент Итальянского общества по НК G. Nardoni, президент EFNDT и Британского общества по НК M. Farley, президент ICNDT и Канадского общества по НК D. Marshall, президент Болгарского общества по НК M. Muxoвски, президент Чешского общества по НК P. Mazal, президент Хорватского общества по НК V. Krstelj, вице-президент Испанского общества НК J. Serrano, президент Молдавского общества НКТД А. А. Ткаченко, президент Белорусского общества НКТД Н. П. Мигун и др.

На церемонии открытия конференции выступили:

- Volkmar Strauch постоянный секретарь по экономике и окружающей среде мэрии Берлина, под патронатом которой проводилась конференция. Он передал приветствия участникам от мэра Берлина K. Wowereit и отметил DGZfP за его вклад в усиление роли Берлина как экономического, научного и информационного центра Европы;
- Jorg Volker президент DGZfP с удовольствием отметил большое количество участников и гостей конференции и приветствовал их, а также президентов 30 национальных обществ по неразрушающему контролю. Он наградил почетным знаком DGZfP H. S. Aisenbrey за его работу как члена правления и спикера Немецкого общества по НК и M. Farley «блестящего инженера с великолепной карьерой в промышленности» (как представил его J. Volker) за его исключительно добровольную и бесплатную работу в EFNDT и ICNDT и его вклад в укрепление сотрудничества между этими организациями.
- Президент Европейской федерации по НК (EFNDT) *М. Farley* передал поздравления участникам конференции от EFNDT ассоциации национальных обществ по НК, представляющих 29 европейских стран «от западного побережья до Урала». М. Farley пригласил делегатов конференции на стенд Европейской фе-



Рис. 2. Президент ISNDT D. Marshall (в центре) на стенде УО НКТД с М. Л. Казакевичем, В. А. Троицким, А. Л. Шекеро, Н. Г. Белым





Рис. 3. На стенде Украинского общества НКТД

дерации на выставке и интернет-сайт www.efndt.org. После этого Mike Farley представил лауреатов трех наград EFNDT: John Thompson (Великобритания) был награжден за системную работу в области сертификации персонала по НК, Giuseppe Nardoni (Италия) — за его приверженность идее углубления кооперации между обществами по НК во всем мире, Roger Roche (Франция) — за многолетний успешный труд в области стандартизации по НК;

• Президент Всемирного комитета по НК (ICNDT) D. Marshall выразил признательность за работу Европейскому сообществу по НК и отметил, что оно показывает пример и задает темп развития четырем другим региональным подразделениям ICNDT.

Далее заседания конференции проходили по тематическим секциям. Украинские ученые и специалисты подали на конференцию в общей сложности 18 докладов, из них 5 устных и 13 стендовых. Кроме того, они были среди авторов еще 3-х устных докладов, поданных от Германии и России.

К сожалению, не всем нашим авторам удалось посетить конференцию и представить свои доклады. И, тем не менее, приятно, что по общему количеству докладов, авторами которых являются украинские специалисты, наша страна занимает почетное 8-е место.

Среди украинских организаций, представивших доклады о проводимых в них разработках в области НК, выделяются Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, специалисты которого подготовили 5 докладов, а также НПФ «Специальные Научные Разработки» (4 доклада) и Физико-механический институт им. Г. В. Карпенко НАН Украины (3 доклада).

Из авторов следует отметить  $\Gamma$ . Я. Безлюдько — директора НПФ «СНР» — автора 4-х докладов в соавторстве с его коллегами из Украины и России, а также В. Н. Учанина — ст. науч. сотр. ФМИ им. Г. В. Карпенко НАН Украины, директора Центра «Леотест-Медиум» — автора 3-х докладов (один из них в соавторстве с немецкими учеными).

Если проанализировать статистику представленных на конференцию докладов, то становится очевидным, что наибольшую популярность среди исследователей, как всегда, имеет ультразвуковой метод контроля. 97 докладов (57 секционных и 40 стендовых) только в профильных секциях и еще несколько деберлине



Рис. 4. Л. П. Телипко, И. Я. Шевченко, А. Н. Козин, Н. Г. Белый знакомятся с экспонатами выставки

сятков в отраслевых и в секции «Преобразователи и сенсоры» тому неоспоримое подтверждение. Как правило, залы, где проводились заседания этих секций, были заполнены слушателями.

Особенно большой интерес специалистов вызвала секция «Применение технологии фазированных решеток в ультразвуковом контроле». Напомним, что особенность этого метода состоит в возбуждении ультразвуковой волны преобразователем, имеющим несколько малых по размерам пьезоэлементов, каждый из которых возбуждается электронным способом в заданное время. При этом в объекте возбуждается ультразвуковая волна, направление которой зависит от разности во времени возбуждения каждого пьезоэлемента в решетке, а ширина пучка на определенной глубине от количества пьезопластин, участвующих в возбуждении волны. Благодаря изменению времени задержки зондирующего сигнала, поступающего последовательно на элементы решетки, можно изменять направление ультразвукового пучка, обеспечивая тем самым прозвучивание определенного объема объекта контроля без перемещения преобразователя по его поверхности (например, сварного шва). Одними из лидеров в разработке этой технологии и аппаратуры для ее реализации являются канадская компания «R/D Tech», входящая в группу «Olympus NDT» (США), «GE Inspection Technology» (США), «HARFANG» (Канада), «Imasonic» (Франция). Доклады по этому направлению представили также специалисты из «Fraunhofer IZFP» (Германия), «BAM Berlin» (Германия), «Siemens Power Generation» (США), «Mitsui Babcock Energy» (Великобритания) и др.

Другой технологией, которая все шире используется в настоящее время, является метод «Time-of-Flight Dif-



Puc. 5. Члены делегации УО НКТД на 9-й Европейской конференции по НК в Берлине



fraction» (более известный как метод TOFD) для обнаружения и измерения размеров трещин на основе измерения времени прихода сигналов волн дифракции, возникающих на их кромках. Таким образом, благодаря точному измерению высоты трещины появляется возможность наблюдать за динамикой ее развития при экплуатации объекта и вовремя принимать решение о необходимости ремонта. Особенностям развития этого метода свои доклады посвятили авторы из «Technatom» (Испания), «METALSCAN» (Франция), University of Liverpool (Великобритания), «CETIM» (Франция) и др. Давно и успешно развивает метод TOFD компания «FORCE Technology» (Дания).

Интерес специалистов УЗ контроля вызвали доклады, касающиеся вопросов применения при УЗ контроле бесконтактных ЭМА-технологий на основе применения электромагнитоакустических преобразователей («Institut Dr. Foerster» (Германия), «Нординкрафт» (Россия), «STARMANS Electronics» (Чехия), «Сzech Technical University» (Чехия), «CISE SpA» (Италия), «ISQ Oeiras» (Португалия), «Вигор» (Россия)) и технологий УЗ контроля направленными волнами (дальнодействующий ультразвуковой контроль или низкочастотный ультразвук). Последняя технология используется для обнаружения в протяженных объектах на расстояниях до 50 м коррозионных поражений и дефектов, размер которых в поперечном сечении стенки составляет более 10 % от ее толщины. Собственно над уменьшением последней цифры и увеличением дальности действия и работают сейчас инженеры из компаний «TWI» (Великобритания), «Isotest» (Италия), «I&T Nardoni» (Италия), «Sonatest» (Великобритания), Каунасского университета технологий (Литва) и ряд других исследовательских институтов и компаний.

Интенсивные работы по изучению особенностей возбуждения и приема направленных ультразвуковых волн в длинномерных объектах проводятся в Институте электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, результаты которой докладывались на тематических научнотехнических семинарах, проводимых в рамках Международных промышленных форумов в Киеве в 2005 и 2006 гг.

В области радиографического контроля быстрыми темпами развивается технология цифровой радиографии, которой была посвящена отдельная секция, включавшая 15 секционных и 8 стендовых докладов. Метод основан на записи прошедшего рентгеновского или гамма-излучения на флуоресцентную запоминающую пластину многократного использования с последующим считыванием лазерным сканером и преобразованием в цифровое изображение. При этом дозы облучения значительно меньше тех, которые используются при экспонировании обычной рентгеновской пленки, с изображением можно работать как с обычным компьютерным файлом, уменьшается стоимость контроля, т. к. полученную информацию с пластины можно стирать и использовать ее многократно (более тысячи раз). Разрешающая способность полученного изображения несколько ниже, чем у мелкозернистой рентгеновской пленки, но над устранением этого недостатка работают специалисты, занятые разработкой и изготовлением флуоресцентных запоминающих пластин. Специалисты с большой заинтересованностью отнеслись к докладам по результатам работ в области цифровой радиографии, выполненными в «BAM Berlin», «YXLON International X-Ray GmbH» (Германия), «TWI Ltd», «Fraunhofer EZRT» (Германия), «CEA-LETI/DSIS» (Франция).

Стендовый доклад, посвященный результатам работ НТЦ радиационного приборостроения НТК Ин-т монокристаллов НАН Украины по разработке сцинтилляторно-фотодиодных детекторов для современных многоканальных низкоэнергетических радиационных средств визуализации скрытого изображения был представлен А. Ополониным.

В области вихретокового контроля (секции «Магнитные и электромагнитные методы», «НК в авиакосмической отрасли», «Определение характеристик материалов» и др.) в общей сложности было представлено более 40 докладов (второй результат после УЗ контроля), что подтверждает популярность за рубежом этого метода для выявления поверхностных и подповерхностных дефектов, измерения толщины покрытий, определения свойств материалов.

В Украине применение этого метода пока в основном ограничивается объектами атомной энергетики и авиастроения. Основным разработчиком этого метода контроля в Украине является ФМИ им. Г. В. Карпенко **НАН Украины** и лично В. Н. Учанин — канд. техн. наук, один из ведущих специалистов этого института, успехи которого в разработке вихретоковых преобразователей хорошо известны в Европе. Вот и на этот раз большой интерес на секции «Магнитные и электромагнитные методы контроля» вызвал немецко-украинский доклад, посвященный разработке аппаратуры для увеличения глубины проникновения вихревых токов в подповерхностный слой изделия, одним из авторов которого является В. Н. Учанин. Необходимо отметить и успехи НПФ «Промприбор» (Киев) в разработке современных вихретоковых дефектоскопов и специализированных ВТ-систем. Одна из таких систем для автоматизированного ВТ-контроля труб из нержавеющей стали рассматривалась в стендовом докладе, представленном на конференции.

Если говорить о развитии технологий ВТ-контроля в европейских институтах, то исходя из материалов конференции в Берлине, ведущую роль здесь занимают немецкие — «Fraunhofer IZFP», «Institut Dr. Foerster», «University of Kassel», «University of Hannover», «University of Magdeburg и французские — «Intercontrole», «Saclay», «Arcelor Research», «LGEP» исследовательские организации.

Упомянутая выше тематика является лишь малой частью интересных и перспективных направлений, нацеленных на повышение достоверности, надежности и информативности методов неразрушающего контроля.

