ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА И НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ

№ 4, 2007

Издается с января 1989 г.

Учредители: Национальная академия наук Украины Институт электросварки им. Е. О. Патона Международная ассоциация «Сварка» Издатель: 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 КВ 4787 от 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

КОБЗЕВ В. А., МАРЧУК Я. С., АНДРИИШИН М. П., ИГУМЕНЦЕВ Е. А. Исследование металла труб газопроводов после длитель- ной эксплуатации с использованием метода акустической эмиссии	3
ОРИНЯК І. В., БОРОДІЙ М. В., БОГДАН А. В. Використання категоризації напружень і деформаційних критеріїв при оцінці міцності магістральних трубопроводів	6
НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ	
АГАЛИДИ Ю. С., ЛЕВЫЙ С. В., ТРОИЦКИЙ В. А., ПОСЫПАЙКО Ю. Н. Магнитооптическая дефектоскопия приповерхностных слоев ферромагнитных изделий	16
ЗАО «ПАНАТЕСТ» представляет	21
вателями в пластинах	25
ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ РАЗДЕЛ	
ПОЧАПСКИЙ Е. П., КЛИМ Б. П., МИКИТИН Г. В. Акусто- эмиссионная информационно-вычислительная система AE-3Л	37
СЕРТИФИКАЦИЯ И СТАНДАРТИЗАЦИЯ	
БОНДАРЕНКО Ю. К., РАДЧЕНКО М. Л. Мониторинг процесса измерений при НК И ТД для оценки соответствия (сертификации) сварных конструкций после длительной	
эксплуатации	44
ХРОНИКА И ИНФОРМАЦИЯ	
КАЛИТА П. Л. Качество как национальная идея Украины	51
Івано-Франківському національному технічному університету нафти і газу — 40 років	52

ИЗДАНИЕ ЖУРНАЛА ПОДДЕРЖИВАЮТ:

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



Украинское общество неразрушающего контроля и технической диагностики

15-я Международная конференция «Современные методы и

Патенты в области технической диагностики и неразрушающе-

ностики» 53

го контроля 58

По страницам журнала «Акустичний вісник» 60

Поздравляем юбиляра! 61

средства неразрушающего контроля и технической диаг-

TECHNICAL DIAGNOSTICS and — NON-DESTRUCTIVE TESTING

№ 4, 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

KOBZEV V. A., MARCHUK Ya. S., ANDRIISHIN M. P., IGUMENT-SEV E. A. Investigation of metal of gas pipes after long-term service using the method of acoustic emission							
NON-DESTRUCTIVE TESTING							
AGALIDIN Yu. S., LEVII S. V., TROITSKII V. A., POSYPAIKO Yu. N. Magnetooptic flaw detection in subsurface layers of ferro- magnetic products PANATEST the presents	. 16						
CHABANOV V. E., GORDELII V. I. Analysis of waves emitted by SV-polarized electro-magneto-acoustic transducers in plates							
INDUSTRIAL							
POCHAPSKII E. P., KLIM B. P., MIKITIN G. V. Acoustic emission information-measurement system AE-3L	. 37						
CERTIFICATION AND STANDARDISATION							
BONDARENKO Yu. K., RADCHENKO M. L. Monitoring of the process of measurement at NDT and TD for evaluation of the compliance (certification) of welded structures after long-term operation	44						
NEWS AND INFORMATION							
KALITA P. Ya. Quality as a national idea of Ukrainelvano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas	. 51						
is 40 years	. 52						
non-destructive testing and technical diagnostics» News Patents in the field of technical diagnostics and non-destructive							
testing							
Review of «Acoustic News» journal							

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



УДК 621.19.16

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТАЛЛА ТРУБ ГАЗОПРОВОДОВ ПОСЛЕ ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ

В. А. КОБЗЕВ, Я. С. МАРЧУК, М. П. АНДРИИШИН, Е. А. ИГУМЕНЦЕВ

Представлены результаты исследования структурного состояния металла труб с использованием акустической эмиссии, предложен обобщенный критерий оценки и прогнозирования изменений структурного состояния металла при длительной эксплуатации газопроводов.

The results of investigation of the structural state of pipe metal by the acoustic emission method are presented, and a generalized criterion for evaluation and prediction of the changes in the metal structural state in long-term operation of pipelines is proposed.

В металле труб газопроводов при длительной эксплуатации под воздействием изменяющихся параметров внешней среды и транспортируемого продукта происходят медленные процессы изменения металлографической структуры, обусловленные различного вида воздействиями на металл труб. Воздействие на металл влажного грунта после повреждения изоляционного покрытия приводит к коррозионным повреждениям структуры металла [1]. При воздействии температуры могут происходить локальные деформационные процессы за счет линейного расширения [2]. Длительное воздействие повышенной температуры, даже не слишком высокой (30...40 °C), может привести к старению низколегированных низкоуглеродистых трубных сталей [3, 4].

Еще одним важным источником структурных изменений металла является длительное влияние взаимодействия со сталью труб транспортируемого углеводородного продукта, часто содержащего в своем составе некоторое количество водорода, сероводорода, воды. Диссоциированный водород имеет высокую проникающую способность, поэтому, проникая внутрь металла, повышает в нем внутренние напряжения [5, 6].

Приведенные воздействия на газопроводы, приводящие к структурным изменениям металла, в реальных условиях длительной эксплуатации выглядят намного сложнее, так как являются результатом совместного влияния сразу нескольких видов. Структурные изменения могут влиять на прочность труб неоднозначно: на начальных стадиях их воздействие, как правило, упрочняет металл, со временем происходит его разупрочнение с образованием повреждений, которые могут стать причиной разрушения металла труб. Неоднозначность результата структурных изменений и многообразие причин, их вызывающих, для ди-

агностирования состояния металла трубопроводов подземной укладки после длительной эксплуатации требуют использования интегральных стуктурочувствительных физических методов, способных распознать в металле наличие процессов, связанных с охрупчиванием и разупрочнением. Одним из таких методов является метод акустической эмиссии (АЭ) [7], используемый при исследовании металла в режиме прозвучивания [8]. В настоящей работе оценку качества металла проводили с помощью метода АЭ непосредственно на трубах действующих газопроводов ДК «Укртрансгаз».

Перед проведением АЭ-диагностирования в соответствии с ДСТУ 4227 необходимо проведение измерения скорости и затухания сигналов АЭ [9]. Эту операцию проводили с использованием имитатора АЭ, позволяющего подвергнуть поверхность металла упругому механическому воздействию с крутым передним фронтом (прямоугольный импульс). Два преобразователя АЭ устанавливали на расстоянии 3...4 м друг от друга на зачищенных до уровня Rz 40 участках вдоль оси трубопровода. На одной линии с этими преобразователями с внешней стороны на расстоянии 0,3 м от одного из преобразователей располагался имитатор АЭ. Такая схема позволяет проводить измерение структурочувствительных параметров скорости и затухания сигналов АЭ. В работе использовали систему АЭ ALine DDM. По параметрам АЭ, зарегистрированным преобразователями приемниками АЭ, проводили измерение затухания волн. По параметрам, характеризующим частотную характеристику АЭ волны и скорость нарастания переднего фронта импульса АЭ, оценивали степень пластичности металла труб. Результаты АЭ-контроля по всем обследованным участкам газопроводов сопоставляли с параметрами



ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА

Параметры АЭ, измеренные на контролируемых участках газопроводов

газопроводов					
Номер участка	<i>п</i> , дБ/м	<i>v</i> _{с.г} , м/с	ν ₁ , м/c	$K_{\rm cnek}$	$Y_{A\ni}$
1	11,2	4900	1,92	0,957	1,56
2	8,40	5450	0,69	0,804	1,27
3	10,2	4300	0,60	0,870	1,19
4	0,30	1277	4,35	0,099	5,08
5	15,0	3870	1,60	0,017	3,21
6	5,40	3230	0,95	0,893	1,08
7	0,10	1330	8,16	0,095	5,81
8	2,10	2700	3,00	0,018	4,47
9	13,6	3050	0,80	0,668	1,46
10	0,80	1800	5,50	0,028	5,13
11	8,40	3420	1,17	0,829	1,69
12	2,70	1385	14,06	0,023	5,21
13	12,0	3095	1,67	0,007	3,81
14	1,10	1130	1,85	0,030	4,70
15	0,90	1518	3,30	0,021	5,06
16	6,00	3160	4,80	0,048	3,66
17	32,2	5760	0,26	1,000	0,08

контрольного образца трубопровода, имеющего более 30 % общего коррозионного повреждения, и параметрами контрольного образца трубы аварийного запаса, находящейся на хранении, защищенной от воздействия внешней среды защитным изоляционным покрытием, которое в процессе хранения труб поддерживается в удовлетворительном состоянии.