Для детального ознакомления с докладами обращайтесь по адресу в Интернете: http://www.ndt.net/se-arch/keywords.php3?MainSource=40.

Здесь по ключевым словам даны ссылки на полные тексты докладов (на английском языке).

Параллельно с заседаниями секций около 100 экспонентов представляли свои разработки на выставке, размещенной в нескольких залах **Estrel Convention Center** на стендах общей площадью 1500 м<sup>2</sup>. Кроме того, на информационных стендах свои страны представляли 22 национальных общества по НК, а также EFNDT и ICNDT.



Что сразу же бросилось в глаза на выставке — это отсутствие самостоятельных стендов многих известных компаний, таких как «AGFA», «Everest», «Panametrics», «Hocking» и некоторых других. Дело в том, что в мире продолжается тенденция слияния компаний, производящих средства для НК и их объединения под флагом более крупных компаний. Так, компания «GE Inspection Technologies» (США) представляет теперь брэнды: «AGFA NDT», «Everest VIT», «Hocking NDT», «Krautkramer», «Seifert», а компания «Olympus NDT» (США) — тороговые марки: «R/D Tech», «Panametrics», «Sonic», «Nortec», «NDT Engineering».

Компании, представившие самые большие стенды:

- «Sonatest NDE Group» (Великобритания) ультразвуковые дефектоскопы и толщиномеры, оборудование для радиографического контроля, системы НК на базе современных технологий, сканеры, полный диапазон преобразователей и принадлежности для контроля (калибровочные образцы, контактные жидкости, материалы для капиллярного и магнитного контроля и др.);
- «Olympus NDT» (США) системы контроля, основанные на современных технологиях, таких, как ультразвуковые фазированные и вихретоковые решетки, программы для сбора и обработки данных контроля, традиционные ультразвуковые дефектоскопы и толщиномеры, широкий спектр ультразвуковых (включая иммерсионные, с линией задержки, для метода TOFD, типа фазированной решетки, высокочастотные) и вихретоковых преобразователей, калибровочные образцы;
- «GE Inspection Technologies» (США) средства для основных методов НК: ультразвукового (включая системы УЗ контроля на базе фазированных решеток), удаленного визуального, радиографического и вихретокового;
- «YXLON International X-Ray GmbH» (Германия) образована в 1998 г. путем слияния компаний «Philips Industrial X-Ray GmbH» (Германия) и «Andrex AS» (Дания) и специализируется в радиографическом контроле. Производит портативные системы для эксплуатационного контроля трубопроводов, стационарные рентгеновские аппараты, а также специализированные системы, интегрированные в производственную линию:
- «RTD Group» (Нидерланды) сервисная компания, специализирующаяся на выполнении эксплуатационного контроля и мониторинга промышленных объектов, а также на изготовлении преобразователей, средств радиационной гигиены и обучении;
- «Kodak GmbH» (Германия) системы цифровой радиографии, фосфорные пластины, рентгеновская пленка и другое оборудование для радиографического контроля;
- «Fuji Photofilm» (Europe) GmbH» (Германия) современные цифровые радиографические системы, пленки, химикаты, машины для обработки пленок.

Кроме продукции, представленной на стендах этих фирм, традиционно большой интерес посетителей вызвали средства контроля, которые представляли компании:

• «FORCE Technology» (Дания) — оборудование и системы для автоматизированного ультразвукового и вихретокового контроля при производстве и эксплуа-

тации, среди которых получившая мировое признание система УЗК «P-scan 4»);

- «Helling GmbH» (Германия) оборудование, материалы и образцы для магнитного и капиллярного контроля;
- «IMASONIC S.A.» (Франция) ультразвуковые преобразователи (обычные и на фазированных решет-ках):
- «Institut Dr.Foerster GmbH» (Германия) вихретоковые дефектоскопы и преобразователи, металлодетекторы и магнитометры;
- «MR Chemie GmbH» (Германия) —материалы и оборудование для капиллярного и магнитного контроля (включая специальные очистители и средства защиты поверхности);
- «Olympus Industrial» (Великобритания) оборудование для удаленного визуального контроля;
- «Phoenix Inspection Systems Ltd.» (Великобритания) специализированные сканеры, ультразвуковые преобразователи (в том числе для метода «ТОFD» и на основе фазированной решетки), системы контроля для атомной и тепловой энергетики, нефтехимии, железной дороги и авиастроения;
- «Physical Acoustics Ltd.» (Великобритания) системы для контроля методом акустической эмиссии;
- «ScanMaster Systems (IRT) Ltd.» (Израиль) системы для ручного и автоматизированного ультразвукового контроля, УЗ преобразователи;
- «SHERWIN BABBCO» (Франция) (цветные и люминесцентные пенетранты, магнитные порошки и др. материалы для магнитопорошкового и капиллярного контроля, а также контактные жидкости для ультразвукового контроля;
- «SOCOMATE International» (Франция) электронные компоненты и компьютеризированные системы ультразвукового контроля для специальных применений;
- «Tiede CmbH» (Германия) намагничивающие и размагничивающие устройства, расходные материалы для магнитного и капиллярного контроля и др. принадлежности и инструменты для МТ и РТ;
- «TWI, Ltd.» (Великобритания) Британский институт сварки представлял результаты исследований, выполненных в рамках двух Европейских проектов: «LRUCM» мониторинг состояния протяженных объектов с ограниченным доступом к поверхности посредством использования технологии дальнодействующего ультразвука (в работах по проекту принимает участие и Украинское общество НКТД) и «FilmFree» развитие метода цифровой промышленной радиографии путем создания новых технологических решений, которые позволят заменить традиционную пленочную в нефтегазовой, нефтехимической и энергетической отраслях, а также на железной дороге и в авиастроении;
- «Varian, Inc.» (Италия) оборудование для контроля герметичности портативные высокочувствительные масс-спектрометры и детекторы течей;
- «ZETEC Inc.» (США) стандартные вихретоковые дефектоскопы и системы, реализующие технологию вихретоковой решетки, ультразвуковые дефектоскопы, включающие технологию фазированных реше-



### ХРОНИКА И ИНФОРМАЦИЯ

ток, компьютерные системы сбора и обработки данных УЗ и ВТ контроля, вихретоковые преобразователи и зонды для контроля трубок, ультразвуковые фазированные решетки.

К сожалению, здесь невозможно привести полный список всех компаний, участвовавших в выставке и предлагаемого ими оборудования, хотя стенды большинства из них были не менее интересны.

Остановимся еще на нескольких фактах. Самой многочисленной (почти 50 % выставочной площади) была экспозиция немецких компаний (хозяев Европейской конференции). Почти четверть стендов (23 компании) приходилось на долю Великобритании и Франции. Остальные 25 % распределились среди других странучастниц.

Если суммировать эти показатели и статистику научной программы конференции, то можно сделать объективный вывод, что именно эти страны (Германия, Великобритания и Франция) занимают лидирующее положение в Европе в области развития технологий и оборудования для неразрушающего контроля.

Как представляется, не совсем объективными являются показатели США и России, и уж совсем удивляет отсутствие компаний из бурно развивающегося Китая. Что касается США, то собираясь в Европу, они явно решили завоевывать потребителей «не количеством, а качеством». Чего стоят такие гранды, как «Olympus NDT», «GE Inspection Technologies», «ZETEC Inc.». Ну, а истинный потенциал Китая и России в области неразрушающего контроля можно будет воочию увидеть в 2008 и 2010 гг. соответственно на 17-й Всемирной (в Шанхае) и 10-й Европейской (в Москве) конференциях по НК.

Как всегда на европейских и всемирных конференциях в отдельном разделе выставки были представлены национальные общества по неразрушающему контролю — Австрии, США, Белоруссии, Болгарии, Бразилии,

Великобритании, Венгрии, Германии, Греции, Дании, Испании, Италии, Китая, Нидерландов, Норвегии, Польши, России, Румынии, Франции, Хорватии, Чехии и, конечно, Украины, а также организации, их объединяющие — Европейская федерация по НК (EFNDT) и Международный комитет по НК (ICNDT).

В организации украинского стенда на выставке приняли участие ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины, Национальный авиационный университет, ГП «Завод им. В. А. Малышева», Ивано-Франковский НТУ нефти и газа, НПФ «Колоран» и Институт угольной промышленности «УкрНИИпроект», Центр «Леотест-Медиум», которые предоставили иформационные материалы на стенд.

Традиционно для таких форумов в рамках 9-й Европейской конференции состоялись заседания Европейской федерации по НК (EFNDT) и Всемирного комитета по НК (ICNDT).

Для участников конференции был организован торжественный прием, который прошел в Конгресс-центре Estrel с театрализованной шоу-программой в стиле Берлина 20-х годов и концерт камерной музыки в Берлинском кафедральном соборе.

Закрывая конференцию, *J. Volker* — президент 9-й Европейской конференции по НК — выразил уверенность в том, что все доклады и дискуссии, встречи представителей разных организаций, совещания международных организаций по НК, состоявшиеся на протяжении недели в Берлине, дадут новый импульс развитию неразрушающего контроля во всем мире. А президент EFNDT *M. Farley* сказал, что успех конференции превзошел все его ожидания и суммировал впечатления одним словом: «ВЕЛИКОЛЕПНО»!

Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, Киев

### НОВАЯ КНИГА

Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин: 3б. ст. — Київ: IE3, 2006. — 604 с., формат 60584/8, тверда обкладинка, ISBN 966-8872-04-5.

До збірника ввійшли статті, які підготовлені за результатами цільової комплексної програми НАН України «Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин», отриманими впродовж 2004—2006 рр., до реалізації якої було залучено 22 інститути НАН України. Мета програми — розробка методологічних основ прогнозування залишкового ресурсу конструкцій, створення методів, технічних засобів і технологій для оцінки технічного стану та подовження термінів експлуатації техногенно та екологічно небезпечних об'єктів.

Для наукових співробітників, інженерів, студентів старших курсів, зайнятих розробкою та експлуатацією конструкцій, споруд та машин.





# 14-Я МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ-ВЫСТАВКА «СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И СРЕДСТВА НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ»

Ялта, 16-20 октября 2006 г.

С 16 по 20 октября 2006 г. в г. Ялте проходила 14-я Международная конференция и выставка «Современные методы и средства неразрушающего контроля и технической диагностики». Организаторы конференции: УИЦ «НАУКА. ТЕХНИКА. ТЕХНОЛОГИЯ» (г. Киев) и НПП «Машиностроение» (г. Днепропетровск) при поддержке обществ неразрушающего контроля Украины, России и Беларуси, а также Днепропетровского национального университета.

### Генеральный спонсор — МЧТПП «ОНИКО» (г. Киев).

В работе конференции приняли участие 132 специалиста: от Украины (99), России (19), Беларуси (5), Литвы (4), Чешской Республики (2), Германии (3). Из них 40 участников представляли промышленные предприятия, 21 — вузы,

НИИ и КБ, 51 — представители научно-производственных фирм, 18 — представители экспертных и диагностических центров.