Затухание АЭ (п, дБ/м) характеризует уменьшение амплитуды при распространении АЭ-излучения на контрольном участке. В основе изменения параметра затухания АЭ лежат процессы коррозии. Как следует из таблицы, металл всех обследованных участков трубопроводов по сравнению с контрольными параметрами 16 и 17 находится в удовлетворительном состоянии. Наибольшие параметры затухания зарегистрированы на участке 5. Визуальное обследование этого участка обнаруживает слабую адгезию изоляционного покрытия и наличие наибольшего из всех обследованных участков поверхностного коррозионного повреждения металла. Наиболее близкие значения параметра затухания АЭ к значению участка 5 обнаружены на участках 1, 2, 3, 9, 11 и 13.

Скорость распространения излучения АЭ (v, м/с), является также структурочувствительным параметром, характеризующим состояние металла трубопровода. При испытании контрольного образца, имеющего более 30 % коррозионного повреждения, зафиксирована самая большая скорость распространения АЭ, составляющая 5760 м/с (таблица). Наибольшие значения групповой скорости

распространения АЭ излучения были зафиксированы при обследовании участков 1 (4900), 2 (5450), 3 (4300), 5 (3870 м/с), что свидетельствует об относительно низких соотношениях значений предела прочности и предела текучести, а поэтому несколько повышенной склонности к хрупкому разрушению.

Скорость нарастания переднего фронта импульсов AЭ (v_1 , дБ/с) характеризует функцию перехода акустической волны из металла в пьезоэлектрический материал, в котором происходит преобразование акустических колебаний в колебания электрического сигнала. Скорость нарастания AЭ-сигнала пропорциональна жесткости системы металл—пьезоэлемент [10].

Коэффициенты корреляции спектра $A \ni (K_{\text{спек}})$ обследованных участков газопроводов определяли на основе корреляционного анализа усредненных спектральных характеристик импульсов АЭ обследованных участков. Для усреднения использовали 60...80 спектральных характеристик, полученных при испытании одного объекта. Корреляционный анализ проводили по отношению к усредненной спектральной характеристике контрольного образца (№ 17), имеющего более 30 % общего коррозионного повреждения. На формирование спектральных характеристик АЭ-сигналов оказывают влияние совокупность факторов системы, состоящей из металла труб и преобразователя АЭ. Наибольшая корреляция с контрольным образцом № 17 обнаружена для участков 1, 2, 3, 6, 9 и 11 (таблица).

Каждый из приведенных параметров АЭ характеризует различные наборы свойств металла, отражающие изменения структуры в ходе эксплуатации. Для осуществления учета большинства аспектов взаимодействия АЭ-излучения с изменяющимися во времени структурными элементами металла и особенностями его восприятия приемным преобразователем, может быть использована АЭ-характеристика структурных обобщенная свойств металла труб по отношению к металлу со значительными коррозионными повреждениями (в нашем случае образец № 17 с коррозионным повреждением, превышающим 30 %). Эта характеристика может быть представлена обобщенным безразмерным структурным АЭ-критерием

$$Y_{A\ni} = \log(kv_1/nv_{c.r}K_{cnek}),$$

где k — нормировочный безразмерный коэффициент; $v_{\rm c.r}$ — средняя групповая скорость распространения АЭ-излучения в металле, м/с.

Обобщенный структурный критерий $Y_{\rm A3}$ позволяет учесть влияние на структурные изменения металла каждого измеряемого параметра АЭ и устраняет некоторое различие, получаемое при истраняет некоторое различие.