На конференцию было представлено 10 пленарных, 26 секционных и 21 стендовых докладов, авторы которых доложили о результатах своих исследований и разработок по широкому спектру методов НК, способам диагностирования и прогнозирования остаточного ресурса конструкций; по оценке физико-механических характеристик материалов и некоторым другим направлениям, связанных с НК и ТД. Тезисы докладов опубликованы в сборнике материалов конференции (печатный и электронный варианты), ознакомиться с которым можно в секретариате УО НКТД и в УИЦ «НАУКА. ТЕХНИКА. ТЕХНОЛОГИЯ» (тел./факс: (044) 573-30-40, e-mail: office@conference.kiev.ua).

Об основных итогах работы в 2006 г. и основных задачах УО НКТД на 2007 г. доложил заместитель председателя правления *Мозговой А. В.* Год был очень насыщенным — организация и проведение 5-й Национальной и участие в 9-й Европейской конференциях большой делегации украинских специалистов, региональные семинары, многочисленные выставки и много других интересных мероприятий.

Наши гости тепло приветствовали участников конференции. С интересными докладами о последних достижениях, представляемых ими организаций, выступили:

- проф. М. Крёнинг (Германия), который рассказал о новых разработках, выполненных Фраунгоферовским институтом, а также выразил готовность сотрудничать в направлении проведения научно-исследовательских работ, стажировки студентов, аспирантов, обмена специалистами;
- А. К. Вощанов (Россия) обстоятельно презентовал НУЦ «Сварка и контроль» МГТУ им Н. Э. Баумана в области создания новых средств и технологий НК, ди-



агностике оборудования, подготовке, аттестации и сертификации специалистов. Представленная в докладе структура, давно известная специалистам, в т. ч. и украинским, является, наверное, наиболее оптимальной с точки зрения эффективности. Очень похожая структура создана в Ивано-Франковске, который превращается в серьезный центр по вопросам НК и ТД;

- подробный доклад *Р. Гиза* (Германия) был посвящен рентгеновскому методу контроля и успехам, достигнутым GEIT (США) в этом направлении;
- И. Шимкунас, генеральный директор службы технадзора Литвы, поделился опытом проведения НК и ТД в условиях работы в ЕС, а также предложил, как организация, аккредитованная в соответствующих органах ЕС, свои услуги украинским предприятиям, выпускающим продукцию по контрактам с европейскими странами;
- И. Б. Московенко (Россия), являющийся автором технологии НК абразивов с использованием метода интегральных свободных колебаний, в своем докладе рас-





сказал о достигнутых результатах и перспективах развития акустических методов контроля физико-механических и эксплуатационных характеристик огнеупорных и углеграфитовых изделий в металлургии;

• Н. Г. Медведевских (Белоруссия) поделилась опытом работы экзаменационного центра в структуре Словацкого промышленного института сварки и органа по сертификации персонала NDT и настоятельно рекомендовала украинским аттестационным центрам следовать их примеру, так как это наиболее быстрый и экономичный способ получения нашими специалистами сертификатов, признаваемых в Европе.

Отметим несколько докладов, в которых рассмотрены проблемные вопросы, представляющие интерес для широкого круга специалистов.

Как уже отмечалось, в последнее время значительное внимание уделяется мониторингу состояния технических (и не только) объектов в процессе их эксплуатации (функционирования), включающего в себя, помимо традиционных контроля и диагностики, также вопросы обнаружения и оценки параметров аномальных участков, определения ресурса и прогнозирования поведение исследуемых объектов на основании исследования неразрушающими методами изменений их характеристик во времени и в пространстве при минимальном объеме априорной информации об объекте мониторинга, в т. ч. при отсутствии привычных эталонов качества (дефектов). Решение этой проблемы обусловило необходимость решения целого ряда задач, связанных с необходимостью получения достоверной информации в ходе мониторинга и её эффективной обработкой.

Большие успехи достигнуты в этом направлении с помощью бурно развивающегося в последние годы теплового контроля, который соответствует основным требованиям, предъявляемым к средствам мониторинга высокой информативности, бесконтактности и возможности осуществления наблюдения непосредственно в процессе эксплуатации. Искреннее уважение слушателей вызвал доклад докт. техн. наук лауреата Государственной премии О. Н. Будадина о современных достижениях в теории, технологии и внедрении теплового контроля в различных отраслях промышленности. Значительных успехов в этом направлении добились специалисты харьковской школы, возглавляемой докт. техн. наук проф. Стороженко В. А., доложившего о новых разработках в области термографии при решении задач энергоаудита и НК радиоэлектронных узлов.

В докладе В. П. Малайчука, А. В. Мозгового, С. М. Клименко, посвященному ультразвуковому контролю труб, впервые решена задача их безэталонной дефектоскопии на основе предложенного ранее авторами общего подхода.

Уже несколько лет в печатных изданиях на конференциях, семинарах обсуждаются вопросы определения зон с повышенными значениями напряженно-деформированного состояния металла. У большинства специалистов не вызывает сомнения, что для ферромагнитных материалов наиболее перспективным является магнитный метод. Однако на вопрос, какой параметр магнитного поля является наиболее информативным, единого мнения нет. Так, и на этой конференции были представлены доклады, в которых рассматривались различные подходы: А. А. Дубовым, В. И. Загребельным ис-



следовалась взаимосвязь величины напряженности магнитного поля и ее градиента с остаточными напряжениями, В. В. Котельниковым — коэрцитивная сила.

В. Ф Мужицким впервые предложен многопараметровый метод, основанный на совместном комплексном использовании коэрцитивной силы, величины магнитных шумов и поля остаточной намагниченности металла, применение которого позволило значительно уменьшить ошибку полученных результатов.

Ю. К. Бондаренко рассмотрен феноменологический подход к построению экспертных систем для оценки состояния конструкций с истекшим сроком эксплуатании.

С. Р. Игнатовичем, И. М. Закиевым и В. И. Закиевым описан в докладе разработанный ими впервые в Украине и реализованный на практике метод регистрации поверхностного рельефа объектов в нанометровом диапазоне.

Высокий уровень разработок методов, средств и технологий НК труб в Днепропетровске подтвердили в своих докладах А. П. Тимощенко, А. А. Крылов.

Концепцию управления системой качества испытаний объектов повышенной опасности, основные задачи и направления ее развития в Госнадзорохрантруда Украины предложил Ю. Б. Еськов. Актуальность этого вопроса обусловлена практически полным износом действующего оборудования и недостатком средств на его замену или реконструкцию. К уже существующим подсистемам аттестации лабораторий и сертификации персонала добавляются подсистемы аттестации средств НК и ТД и экспертизы методик испытаний. По нашему мнению эффективность этого прогрессивного предложения значительно усилится, если будут учтены опыт и знания специалистов НК и ТД, объединяемых УО НКТД, посредством создания в Госнадзорохрантруда Украины Совета по НК и ТД, как это сделано, например, в России.

Очень интересно прошло заседание секции, посвященной вопросам подготовки, аттестации и сертификации специалистов НК и ТД, по окончанию которой В. И. Радько был проведен семинар по обмену опытом между экзаменаторами различных систем сертификации стран СНГ.

К большому сожалению практически не было докладов, сделанных специалистами моложе 30 лет. Об этом говорилось и при подведении в рамках 5-й Национальной конференции итогов конкурса в номинации



«Молодые ученые». Оргкомитет конференции, обеспокоенный этим фактом, обращается к руководителям кафедр ведущих украинских вузов, готовящих специалистов по специальности НК и ТД, руководителям академических научно-исследовательских организаций с просьбой обратить внимание и дать возможность доложить о результатах своих исследований своим молодым сотрудникам. Со своей стороны оргкомитет вместе со спонсорами при подготовке 15-й конференции сделает все возможное, чтобы создать для этой категории докладчиков максимально льготные экономические условия участия.

В рамках конференции проходила выставка средств для НК и ТД, в работе которой как экспоненты приняли участие: НПП «Машиностроение», МЧТПП «ОНИ-КО» (Киев), ООО «Интек» (Санкт-Петербург), компания «Карл Цейсс» (Москва), Компания «Сперанца», Компания «Нординкрафт» (Череповец), ЧП «Арматор» (Днепропетровск), НПП «ИНТРОН-СЭТ» (Донецк), ООО «Шерл», ООО «Олимпас», ИП «СЖС-Украина», ОАО «Белкард» (Гродно), ООО «ДДАП-РАКС» (Днепродзержинск), НПП «Кодер» (Днепро-

петровск», ООО «Звук» (Санкт-Петербург) и др. Информацию о своей работе представили: НТК «Солар-1» (Харьков), ЗАО НУЦ «Сварка и контроль» (Москва), ЭКО-Центр (Таганрог), ЦСКБ «Прогресс» (Самара), ЗАО «ВИМАТЕК» (Москва), Институт «ВЕМО» (Москва), ФГУП «ВИАМ» (Москва), ЗАО «НИ-ИИН МНПО «СПЕКТР» (Москва) и др.

Участники конференции тепло поздравили наших юбиляров *Н. Г. Белого* (ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины) с 70-летием, *В. Г. Шкоду* (ЗАО «Донецксталь») с 60-летием, а от имени оргкомитета *З. Ю. Главацкая* под аплодисменты вручила им подарки.

От имени оргкомитета выражаем благодарность спонсорам конференции и в первую очередь фирме МЧТП «Онико» и надеемся, что они, и не только они, будут и в дальнейшем принимать такое же активное участие в проведении наших конференций.

До встречи в Ялте на 15-й конференции с 1 по 5 октября 2007 г.

Информационное сообщение подготовлено 3. Ю. Главацкой, А. В. Мозговым, А. Л. Шекеро



### ИТОГИ ПРОВЕДЕНИЯ «ПЕРВОГО МЕЖДУНАРОДНОГО КОНКУРСА ПО НЕРАЗРУШАЮЩЕМУ КОНТРОЛЮ» В УКРАИНЕ

Национальная ассоциация контроля и сварки (НАКС) при поддержке Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору, Федерального агентства по образованию РФ, Министерства промышленности и энергетики РФ, Государственного департамента промышленной безопасности, охраны труда и горного надзора Украины, ОСП «Промбезопасность», Департамента по надзору за безопасным ведением работ в промышленности и атомной энергетики МЧС Республики Беларусь при информационной поддержке журналов «В мире неразрушающего контроля», «Техническая диагностика и неразрушающий контроль» и украинского информационного центра «НАУ-КА. ТЕХНИКА. ТЕХНОЛОГИЯ», в январе – феврале 2007 года провели «Первый международный конкурс по неразрушающему контролю».

Региональным отделением, отвечающим за проведение конкурса в Украине, стал **ООО** «Приднепровский аттестационный центр неразрушающего контроля и технической диагностики», на базе которого 22–23.01.2007 г. проходил первый отборочный тур конкурса по четырем методам неразрушающего контроля (визуальному и измерительному, ультразвуковому, радиографическому и капиллярному).

Победили в первом туре конкурса ведущие специалисты II и III уровней квалификации крупнейших предприятий Украины: **ОАО** «**Азовобщемаш**», **ООО** 

«Приднепровский центр диагностики объектов и сооружений», ООО СП «ТЮФ НОРД ДИЕКС», ГП «Приднепровский экспертно-технический центр» соответственно:

**Дружинин В. И.** (ультразвуковой метод); **Иващенко Л. М.** (радиографический метод); **Килименко К. В.** (капиллярный метод); **Лымарь А. Л.** (визуальный и измерительный метод).

Все участники первого тура получили дипломы, памятные сувениры и сертификаты на право бесплатной ресертификации по данному методу в течении 3-х лет. Победители и призеры первого тура получили сертификаты на право бесплатной подготовки, аттестации и сертификации по методу НК в системе сертификации ОСП «Промбезопасность» в течении 3-х лет.

Победители приглашены принять участие во втором туре конкурса, который проводится в Москве 12–16.02.2007 г. в НОАП «СертиНК».

Хотелось, чтобы этот конкурс стал хорошей традицией в мире неразрушающего контроля и предлагаем провести следующий конкурс в Украине.

Информационное сообщение подготовлено зам. председателя жюри конкурса О. В. Ушаковой

### НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕМИНАР НПФ «ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ» В РАМКАХ 5-го ПРОМЫШЛЕННОГО ФОРУМА

С 28 ноября по 1 декабря 2006 г. в Международном Выставочном Центре (Киев) прошел 5-й Промышленный Форум, включающий в себя ряд промышленных выставок различной направленности. Важное место среди них уже традиционно занимает выставка «Образцы и Стандарты», значительный раздел которой посвящен неразрушающему контролю и технической диагностике. Экспонентами выставки были Украинское общество неразрушающего контроля и технической диагностики, региональные подразделения Укрметротестстандарта Украины, а также предприятия и организации: НПП «Машиностроение», НПФ «Диагностические приборы», НПФ «Ультракон», ЧП «Арматор», МНЧП «ОНИКО» и многие другие. В рамках выставки и форума проведено два тематических семинара по неразрушающему контролю.

29 ноября **НПФ** «Диагностические приборы» провела специализированный семинар, на котором представила своих партнеров и их продукцию для украинских потребителей.

В течение 10 лет **НПФ** «Диагностические приборы» обеспечивает отечественные предприятия высококачественными средствами НК и ТД. Представители компаний-партнеров и сотрудники предприятия познакомили участников семинара с новой техникой и технологиями.

После сообщения о деятельности **НПФ** «Диагностические приборы» (докладчик А. В. Павлий, ген. директор предприятия), А. Степчков (Кодак, Москва) представил доклад о продукции КОДАК для неразрушающего контроля, а именно о технических рентгеновских пленках, материалах для обработки и оборудовании. Особое внимание докладчика было обращено на такие новинки, как новая рентгеновская пленка HS 800, однокомпонентные универсальные реактивы для обработки пленки и др.

Новая рентгеновская пленка HS 800 для контроля изделий с использованием флуоресцентных экранов уже активно используется потребителями в Украине и других странах. В течение 2006—2007 гг. КОДАК активно работает над оптимизацией процессов проявки рентгеновской технической пленки. Итоговым результатом этой работы стал выход на рынок универсального однокомпонентного проявителя для обработки пленки в ручном и в автоматическом режимах.

Отдельно А. Степчков отметил перспективы перехода на беспленочные технологии — цифровую радиографию. Компания освоила производство оборудования и расходных материалов для этой цели. Российский партнер КОДАК — группа **Тестрон**, уже сертифицировала и предлагает своим потребителям системы цифровой радиографии на основе оборудования и материалов КОДАК. Также А. Степчков с удовлетворением констатировал успехи Компании КОДАК в Украине, которые достигнуты в сотрудничестве с национальным дистрибьютором — предприятием ДП-**ТЕСТ**.

Выступление г-жи Л. Е. Мстибовской (С.-Петербург, группа Тестрон) с интересом ожидали многие специалисты, приехавшие в Киев специально для участия в семинаре. Очень квалифицированно и просто было рассказано об оборудовании для радиационного неразрушающего контроля, которое разработано и выпускается этим российским предприятием. На сегодня в производственной программе — весь возможный спектр оборудования для радиационного контроля: моноблочные системы типа Ратмир, генераторы с водяным охлаждением Инровольт; стационарные системы типа Экстравольт; рентгентелевизионная техника и системы для цифровой радиографии Фосфоматик. Особое внимание уделено особенностям использования оборудования и применимости его для решения различных задач. За короткое время Тестрон стал лидером российского рынка оборудования в области радиационного контроля. Его оборудование эксплуатируется во многих странах мира, в т. ч. и в Украине. С 2006 г. НПФ «Диагностические приборы» стала эксклюзивным представителем компании Тестрон в Укра-

Г-н С. Сачетти (Everest int., Германия) представил продукцию компании Эверест — оборудование для оптических методов контроля. Гибкие и жесткие эндоскопы, большой выбор видеоскопов, техника для дистанционного контроля (ZOOM-камеры) и вспомогательное оборудование. Широкая производственная программа позволяет решать широкий спектр задач диагностики в различных отраслях промышленности. Компания Эверест стала частью ведущего мирового бренда неразрушающего контроля GE IT.

Еще один доклад, который с особым интересом ждали участники семинара — презентация новых материалов и техники для капиллярного и магнитного неразрушающего контроля от компании **MR-Chemie**.  $\Gamma$ -н  $\Gamma$ .-Ю. Брандт, генеральный директор фирмы, рассказал о материалах и оборудовании, производимых фирмой, и представил новые разработки. Сейчас MR-Chemie один из лидеров украинского рынка материалов для капиллярной дефектоскопии. В сотрудничестве с НПФ «Диагностические приборы», MR-Chemie в течении 9 лет предлагает украинским потребителям высококачественные материалы для цветной и люминесцентной дефектоскопии, магнитные суспензии, вспомогательное оборудование. Начиная с 2007 г., по просьбе НПФ «Диагностические приборы», компания MR-Chemie наладила выпуск продукции с этикетками на украинском и русском языках. Сейчас предприятие предлагает линии для капиллярной дефектоскопии, магнитопорошкового контроля, а также освоен выпуск портативных намагничивающих устройств и ультрафиолетовых ламп с уникальными характеристиками. Особый интерес вызвал вопрос организации автоматических и полуавтоматических линий капиллярного контроля.

Зам. директора НП $\Phi$  «Диагностические приборы» A.~H.~Koзuн подробно рассказал об особенностях изме-

### ХРОНИКА И ИНФОРМАЦИЯ



рения твердости металлов с помощью твердомеров швейцарской фирмы **ERNST**. Об этих приборах можно прочитать в журнале «Диагностические приборы. Средства и технологии неразрушающего контроля»  $N \ge 1/2006$ , с. 16–19, 26–28.

Сотрудник НПФ «Диагностические приборы» Т. Господарисько рассказал о средствах ультразвуковой дефектоскопии и толщинометрии, а именно о проекте EINSTEIN — совместном продукте предприятия ДП-ТЕСТ и индийской компании МОДСОНИК. Также были представлены ультразвуковые толщиномеры и дефектоскопы DAKOTA ULTRASONIC. Особый интерес вызвал ультразвуковой толщиномер MVX, реализующий не только цифровые измерения толщины, но и А/В-сканы, что существенно расширяет возможности прибора. А при подключении наклонного совмещенного преобразователя прибор превращается в простейший ультразвуковой дефектоскоп. Еще один доклад *А. Н. Козина* был посвящен продукции **Института Ферстера** — ведущего производителя автоматизированных систем контроля металлопродукции в условиях ее производства.

Зам. директора НРФ «Ультракон» С. Н. Глабец сообщил о серийно выпускаемых успешных портативных приборах производства НПФ «Ультракон» и новых разработках собственных и партнерских компаний. Особый интерес вызвали динамические твердомеры серии ТД-32 и твердомер ТЭМП 4К компании Технотест М.

После семинара гости и участники в уютной дружеской атмосфере отпраздновали десятилетие деятельности **НПФ** Диагностические приборы.

Информационное сообщение подготовил А. В. Павлий

# НПФ «ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ» Украинский информационный центр «НАУКА.ТЕХНИКА.ТЕХНОЛОГИЯ» ЧП «ДП-ТЕСТ» при участии

### УКРАИНСКОГО ОБЩЕСТВАО НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

приглашают Вас принять участие с 21 по 28 апреля 2007 г. в г. Шарм-Эль-Шейх (Египет)

В

# 5-й научно-практической конференции «Организация неразрушающего контроля качества продукции в промышленности»

Тематика конференции:

- ✓ Общие вопросы неразрушающего контроля качества и сертификации продукции
- ✓ Нормативно-техническое обеспечение деятельности служб НК
- ✓ Приборное оснащение лабораторий НК
- ✓ Вопросы подготовки и аттестации специалистов, аккредитация подразделений НК

Конференция пройдет в конференц-зале гостиницы Savita Resort 5\*, расположенной на берегу Красного моря.

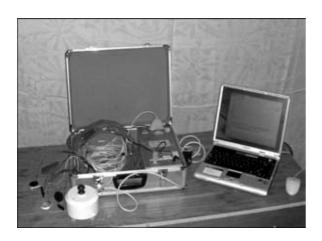
Для участников конференции с докладами и сопровождающих лиц предусмотрены скидки.

Для включения доклада в программу конференции необходимо выслать тезисы доклада объемом 1 стр., или доклад объемом не более 3-4 стр. на электронный адрес: dp-test@ndt-ua.com

### НОВОСТИ

ИЗМЕРИТЕЛЬНО-ДИАГНОСТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС «РЕСУРС» ДЛЯ ТЕПЛОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ КОТЛОВ, КОТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ТРУБОПРОВОДОВ

Исходя из состояния экономики Украины и ее энергетических ресурсов актуальна проблема продления ресурса действующего энергетического оборудования при одновременном снижении тепловых потерь через их теплоизоляционные конструкции. Для своевременного определения мест потери тепла, оперативного контроля теплоизоляционных характеристик материалов,



используемых при ремонтно-восстановительных работах, и установления соответствия их действительных значений рекламируемым необходима аппаратура для измерения теплопотерь и термического сопротивления. Для решения этой задачи учеными Института технической теплофизики НАН Украины создан универсальный измерительный комплекс «Ресурс». Эта разработка базируется на 50-летнем опыте по созданию приборов для прямых измерений плотности теплового потока, температуры и теплофизических свойств.

Компьютеризированный измерительный комплекс «Ресурс» предназначен для определения тепловых потерь энергетических объектов, термического сопротивления и коэффициента теплопроводности теплоизоляционных материалов и покрытий. Он позволяет закрыть приборную нишу по энергетическому аудиту. Этим комплексом целесообразно оснастить энергогенерирующие компании, коммунальные предприятия, службы энергонадзора и сертификационные центры. Целесообразно определить новые нормативные значения теплопотерь водонагревательных котлов от внешнего охлаждения.

ЭКСПЕРТНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ПОТОЧНОГО МО-НИТОРИНГА РЕАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ И ОБЕС-ПЕЧЕНИЯ ЦЕЛОСТНОСТИ ТРУБОПРОВОДОВ С ЦЕЛЬЮ ПРОДЛЕНИЯ ИХ РЕСУРСА

Магистральные трубопроводы, являющиеся линейно-удлиненными децентрализованными промышленными объектами, в процессе эксплуатации подвергаются длительным повторно-статическим нагрузкам, техногенным влияниям и влиянию окружающей среды. Именно такие

условия эксплуатации вызывают технологические отказы, а в отдельных случаях серьезные аварии трубопроводов. Обеспечение надежной и эффективной работы магистральной трубопроводной системы вместе с ростом производственной информации требует от оператора эффективного и качественного решения как текущих, так и перспективных задач. В связи с этим многие предприятия в своей работе используют технологии географических информационных систем. Однако они выполняют информативную роль и не являются инструментом для выдачи управленческих решений.

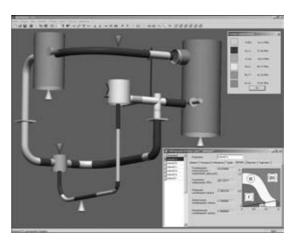
Учеными Института проблем прочности им. Г. С. Писаренко НАН Украины разработана методология и создана экспертная система для поточного мониторинга реального состояния трубопроводов с использованием идеологии риск-анализа как наиболее эффективной стратегии обеспечения надежности.

Разработанная экспертная информационно-аналитическая система предназначена для выполнения трех основных функций: интеграции данных (сбора и сбережения информации об объектах трубопроводной системы, режимах нагружения, расчетов давлений и т. п.), расчетов рисков (напряженно-деформированного состояния трубопровода, оценки опасности дефектов, расчетов вероятности разрушения дефектов, определения социальных и экономических последствий от разрушения трубопровода) и управления рисками (уменьшения риска определенными эксплуатационными средствами).

В настоящее время система внедряется в  $\Gamma K$  «Укртрансгаз».

ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ ТРУБОПРОВОДОВ АЭС С УЧЕТОМ ИХ ФАКТИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ С ПО-МОЩЬЮ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА «3D PipeMaster»

При анализе состояния оборудования атомных электростанций (АЭС) особое внимание уделяется проведению прочностных поверочных расчетов трубопроводов, подверженных комплексному нагружению (внутреннее давление, весовые, температурные и компенсационные нагрузки). Сложная пространственная конфигурация оси трубопровода в сочетании с высокой степенью статической неопределимости делает эту задачу





весьма сложной. Наличие трения в опорах, необходимость учета которых обусловлена требованиями действующих норм, приводит к нелинейной задаче, что еще более усложняет расчеты как минимум на порядок.

При наличии в трубопроводе дефекта дальнейший прочностной анализ обычно выполняется путем рассмотрения участка трубопровода как оболочки, находящейся в заданном глобальном поле нагружения. Современные требования к анализу состояния оборудования АЭС предполагают наличие компьютерных программ, в рамках которых предусмотрены:

- визуализация компьютерного портрета трубопроводной системы;
- оперативное выполнение расчетов на прочность при изменениях в рабочем режиме или схеме трубопровода;
- индивидуальная оценка опасности обнаруженных дефектов при реальных условиях нагружения;
- хранение и обработка данных результатов расчета для принятия аргументированных решений относительно остаточного ресурса трубопровода, объемов диагностики, периодичности и первоочередности ремонтных работ.

Учеными Института проблем прочности им. Г. С. Писаренко НАН Украины разработаны методологические основы построения компьютерной системы для оценки реального состояния, остаточной прочности и долговечности сложных пространственных трубопроводных систем действующих АЭС.

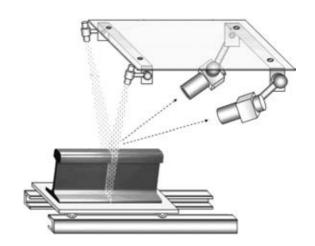
Разработана компьютерная система и программный комплекс «3D РіреМаster» для оценки реального состояния, остаточной прочности и долговечности сложных пространственных трубопроводных систем с учетом основных факторов нагружения и наличия дефектов. Для расчета глобального напряженного состояния трубопроводной системы используется метод начальных параметров. Оценка дефектов выполняется с применением двухкритериального подхода, в котором для нахождения расчетных параметров используются разработанные авторами решения. Для хранения всей информации о трубопроводе особое внимание в программе уделено созданию общей базы данных.

АТЛАС ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ДЕФЕКТОВ В ТЕПЛООБМЕННЫХ ТРУБАХ ПАРОГЕНЕРАТОРОВ ЭНЕРГОБЛОКОВ АЭС С РЕАКТОРАМИ ТИПА ВВЭР

Группой ученых ННЦ «Харьковский физико-технический институт» НАН Украины создан атлас эксплуатационных дефектов в теплообменных трубах парогенераторов, выявленных и проконтролированных на демонтированном парогенераторе Южно-Украинской АЭС на различных этапах (в парогенераторе, после вырезки, после дезактивации). Дефекты были выявлены вихретоковым контролем, систематизированы, а затем исследованы металлографически. Установлены четыре типа дефектов: коррозионные язвы, растрескивание, одиночные трещины, пятна коррозии. Физическая природа всех типов поражений определена как коррозионное растрескивание под нагружением. Такое распределение дефектов по типам, которое дает представление о степени их опасности, целесообразно при контроле и глушении дефектных трубок.

ТЕЛЕВИЗИОННАЯ СЕНСОРНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОЦЕНКИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОФИЛЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ РЕЛЬСОВ

Основанием для продления срока службы железнодорожных путей могут стать результаты метрологических измерений и неразрушающего контроля рельсов. В комплекс мероприятий по определению состояния пути входят измерения геометрии каждого рельса отдельно, а также расстояние между ними. Для количественного измерения геометрии рельсы моделируются в виде линий в трехмерном пространстве, которые затем проецируются на двухмерные плоскости. По завершении измерений каждый результат, представляющий интерес или вызывающий тревогу, локализуется по его фактическому местоположению.



Применяемые в настоящее время технические средства контроля наиболее часто используют механические датчики с подвижными контактами, которые находятся в постоянном соприкосновении с рельсами. По перемещению контактов определяются геометрические параметры пути. Такие системы представляют собой существенный прогресс по сравнению с ручными измерительными средствами. Однако системы, в которых используются контактные датчики, имеют общий недостаток — они не могут обеспечить достаточную точность измерений при движении вагона-путеизмерителя с высокой скоростью, поскольку в этих условиях не сохраняется постоянный контакт датчиков с рельсами. Поэтому для получения искомых значений параметров геометрии пути наиболее целесообразно использование средств технического зрения.

Специалистами ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины разработаны аппаратные и программные средства телевизионной сенсорной системы для автоматической оценки геометрии профиля железнодорожных рельсов. Предложены конструкционные решения для сенсорного блока системы, включающей два измерительных оптических канала, которые основаны на методе лазерной триангуляции. Разработана методика калибровки сенсорного блока с помощью плоского шаблона и построено математическое обеспечение для реконструкции профиля рельсов по двум цифровым изображениям.

Разработанные аппаратные и программные средства макета телевизионной сенсорной системы могут быть использованы при создании промышленных образцов систем автоматической диагностики параметров железнодорожных путей.

### ПО СТРАНИЦАМ ЖУРНАЛА «ДЕФЕКТОСКОПИЯ» (РФ) за 2006 г.\*



Аврамевко В. Г., Лебедев О. В., Будадин О. Н., Абрамова Е. В. Применение метода эталонного слоя для определения теплофизических характеристик материалов многослойных структур, N = 10.

Акопьян В. А., Наседкин А. В., Рожков Б. В., Соловьев А. Н., Шевцов С. Н. Влияние геометрии и способов подключения электродов на электромеханические характеристики перестраиваемых по частоте дисковых пьезоэлементов, N 5.

**Антипов В. С., Васильев В. Д., Удралов Ю. И.** Радиографический контроль сварных швов. Параметры контроля,  $N \ge 2$ .

**Артемьев Б. В., Маслов А. И.** Возможности многоэлектродных гетерогенных ионизационных камер для рентгеновской толщинометрии, N = 5.

Астафьев А. Н., Неволин О. В., Мамай А. М., Мутяченко О. В., Астафьев Н. А., Неволин В. О. Универсальная приставка для стандартных ультразвуковых дефектоскопов и толщиномеров, № 7.

**Базулин А. Е., Базулин Е. Г.** О возможности использования в ультразвуковом неразрушающем контроле метода максимальной энтропии для повышения разрешающей способности эхосигналов, № 9.

**Базулин Е. Г.** Повышение отношения сигнал/шум при совместном использовании методов экстраполяции и расщепления спектра, № 1.

**Бархатов В. А.** Распознавание дефектов с помощью искусственной нейронной сети специального типа, № 2.

**Бархатов В. А.** Обнаружение сигналов и их классификация с помощью распознавания образов, № 4.

**Барыкин Н. П., Садыков Ф. А., Лопатин Н. В., Фазлыахметов Р. Ф.** Оценка структуры антифрикционного слоя в подшипниках скольжения паровых турбин эхоимпульсным методом контроля, N 1.

**Батраков** Д. О., Головин Д. В. Радиоволновой метод обнаружения и идентификации проницаемых включений в слоисто-неоднородных средах, № 2.

**Бенин А. В.** Анализ применения метода акустической эмиссии для лабораторных испытаний железобетонных конструкций, № 12.

**Бехер С. А., Тениталов Е. С.** Зависимость числа импульсов АЭ при механических испытаниях колец подшипников буксового узла,  $\mathbb{N}_2$  8.

**Бида Г. В.** Магнитный контроль глубины и твердости поверхностно упрочненных слоев на изделиях (Обзор),  $N_{2}$  5.

**Бида Г. В.** Магнитный контроль качества закаленных и отпущенных деталей из углеродистых и низколегированных сталей (Обзор), № 7.

**Боченин В. И.** Экспресс-анализ влажности формовочных смесей радиоизотопным способом, N 6.

Будадин О. Н., Потапов И. А. Теоретические основы ультразвукового неразрушающего контроля многослойных изделий из композитов с резиноподобным покрытием. І. Моделирование процесса возбуждения и распространения упругих волн вдоль в цилиндрической оболочке, № 11

Будадин О. Н., Потапов И. А. Теоретические основы ультразвукового неразрушающего контроля многослойных изделий из композитов с резиноподобным покрытием. П. Рассеяние упругих волн на дефектах типа «непроклей» между слоями пластика и между пластиком и резиноподобным покрытием, № 12.