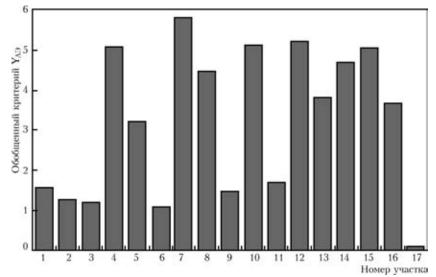


Диаграмма обобщенного структурного АЭ-критерия $Y_{\rm A3}$, рассчитанного для обследуемых участков газопроводов по отношению к эталону (участок № 17) с общим коррозионным повреждением более 30 %

пользовании для оценок каждого параметра в отдельности.

Отметим, что в качестве эталона может быть выбран и неповрежденный материал, например, металл аварийного запаса, однако значения $Y_{\rm A3}$ в этом случае для исследуемых участков могут отличаться в лучшую сторону или за счет различия исходных структурных параметров, или за счет небольшого упрочнения металла на начальной стадии старения.

Применение для оценки структурного состояния металла структурного АЭ-критерия позволяет устанавливать допустимое значение $[Y_{\rm AЭ}]$, характеризующее максимально возможное повреждение структуры металла при эксплуатации. Достижение этого значения означает, что дальнейшая эксплуатация невозможна. Если известна функция изменения критерия $Y_{\rm AЭ}$ во времени (в ходе эксплуатации газопровода измерения АЭ-параметров проводили несколько раз и по зависимости значений $Y_{\rm AЭ}$ от времени определяли функциональную зависимость), то она может стать основой прогнозирования ресурса до достижения значений $[Y_{\rm AЭ}]$.

Выводы

На основании анализа структурочувствительных АЭ-параметров затухания АЭ, средней групповой скорости распространения АЭ в металле, средней скорости нарастания переднего фронта АЭ-импульса и коэффициента корреляции частотной характеристики системы металл—преобразователь АЭ по отношению к выбранному эталону для про-

ведения оценки влияния структурных изменений металла при длительной эксплуатации газопроводов предложен обобщенный структурный АЭ критерий $Y_{\rm AЭ}$.

В результате проведения АЭ-контроля металла труб участков газопроводов обнаружено, что металл всех обследованных участков находится в удовлетворительном состоянии. На участках 1–3, 6, 9 и 11 измеренные параметры АЭ и критерий $Y_{\rm AЭ}$ свидетельствуют о наличии в металле труб начальных процессов охрупчивания. При дальнейшей эксплуатации на этих участках должны периодически проводиться работы по диагностированию металла труб.

Предложенный обобщенный структурный АЭ-критерий $Y_{\rm AЭ}$ может быть использован для диагностирования предельного структурного состояния металла по отношению к установленному допустимому значению $[Y_{\rm AƏ}]$.

- 1. *Технічна* експлуатація систем захисту від підземної корозії магістральних газопроводів / В. В. Разгонюк, Ю. П. Гужов, Ю. О. Кузьменко, В. А. Шишківський. Київ: Росток, 2000. 277 с.
- 2. *Фридман Я. Б.* Механические свойства материалов. Ч. І. Деформация и разрушение. М.: Машиностроение, 1974. 472 с.
- 3. *Бабич В. К., Гуль Ю. П., Долженков И. Е.* Деформационное старение стали. М.: Металургия, 1972. 320 с.
- Деформационное старение металла труб из стали контролируемой прокатки / С. Е. Семенов, А. А. Рыбаков, Л. В. Гончаренко и др. // Техн. диагностика и неразруш. контроль. 2005. № 4. С. 39–43.
- 5. *Гиренко В. С., Рабкина М. Д., Гиренко С. В.* Физико-механические изменения в сталях при эксплуатации в водородосодержащих средах // Там же. 2003. № 4. С. 18–23.
- 6. Обоснование методов обследования и выбор мест шурфовки магистральных газопроводов / Б. Е. Патон, А. Я. Недосека, С. К. Фомичев, М. А. Яременко // Там же. 1999. № 1. С. 3–12.
- Комаровский А. А. Диагностика разрушений // Там же. — 2003. — № 1. — С. 14–16.
- 8. *Оценка* поврежденности металла действующих газопроводов методом АЭ-сканирования / А. А. Лебедев, А. Я. Недосека, Н. Г. Чаусов, С. А. Недосека // Там же. 2001. № 1. С. 8–12.
- ДСТУ 4227–2003. Настанови щодо проведення акустикоемісійного діагностування об'єктів підвищеної небезпеки.
- Грешников В. А., Дробот Ю. М. Акустическая эмиссия. Применение для испытаний материалов и изделий. — М.: Из-во стандартов, 1976. — 272 с.