Буденков Г. А., Недзвецкая О. В., Злобин Д. В., Мурашов С. А. Взаимодействие крутильных волн с продольными трещинами труб, № 6.

**Буйло С. И.** Связь параметров акустической эмиссии растущей трещины с коэффициентом интенсивности напряжений и типом напряженного состояния, № 3.

**Вавилов В. П.** Феноменологическое исследование пространственно-временной эволюции апериодических энергетических сущностей методом инфракрасной томографии (Томский феномен), N = 4.

Васенёв Ю. Г., Ермолов В. Б., Мельник В. И. Проблемы дефектоскопии деталей колесных пар подвижного состава, № 8.

**Ватульян А. О., Беляк О. А.** К реконструкции малых полостей в упругом слое, № 10.

**Вей Лявь, Ке Пейвен, Янь Гань.** Ультразвуковое обнаружение дефектов в нефтепроводах с использованием резонансного фильтра, № 6.

**Вей Лянь, Ке Пей-вен, Жянг Ки, Янь Гань.** Ультразвуковое обнаружение дефектов нефтепровода в вязкоупругой среде, N = 10.

Владимиров А. П., Горкунов Э. С., Еремин П. С., Задворкин С. М. Оценка микроискажений кристаллической решетки в стали ШХ15 оптоакустическим велосиметрическим методом, N 9.

**Волковас В., Дулявичус И.** Применение акустической эмиссии для регистрании трещинообразования в крыльчатках турбонасосных агрегатов, № 4.

**Глазков Ю. А.** Технологические особенности подготовки деталей к контролю капиллярными люминесцентными методами, № 8.

Глазков Ю. А., Пономарева О. В., Хролова О. Р. Технологические особенности контроля деталей капиллярным люминесцентным методом ЛЮМ33-ОВ, № 11.

**Горкунов** Э. С., Митропольская С. Ю., Алексиев А. Влияние пористости слоев на магнитные свойства многослойных ферромагнитных изделий, N 5.

<sup>\*</sup> Продолжение в следующих выпусках «ТДиНК»



### КАЛЕНДАРЬ КОНФЕРЕНЦИЙ И ВЫСТАВОК ПО НК В 2007 г.

ООО «ИНТРОН-СЭТ Лтд» предлагает принять участие в работе постоянно действующего демонстрационного зала (полная информация о новых материалах, приборах неразрушающего контроля и технической диагностики: УЗ толщиномерах, дефектоскопах, твердомерах, виброметрах, измерителях прочности бетона и многом другом.

**Информация:** тел.: (062) 345-00-82, -83, -84; www.intron-set.com.ua, e-mail: entron@skif.net

#### АПРЕЛЬ

**16.04—19.04**: 9-я Конференция-выставка «Неразрушающий контроль — 2007», Киев, Украина. *Организаторы*: УИЦ «НАУКА.ТЕХНИКА.ТЕХНОЛОГИЯ», Ассоциация «ОКО».

**Информация**: тел./факс: (+380 44) 531-37-27; ndt@ln.ua, www.ndt.com.ua

17.04—18.04: Науково-практичний семінар «Стан і перспективи забезпечення промислової безпеки в нафтогазовій галузі України» в рамках науково-технічної конференції «Ресурсозберігаючі технології в нафтогазовій енергетиці», Івано-Франківськ, Україна. Організатор: Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу.

**Інформація**: тел.: (3422) 4-20-15; mkarpash@nung.edu.ua, http://www.nung.edu.ua

**21.04—28.04**: 5-я Научно-практическая конференция «Организация неразрушающего контроля качества продукции в промышленности», г. Шарм-эль-Шейх, Египет. *Основной организатор*: НПФ «Диагностические приборы».

**Информация**: тел./факс: (+380 44) 247-67-18; support@ndt-ua.com, www.ndt-ua.com

**24.04–25.04**: Шоста науково-технічна конференція «Приладобудування: стан і перспективи», Київ, Україна. *Організатор*: Національний технічний університет України «КПІ», Приладобудівний ф-т.

Інформація: тел.: (044) 454-95-47, (044) 241-77-01; psnk@ntu-kpi.kiev.ua

### МАЙ

15.05—18.05: 6-я Международная выставка и конференция «Неразрушающий контроль и техническая диагностика в промышленности — NDT Russia», СК «Олимпийский», Москва, Россия. *Организаторы*: Российское общество НК и ТД, ООО «ПРИМЭКСПО» (Санкт-Петербург), компания ITE Group PLC (Лондон). **Информация**: ndt@primexpo.ru, www.primexpo.ru.

#### июнь

12.06—15.06: 22-я Национальная конференция с международным участием «Неразрушающий контроль — 2007», посвященная 45-й годовщине Болгарского общества по НК, Созополь, Болгария. *Организаторы*: Болгарское общество по НК, Институт механики. **Информация**: nntdd@imbm.bas.bg, nntdd@abv.bg

#### СЕНТЯБРЬ

**26.09–28.09**: 5-й Международный форум «Топливно-энергетический комплекс Украины: настоящее и будущее», Киев, Украина. *Организатор*: Международный выставочный центр.

**Информация**: тел./факс: (+38044) 201-11-57; www.tech-expo.com.ua/eng/pz, silova@iec-expo.com.ua

### ОКТЯБРЬ

**01.10–05.10**: 15-я Международная конференция и выставка «Современные методы и средства неразрушающего контроля и технической диагностики», Ялта, Украина. *Основной организатор*: УИЦ «НАУКА. ТЕХ-НИКА. ТЕХНОЛОГИЯ».

Информация: тел./факс: (+38044) 573-30-40, office@conference.kiev.ua, www.conference.kiev.ua

#### НОЯБРЬ

**05.11–09.11**: European NDT Days in Prague 07, Prague, Czech Republic. Organizers: Czech Society for NDT, Germany Society for NDT, European Federation for NDT. **Информация**: Tel.(+420) 541 143 229; fax (+420) 541 143 231; endtd07@cndt.cz; www.cndt.cz/endtd07/

**27.11–30.11**: 6-й Международный промышленный форум — 2007, в рамках которого состоится выставка **«Образцы, стандарты, эталоны, приборы»** и семинар по неразрушающему контролю, Киев, Украина. *Организатор*: Международный выставочный центр при поддержке Минпромполитики Украины, Госпотребстандарта Украины, Украинского общества НК и ТД. **Информация**: Тел./факс: (+380 44) 201-11-57; www.tech-expo.com.ua/eng/pz, silova@iec-expo.com.ua

### **ДЕКАБРЬ**

**05.12–06.12**: 5-я Специализированная выставка «Сварка» (оборудование, инструменты, материалы для сварки, резки, пайки) и 1-я Специализированная выставка «Контроль и диагностика». *Организатор*: Екатеринбург, Россия.

**Информация**: Уральские выставки 2000, тел.: (343) 355-51-74; vystavka@r66,ru; www.uv2000.ru





### V Всеукраїнський з`їзд якості

17-18 травня 2007 р., м. Київ

Головне завдання з `їзду-обговорити досягнення і проблеми у сфері якості та виробити загальнонаціональні підходи щодо суттєвого поліпшення якості продукції і послуг, підвищення досконалості і конкурентоспроможності українських підприємств і організацій, покращення життя громадян України.

Організатори з'їзду: Українська асоціація якості, Український союз промисловців і підприємців, Держспоживстандарт України, Держпідприємництва України за сприяння Міністерства економіки України, Міністерства промислової політики України, Міністерства праці та соціальної політики України, Міністерства оборони України, Міністерства транспорту та зв'язку України, Федерації професійних спілок України, Національної академії наук України та інших державних та громадських організацій, за підтримки Європейської організації якості.

Шановні колеги! Оргкомітет з'їзду запрошує вас взяти участь у підготовці та роботі з'їзду. Нас цікавить ваша думка щодо досягнень у сфері якості в Україні, які заслуговують на підтримку та подальший розвиток, а також ваше бачення головних проблем та конкретних удосконалень, що могли б покращити ситуацію в цій сфері. Ваші пропозиції будуть враховані при формуванні програми та проекту резолюції з'їзду.



### Інформаційні партнери

Генеральний інформаційний спонсор

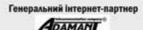


Ексклюзивний інформаційний спонсор



















ТЕНИРЕСКИЯ ДИЯГНОСТИКА И НЕРКОРАЦИЮЩИЙ КОПТРОВ-









Оргкомітет V Всеукраїнського з'їзду якості пр-т Академіка Глушкова, 40, м. Київ, 03680 тел./факс (044) 522-59-28, 522-36-01, 526-11-72 E-mail: ntz@quality.kiev.ua
Web: uaq.org.ua



### ПОЗДРАВЛЯЕМ ЮБИЛЯРА!

16 января 2007 г. исполняется 90 лет со дня рождения доктора технических наук, профессора, члена-корреспондента Национальной академии наук Беларуси, лауреата Государственной премии БССР 1976 г., известного ученого в области физики неразрушающего контроля и технического электромагнетизма Николая Николаевича Зацепина.

Николай Николаевич родился в с. Стежки Дегтянского района Тамбовской области. После окончания в 1940 г. Педагогического института им. К. Либкнехта (г. Москва) работал преподавателем физики и математики. Как участник Великой Отечественной войны награжден орденами «Красной Звезды», «Трудового Красного Знамени», «Отечественной войны II степени» и 6 медалями.

В 1952 г. окончил аспирантуру при Институте физики металлов АН СССР в г. Свердловске и работал в этом институте до 1970 г. ученым секретарем, старшим научным сотрудником и заведующим лабораторией. В 1953 г. защитил кандидатскую диссертацию на тему «Исследования магнитного поля поверхностных дефектов ферромагнитных тел и некоторых магнитных методов их обнаружения», в 1967 г. — докторскую диссертацию на тему «Исследования электромагнитных процессов в проводящих средах и разработка многопараметровых методов контроля изделий».

В 1970—1980 гг. Н. Н. Зацепин возглавлял Отдел физики неразрушающего контроля АН БССР, организовав постановку и проведение исследований по развитию целого ряда направлений неразрушающего контроля. Результатом этого периода деятельности Н. Н. Зацепина явилось формирование научной школы в области физики и техники неразрушающего контроля в БССР, признание ее достижений научной общественностью в стране и за рубежом, принятие правительственными структурами решения о преобразовании Отдела физики неразрушающего контроля в Институт прикладной физики, первым директором которого он был назначен и руководил им до 1987 г.