Поступила в редакцию 08.08.2006

ДК «Укртрансгаз», Киев Украинская инж.-педагогическая академия, Харьков ОАО «УкрНИИхиммаш», Харьков УДК 621.19.14

ВИКОРИСТАННЯ КАТЕГОРИЗАЦІЇ НАПРУЖЕНЬ І ДЕФОРМАЦІЙНИХ КРИТЕРІЇВ ПРИ ОЦІНЦІ МІЦНОСТІ МАГІСТРАЛЬНИХ ТРУБОПРОВОДІВ

І. В. ОРИНЯК, М. В. БОРОЛІЙ, А. В. БОГЛАН

Обговорюється взаємозв'язок між нормами на проектування і документами для аналізу відповідності за призначенням трубопровідних конструкцій, а також суть існуючих в західних країнах норм категоризації напружень. Зазначається необхідність введення подібних процедур у вітчизняні документи. На прикладі дефектів форми трубопроводів (вм'ятини, осьові неспіввісності труб) показана можливість застосування категоризації напружень для визначення допустимих станів. Обговорюється існуюча практика застосування деформаційних критеріїв в трубопровідних стандартах, що дає значні резерви збільшення несучої здатності трубопроводів. На прикладі труби зі зварним з'єднанням розглянуті можливі проблеми, пов'язані з накопиченням значних деформацій.

A connection between the design codes and documents for analysis of the fitness-for-purpose of pipeline structures is discussed, as well as the essence of stress categorization applied in Western codes. A need to introduce such procedures into the national documents is noted. The possibility of applying stress categorization to determine the admissible states is shown for the case of pipeline shape defects (dents, axial misalignment of pipes). The existing practice of applying deformation criteria in pipeline standards is discussed, this providing a considerable margin for increasing the load-carrying capacity of pipelines. Possible problems related to accumulation of considerable deformations are considered for the case of a pipe with a welded joint.

При оцінці технічного стану конструкційних елементів, що експлуатуються, використовуються як документи на їх проектування і будівництво, так і документи для аналізу відповідності за призначенням (ВЗП) (Fitness-For-Service). Лідируюче значення, безумовно, мають стандарти, на основі яких конструкція проектувалась. Саме вони встановлюють основні принципи розрахунку; види, величини і комбінації навантажень; критерії граничного стану; систему коефіцієнтів запасу. Однак у спеціалізованих проектувальних нормах не можуть бути передбачені всі граничні стани та пошкоджуючі фактори, що мають місце під час експлуатації. В першу чергу це відноситься до різного роду дефектів металу та форми конструкції. Крім того, ці норми часто бувають занадто консервативними, адже їх мета, крім іншого, гарантування високої якості будівництва і надійності за прийнятих найбільш небезпечних умов експлуатації. Однак застосування їх на етапі експлуатації трубопроводів або посудин тиску призводить до невиправданих витрат на ремонтні роботи, проведення яких часто пов'язане з виникненням додаткових, більш небезпечних дефектів або зі збільшенням рівня навантажень.

Очевидно, що стандарти ВЗП мають бути більш гнучкими і прогресивними. Проте вони мусять оперувати тими ж або близькими базовими поняттями, критеріями і принципами розрахунку, інакше, крім можливих протиріч, треба буде визнати, що проектована конструкція не має нічого

спільного з реальною. Узгодженість і збалансованість двох груп документів є важливою передумовою кваліфікованого аналізу технічного стану. Як приклад, відмітимо серію проектувальних стандартів Американського товариства інженерівмеханіків (ASME) щодо посудин тиску, резервуарів та трубопроводів, а також сучасний стандарт ВЗП АРІ 579 [1], де використовується одна і та сама методологія міцності і така ж система коефіцієнтів запасу, хоча самі коефіцієнти в АРІ 579 можуть бути менш консервативними. Відомо, що коефіцієнт запасу міцності для нового елементу встановлюється з врахуванням існування можливих дефектів. Проте під час аналізу уже реального дефекту для діючої конструкції враховується локальне ослаблення міцності матеріалу. Тому, щоб двічі не враховувати дефект в документі АРІ 579, встановлюється інший загальний коефіцієнт запасу, що в 1,1 рази (тобто на 10 %) менший за прийнятий в проектувальних нормах. Багатоваріантність розрахунку і наявність послідовних опцій в документі АРІ 579, що зменшують ступінь консерватизму, є наслідком впливу базових проектувальних документів, що постійно розвиваються. Останнім часом, враховуючи високі пластичні властивості сталей, багато трубопровідних стандартів світу дають можливість використовувати деформаційні критерії, що значно ослаблюють вимоги при будівництві і експлуатації трубопроводів.

Що стосується вітчизняних норм, то основні принципи, що базуються на концепції по допус-



тимих напруженнях, майже не змінилися за останні півсторіччя [2]. Парадокс ситуації полягає в тому, що наявність сучасних розрахункових комплексів при прийнятих в розрахункових схемах припущеннях дозволяє точно розрахувати напруження при складних схемах навантаження, які раніше не прораховувалися, наприклад, температурні навантаження для криволінійного згину труби в грунті [3]. Відмітимо, що на необхідність розгляду цієї схеми вказується в документі [4]. Так, для цієї схеми дуже часто рівень напружень перевищує допустимий по вітчизняних нормах. Практика експлуатації свідчить, що ϵ реальні резерви міцності, і застосування опцій західних норм підтверджує, що конструкція є безпечною. Очевидно, що ігнорування вимог норм не є допустимим, адже немає чіткої межі між розумним і злочинним ігноруванням. Коректування таких ситуацій за допомогою документів ВЗП є можливим, проте, важко зберегти необхідний зв'язок їх з нормами на проектування.

Зауважимо, що більша досконалість західних норм (їхньої суті) є наслідком того, що вони дають більшу свободу проектанту у виборі розрахункових схем і критеріїв граничного стану. При цьому кращий практичний досвід проектувальних і дослідницьких організацій є предметом розгляду наглядових органів і інституцій, що розробляють документи. Мета роботи полягає в ознайомленні з існуючими принципами категоризації напружень, в демонстрації того, як ці принципи працюють при аналізі дефектів форми, а також в висвітленні необхідності, переваги і проблеми застосування деформаційних критеріїв.

Застосування категоризації напружень в нормах на проектування. Історично проектування конструкцій проводилося по порівняно простих формулах розрахунку пружних напружень, що отримані за методами механіки деформованого твердого тіла. З огляду на практику експлуатації чи даних експериментів ці формули постійно уточнювалися. Такий підхід називається проектування по формулах і є переважаючим у сучасних нормативних документах.

В кінці 1930-х років з'явилася теорія граничного стану як галузь теорії пластичності, предметом дослідження якої є абсолютно пластичні тіла [5, 6]. До середини 1950-х років було отримано велику кількість аналітичних рішень для пластинок, балок і оболонок, які виявили додаткові властивості пластичних тіл опиратися пластичному колапсу. Як наслідок, це привело до появи більш прогресивної філософії міцності — проектуванню по граничному стану замість по допустимих напруженнях. Певні досягнення теорії граничного стану знайшли своє відображення у відповідних формулах.

Найбільш повно переваги теорії граничного

стану використовуються в так званій концепції проектування шляхом аналізу, що була запропонована в США на початку 1960-х років у стандарті ASME Pressure Vessel and Boiler Code. За 40-літню історію методи, запропоновані ASME, увесь час удосконалювалися, вони надзвичайно популярні у Європі і Японії.