Н. Н. Зацепиным разработаны научные основы нелинейной магнитостатики и нелинейной магнитодинамики с учетом эффекта вихревых токов и магнитного гистерезиса, получен ряд важных результатов по динамике процессов перемагничивания, разработаны селективные многопараметровые методы измерения магнитных и электрических свойств ферромагнитных материалов. Под его руководством и непосредственном участии развиты электромагнитные методы неразрушающего контроля с учетом нелинейности перемагничивания ферромагнетиков. Получены важные результаты в развитии метода высших гармоник. Разработана теория высших гармонических составляющих ЭДС преобразователей при одновременном намагничивании ферромагнетика переменным и постоянным магнитными полями, а также при двухчастотном и импульсном намагничивании. Установлены закономерности изменения обратимой магнитной проницаемости материалов от величины и направления внешнего магнитного поля, обнаружен нелинейный эффект упреждения перемагничивания поверхностных слоев ферромагнитных тел с большим коэффициентом размагничивания. Широкое развитие получили работы по феррозондовой дефектоскопии. Созданные электромагнитные приборы для контроля механических свойств и дефектоскопии изделий нашли широкое применение на предприятиях Беларуси и за ее пределами.

Огромная творческая энергия, целеустремленность, уникальная работоспособность и, конечно же, талант ученого предопределили те весомые результаты, которых достиг Николай Николаевич. Им опубликовано 7 монографий, более 300 научных работ, 120 авторских свидетельств и патентов на изобретения. Свои знания и опыт охотно передает молодежи — им подготовлено более 25 кандидатов и докторов технических наук.

Н. Н. Зацепин принимает активное участие в научно-организационной работе. Он создал в Институте прикладной физики и многие годы возглавлял специализированный совет по защитам диссертаций по специальностям «Методы контроля и диагностика в машиностроении» и «Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий». Продолжает активно участвовать в работе этого Совета, а также Ученого совета института.

В настоящее время, сохраняя завидную энергию и работоспособность, Н. Н. Зацепин вносит большой вклад в проведение научно-исследовательских работ своего детища — Института прикладной физики НАН Беларуси, являя собой яркий пример творческого долголетия.

Отделение физико-технических наук НАН Беларуси, редколлегия журнала «Весці НАН Беларусі» (Серыя фізіка-тэхнічных навук), коллеги и друзья горячо и сердечно поздравляют Николая Николаевича Зацепина с 90-летием и желают юбиляру крепкого здоровья, счастья и благополучия!





### УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ ДЕФЕКТОСКОПЫ GE INSPECTION TECHNOLOGIES

### Ультразвуковой дефектоскоп Phasor XS с фазированной решеткой

Новейшая разработка GE Inspection Technologies — ультразвуковой дефектоскоп с фазированной решеткой Phasor XS соответствует самым высоким современным требованиям НК. Этот прибор использует технологию, основанную на применении фазированной решетки, на новом уровне и делает ее более доступной. Phasor XS — портативное и прочное устройство, которое отличается простотой, удобством в эксплуатации и практичностью.

### Применение

- Аэрокосмическая промышленность
- Автомобильная промышленность
- Нефть и газ
- Электроэнергетика
- Транспорт

### Преимущества

- Повышение вероятности обнаружения несплошностей
- Повышение производительности и качества контроля
- Использование в местах с затрудненным доступом
- Полная информация о координатах и размерах дефекта

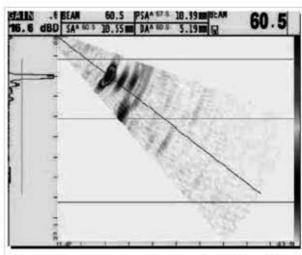


Рис. 1 Пример индикации: А-развертка + секторное изображение

### Характеристики

- Фазированная решетка, объединенная со стандартным ультразвуковым дефектоскопом
- Масса дефектоскопа менее 4 кг
- Электронное управление углами расхождения пучка, фокусировкой и размером
- Одновременное диагностирование несколькими пучками из одной точки
- Полноцветный секторный дисплей реального времени с выбором одномерного сканирования
- Прочный корпус (пыле- и влагозащищенный), способный выдержать нагрузки при работе в полевых условиях
- Хранение изображений участков и одномерного сканирования
- ◆ Совместим с 8-, 16-, 32-, и 64-элементными преобразователями-решетками
- Встроенный калькулятор времени задержки
- ◆ Перенос изображений (JPEG) на карту формата SD, VGA вывод, RS 232

Параметры	Традиционный дефектоскоп	С фазированной решеткой			
Количество циклов	1	128 (макс)			
Частота следования импульсов	15 2000 Гц	15 7680 Гц			
Тип генератора	Пиковый	Биполярный прямоугольный сигнал			
Число фокальных законов	1	128			
Напряжение на генераторе	300 В (макс)	+/-25 B +/-75 B			
Частоты	0.3 15МГц (-3дБ)	0.510МГц			
Представление	двухполупериодное детектирован полуволне	ие, детектирование по положительной или отрицательной			
Отсечка	080%				
BP4	16 точек (max) — 6дБ/мкс				
Скорость звука	1000 - 15000 m/c				
Размеры (ШхВхГ)	282x171x159 mm				
Стробы	A, B	A, B, IF			
Тип сканирования	Не применяется	Линейное и секторное			
Индикация	А – скан	А-скан, В-скан, секторное и линейное изображение			

«Компания Сперанца» — официальный дистрибьютор GE Inspection Technologies (подразделение Krautkramer)

Адрес: а/я 5, 4 ОС, г. Желтые Воды, Днепропетровская обл., 52200

Тел.: 05652 28273, тел./факс: 05652 20633, email: ndt@speranza-ua.com



### ИЭС, АО «ВИДЕОТОН» ПРЕДСТАВЛЯЕТ

# СИСТЕМА НЕПРЕРЫВНОГО МОНИТОРИНГА ОБОРУДОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ (ТРУБОПРОВОДОВ ЦЕХА ПРОИЗВОДСТВА АММИАКА ОДЕССКОГО ПРИПОРТОВОГО ЗАВОДА



Рис. 1. Контроль теплообменника: на переднем плане виден АЭ датчик



Рис. 2. Приборы EMA 3C для контроля оборудования и трубопроводов цеха производства аммиака



*Рис. 3*. Общий вид цеха производства аммиака

Специалистами **Института электросварки им. Е. О.** Патона **НАН Украины**, **АО «Видеотон»** разработана и совместно со специалистами **Одеского припортового завода** запущена система АЭ мониторинга отдельных технологических трубопроводов контура синтеза в цехе производства аммиака. Взяты под контроль трубопроводы, теплообменники, конверторы, реактор вторичного реформинга, коллектор.

Впервые в промышленности Украины методом акустической эмиссии контролируются изделия, рабочая температура стенки которых достигает 500 °C.

Датчики АЭ сигналов установлены на специально разработанные волноводы, которые обеспечивают вынос датчика АЭ из зоны высокой температуры. Геометрическая форма и размеры волноводов создают эффект «акустической линзы» в заданном частотном диапазоне, что фактически не вносит затухания и искажения формы принимаемого сигнала.

Уникальный монтаж и прокладка линий связи в зоне высоких температур обеспечивают передачу сигналов АЭ от приемных преобразователей к блоку регистрации и обработки сигналов, а затем передачу первичной информации в центральный сервер лаборатории НК и ТД Одесского припортового завода.

Специальные реализованные программы диагностического комплекса, алгоритмы контроля обрабатывают текущую информацию, а специальные критерии позволяют оценить предельно допустимые режимы эксплуатации изделий.

Программное обеспечение построено на основе компонентной технологии, позволяющей легко наращивать возможности системы мониторинга и предназначено для:

управления диагностической аппаратурой в процессе испытаний и обработки результатов испытаний;

определения в процессе испытаний координат развивающихся дефектов, прогнозирования разрушающей нагружи на ранних этапах нагружения.

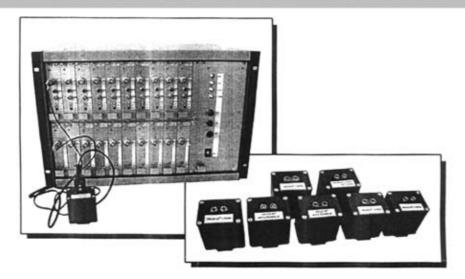
Программное обеспечение позволяет после испытаний моделировать их повторно, изменяя настроечные параметры аппаратуры и уточняя принимаемые решения

Результаты испытаний могут быть представлены в виде разнообразных таблиц или графиков (в полнофункциональном графическом редакторе), а также размещены в Интернет. Сохраняются результаты испытаний в файлах или в базе данных, где их обработка может быть выполнена на основе сложных запросов — выборок. По результатам испытаний программа за несколько минут автоматически создает оформленный в соответствии с принятыми стандартами отчет.

ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины, Киев Предприятие «Индпром», Киев Одесский припортовый завод, г. Южный Тел./факс: (044) 271-25-88 E-mail: ned@paton.kiev.ua



### Многоканальный программно-аппаратный комплекс (МПАК) «МЕГАСКАН-ЭМА» для бесконтактного ультразвукового контроля с применением электромагнитоакустических преобразователей



#### Назначение комплекса

Реализация функций приборно-измерительного комплекса в автоматизированных установках, предназначенных для *бесконтактного ультразвукового неразрушающего контроля изделий сложной формы*, в т. ч. и составных.

#### Функциональная основа комплекса

Бесконтактный электромагнитоакустический (ЭМА) метод, обеспечивающий:

- ввод сдвиговых поляризованных УЗ колебаний по нормали к поверхности;
- ввод сдвиговых УЗ колебаний, распространяющихся под углом 45° к поверхности контроля;
- возбуждение рэлеевской (поверхностной) волны в массе контролируемого изделия.

### Особенности применения комплекса

Выявление дефектов металлоизделий сложной формы проводится *без механической зачистки поверхностей в зонах контроля, без применения контактной экидкости*, а также в широком диапазоне температур поверхности изделий.

### Описание комплекса «МЕГАСКАН-ЭМА»

- В составе комплекса применяются ЭМА преобразователи следующих типов:
- ЭМА-преобразователь для возбуждения УЗ колебаний по нормали;
- ЭМА-преобразователь для возбуждения УЗ колебаний под углом 0, 45, 90°;
- преобразователи для возбуждения волны Рэлея;
- комбинированные ЭМА-преобразователи, возбуждающие одновременно УЗ колебания по нормали и под углом 45°.
- Аппаратура комплекса обеспечивает возбуждение различных типов волн в широком диапазоне частот.
   Количество каналов для каждого типа волн не ограничено и может колебаться в зависимости от потребности заказчика
- Акустический блок управляется вычислительным комплексом (ВК), позволяющим реализовывать следующее:
- обработку сигналов, полученных с предварительных усилителей в реальном масштабе времени;
- автоматическое определение координат расположения дефектов;
- документирование результатов контроля.
- Программно-аппаратный комплекс «МЕГАСКАН-ЭМА» может быть интегрирован как в существующие, так и во вновь создаваемые автоматизированные установки по неразрушающему контролю (АУНК) изделий сложных форм. Например, в АУНК колесных пар подвижного состава как на движущихся поездах, так и на ремонтных предприятиях железнодорожного транспорта.



### Основные технические характеристики

Частоты УЗК по каналам, МГц  – прямой канал  – наклонный канал  – канал Рэлея	2,0 1,0; 2,0 0; 0,5; 0,25
Частота следования зондирующих импульсов, кГц  – прямой и наклонный канал  – канал Рэлея	1,0 0,3
Угол ввода УЗК, град  прямой канал  наклонный канал  канал Рэлея	0 45 90
Чувствительность к дефекту	Выявляется плоскодонный отражатель диаметром 2 мм на глубине 50 мм
Чувствительность приемного тракта по каждому из каналов, мкВ, не хуже	1
Амплитуда зондирующих импульсов по каждому каналу не менее, В	1000
Номинальная потребляемая мощность, В×А, не более	150
Габариты акустического блока	450×315×315

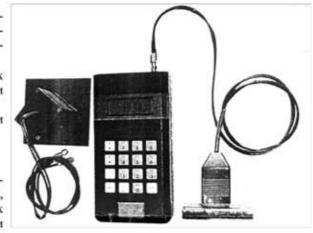
### ТОЛЩИНОМЕР УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ЭМАТ-100

### Назначение

- Измерение толщины изделий из токопроводящих материалов при одностороннем доступе к ним без применения контактной жидкости, без предварительной подготовки поверхности контроля,
- Измерение остаточной толщины корродированных материалов, допустимая шероховатость поверхности Rz320.
- Возможность измерения через воздушный зазор или изоляционное покрытие



Толщиномер применяется для измерения толщины листов, стенки емкостей, труб, гибов труб, трубопроводов, а также мостовых, корпусных, транспортных, судовых и других конструкций и изделий, в т. ч. с покрытыми поверхностями, в процессе и после их изготовления и



эксплуатации. Толщиномер может работать на сильно корродированных поверхностях.

### Принцип действия

В толщиномере используется электромагнитоакустический (ЭМА) способ возбуждения и приема ультразвуковых сдвиговых колебаний, позволяющий измерять толщину без контактной жидкости, без зачистки поверхности, через воздушный зазор или непроводящее покрытие (краска, лак, эмаль, пленка).

### Технические характеристики

Диапазон измеряемых толщин изделий, мм	3100,0		
Предел допускаемой основной абсолютной погрешности, $\delta_{\text{осн.}}$ , мм	±(0,1 + 0,001Т), где Т — показания толщиномера		
Минимальный радиус кривизны контролируемой поверхности,не менее, мм	10		
Величина зазора или толщины непроводящего покрытия, не более, мм:  – для некорродированной поверхности  – для корродированной поверхности	2		
Дискретность цифрового отсчета толщиномер, мм	0,1; 0,01		
Объем внутренней памяти	100 измерений		
Время непрерывной работы без подзарядки, час, не менее	8		
Габаритные размеры, не более, мм	195×100×45		
Масса с батареями «Крона ВЦ» или «Корунд» без ЭМАП, не более, кг	1,0		
Диапазон рабочих температур, °С	0+40		

Заявки на поставку аппаратуры можно сделать по тел.: (38044) 287-26-66



Лицензия Министерства охраны окружающей среды Украины № 000097 серия ЯРБ – 20



### ООО Кварц выполняет ремонт:

- Рентгеновских аппаратов РАП-150/300, РУП-150/300, РУП-200-5-2, РУП-120, МХR и др.
- Импульсных аппаратов «Арина», «Мира», «Нора» всех моделей
- Установка и модернизация систем промышленного рентгенотелевидения

### Поставка:

- 1) рентгеновских аппаратов всех моделей
- рентгеновских трубок всех типов к промышленным рентгеновским аппаратам и спектрометрам
- высоковольтных кабелей к рентгеновским аппаратам РАП-150/300, РУП-150/300
- г. Харьков, 61115 а/я 3184 т. (057) 751-33-48, 759-89-55 ф. (057) 393-05-65

www.kvartz.com.ua, info@kvartz.com.ua,



# ІЗОТОП

Pion-2M

### КОМПЛЕКСНЫЕ ПОСТАВКИ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ТРУБОПРОВОДОВ И СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ:

- рентгеновские аппараты серии "АРИНА", "CAPMA", "PATMИР" и др.;
- рентгеновская пленка, химреактивы и проявочная техника AGFA NDT;
- расходные материалы для капиллярной и магнитопорошковой дефектоскопий ARDROX;
- принадлежности для радиографии

03680, ГСП, г. Киев, ул. Горького, 152, тел./факс: (044) 528-90-00 E-mail: ndt@izotop.kiev.ua





### МІЖНАРОДНА НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ «РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ В НАФТОГАЗОВІЙ ЕНЕРГЕТИЦІ»

ІВАНО-ФРАНКІВСЬК, 16-20 квітня 2007 р.

### Шановні колеги!

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу оголошує про Міжнародну науково-технічну конференцію «Ресурсозберігаючі технології в нафтогазовій енергетиці», яка присвячена 40-й річниці з дня заснування Університету. Її проведення планується в Івано-Франківську 16-20 квітня 2007 р. Вже отримано підтвердження про участь від науковців, керівників та спеціалістів з багатьох підприємств (в т. ч. Schlumberger), освітніх та дослідних установ України, Росії, В'єтнаму, Німеччини, Канади, Алжиру, Польщі та ін.

Визначні дослідники та керівники з Росії (РАО «Газпром»), В'єтнаму (В'єтнамський нафтогазовий інститут), Канади (Університет Реджайни), Алжиру (Університет Бумердес), Польщі (Краківська академія гірництва та металургії), Румунії (Університет Бая-Маре НОРД) погодились приєднатись до Оргкомітету Конференції та виступити його членом.

Просимо Вас розглянути питання про участь в науково-практичному семінарі «Стан і перспективи забезпечення промислової безпеки в нафтогазовій галузі України», що відбудеться 17-18 квітня. В рамках Конференції буде проведена виставка у новому Виставковому комплексі НАК «Нафтогаз України», який розташований на території Університету.

3 приводу усіх питань, пов'язаних із конференцією, звертайтесь в Оргкомітет: Тел.: +380 3422 45114; факс: +380 3422 42015; e-mail: mkarpash@nung.edu.ua; http://www.nung.edu.ua



### НАУКОВО-ВИРОБНИЧА ФІРМА «ПРОМСЕРВІСДІАГНОСТИКА»

Тел./факс: (38044) 200-88-13 \* Тел.: (38044) 200-84-74 \* E-mail: promsdiag@ukr.net



Наша фірма на протязі багатьох років (Дозволи на продовження робіт №1447.04.30-74.30.0; 1894.04.30-74.30.0; 1930.04.30-74.30.0; 1146.05.30-74.30.0 Держнаглядохоронпраці України та Ліцензія Держбуду України №105368 від 7 червня 2005 р.) проводить роботи з неруйнівного та руйнівного контролю, технічного діагностування та чергового і позачергового технічного огляду:

- посудин, що працюють під тиском, в тому
   АГНКС; числі цистерн;
- резервуарів для зберігання нафти та нафтопродуктів;
- вантажопідіймальних механізмів;
- парових і водогрійних котлів;
- трубопроводів пари та гарячої води;
- > систем газопостачання;

- > технологічного обладнання та трубопроводів хімічних, нафтохімічних та нафтогазопереробних виробництв;
- магістральних газо- та нафтопроводів;
- кріогенного обладнання;
- несучих та огороджуючих металоконструкцій.

При виникненні у Вас пропозицій щодо неруйнівного та руйнівного контролю, технічного діагностування, технічного огляду (опосвідчення) вищеназваних об'єктів — ми готові до співпраці.













## ПОДПИСКА – 2007 на журнал «Техническая диагностика и неразрушающий контроль»

	Украин		Россия		Страны Дальнего зарубежья	
Стоимость	на полугодие	на год	на полугодие	на год	на полугодие	на год
подписки через редакцию*	60 грн.	120 грн.	600 руб.	1200 руб.	26 долл. США	52 долл. США
*В стоимость подписки включена доставка заказной бандеролью.						

Если Вас заинтересовало наше предложение, заполните, пожалуйста, купон и отправьте заявку по факсу или электронной почте.

Телефоны и факсы редакции журнала «Техническая диагностика и неразрушающий контроль»: тел.: (38044) 271-23-90, 271-24-03, 529-26-23, факс: (38044) 528-34-84, 529-26-23.

ПОДПИСНОЙ КУПОН Адрес для доставки журнала				
Срок подписки с	200 г	. по	200	г. включительно
Фамилия И. О. Компания				
Должность				
Тел., факс, E-mail				

Подписку на журнал «Техническая диагностика и неразрушающий контроль» можно оформить также: в Украине: подписные агентства «Пресса», «Идея», «Саммит», «Прессцентр», KSS, «Блиц-Информ»; в России: подписные агентства «Роспечать», Пресса России.

### РЕКЛАМА в журнале «Техническая диагностика и неразрушающий контроль»

### Обложка наружная, полноцветная

Первая страница обложки  $(190\times190\text{ мм})$  — 500 \$ Вторая страница обложки  $(200\times290\text{ мм})$  — 350 \$ Третья страница обложки  $(200\times290\text{ мм})$  — 350 \$ Четвертая страница обложки  $(200\times290\text{ мм})$  — 400 \$

### Обложка внутренняя, полноцветная

Первая страница обложки  $(200\times290\text{ мм})$  — 350 \$Вторая страница обложки  $(200\times290\text{ мм})$  — 350 \$Третья страница обложки  $(200\times290\text{ мм})$  — 350 \$

Четвертая страница обложки (200×290 мм) — 350 \$

### Внутренняя вставка

Полноцветная  $(200\times290 \text{ мм})$  — 300 \$ Полноцветная (разворот A3)  $(400\times290 \text{ мм})$  — 500 \$ Полноцветная  $(200\times145 \text{ мм})$  150 \$ Черно-белая  $(170\times250 \text{ мм})$  — 80 \$ Черно-белая  $(170\times125 \text{ мм})$  — 50 \$ Черно-белая  $(80\times80 \text{ мм})$  — 15 \$

- Оплата в гривнях или рублях РФ по официальному курсу.
- Для организаций-резидентов Украины цена с НДС и налогом на рекламу.
- Статья на правах рекламы 50% стоимости рекламной площади.
- При заключении рекламных контрактов на сумму, превышающую 1000 \$,

предусмотрена гибкая система скидок.

### Технические требования к рекламным материалам

- Размер журнала после обрези 200×290 мм.
- В рекламных макетах, для текста, логотипов и других элементов, необходимо отступать от края модуля на 5 мм с целью избежания потери части информации.

### Все файлы в формате ІВМ РС

- Corell Draw, версия до 10.0
- Adobe Photoshop, версия до 7.0
- QuarkXPress, версия до 5.0
- Изображения в формате TIFF, цветовая модель СМҮК, разрешение 300 dpi.

Подписано к печати 26.02.2007. Формат 60×84/8. Офсетная печать. Усл. печ. л. 8,2. Усл. кр.-отт. 8,9. Уч.-изд. л. 9,1 + 2 цв. вклейки. Цена договорная.

© Техническая диагностика и неразрушающий контроль, 2007