Більшість документів, що використовують метод «проектування шляхом аналізу» базуються на пружному аналізі, так званому пружному підході. Це пов'язано з тим, що у 1960-х роках проектувальники були обмежені в основному пружним аналізом, і у випадку посудин тиску розрахунок виконувався в рамках теорії пружних оболонок, пластин і балок, з урахуванням умов безперервності переміщень і зусиль. Принципова особливість пружного підходу полягає в необхідності поділу розрахункових напружень на категорії, в залежності від природи їх походження (первинні і вторинні) і протяжністю дії та характером розподілу (мембранні, згинальні, пікові) [7]. Як приклад, наведемо визначення первинних напружень, що дається в нормах ASME, це «нормальні чи дотичні напруження, що виникли від зовнішнього навантаження і які задовольняють умові рівноваги перерізу щодо зовнішніх сил і моментів. Основна особливість їх полягає в тому, що вони не самоврівноважені. Первинні напруження, які значно перевищують границю текучості, приводять до руйнування чи щонайменше до значної зміни форми перерізу. Термічні напруження не кваліфікуються як первинні...». Зокрема первинні мембранні напруження «отримуються як інтегрально середня величина по товщині перерізу від напружень, що виникли від внутрішнього тиску, чи інших механічних навантажень, виключаючи всі вторинні чи пікові напруження». Категоризація напружень — це найбільш складний аспект даного шляху, що вимагає від проектувальника розуміння природи напружень і великого досвіду в застосуванні інженерних підходів (методів опору матеріалів).

Згідно цього підходу напруження розділяються на наступні групи: глобальні первинні мембранні P_{m} , локальні первинні мембранні P_{L} , первинні згинальні P_b , вторинні Q, пікові F. Для їх розмежування в спеціальних додатках до стандартів чи у довідниках наводяться детальні пояснення і практичні приклади. Також з ініціативи наглядових органів і комітетів з питань стандартів виконуються спеціальні пошукові роботи, що прояснюють роль тих чи інших напружень чи силових впливів у досягненні граничного стану [8, 9]. Самі ж критерії граничного стану формулюються в поняттях допустимих напружень S_m , які визначаються як частина межі плинності або межі міцності. В табл. 1 наведена узагальнена таблиця граничних станів [7].

ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА

Класифікація напружень та їх граничні значення

маснфікація напружень та іх грани нії зна тення					
Тип напружень	Граничні напруження				
Глобальні первинні мембранні P_m	kS_m				
Локальні первинні мембранні P_L	$1,5kS_m$				
Первинні мембранні і згинальні $P_m + P_b$ чи $P_L + P_b$	1,5 <i>kSm</i>				
Первинні і вторинні $P_m + P_b + Q$ чи $P_L + P_b + Q$	$3S_m$				

Вважають, що перші три умови гарантують відсутність глобальної пластичної деформації, а остання запобігає накопичуванню пластичної деформації (так званий ратчетинг). Якщо розглядається можливість утомного ушкодження, то додатково розглядається повна сума $P_L + P_b + Q + F$, що зіставляється з напруженнями утоми S_a . Стосовно коефіцієнта k, то він залежить від конкретної комбінації розглянутих зовнішніх навантажень і для визначених менш ймовірних поєднань навантажень може прийматися більшим одиниці.

При «проектуванні шляхом аналізу» можна використовувати також і непружний підхід. Його мета полягає в зменшенні консерватизму пружного підходу, особливо для перших трьох умов таблиці. Тут можуть застосовуватися два види аналізу.

Граничний аналіз (Appendix 4-136.3 Limit Analysis [7]) полягає в тому, щоб показати, що діюче напруження не перевищує 2/3 нижньої межі появи пластичного шарніра (колапсу). В цьому випадку використовується межа плинності матеріалу, яка дорівнює $1.5S_m$. Для застосування даного методу необхідно задовольнити двом додатковим умовам. По-перше, для ефекту концентрації пластичних деформацій, наприклад, у зонах їх виникнення, повинна бути здійснена оцінка з точки зору можливого ратчетинга (накопичення односторонніх пластичних деформацій в часі) або втрати стійкості. По-друге, конструкція в будь-якому випадку повинна задовольняти умові щодо мінімальної товщини стінки, яка визначається за процедурою проектування по аналітичним залежностям. Взагалі, таке визначення мінімальної товщини стінки має пріоритет перед будь-якими іншими процедурами.

Граничний аналіз є відображенням первісної суті теорії граничного навантаження. Для прикладу розглянемо смугу товщиною t, до якої прикладене розтягуюче зусилля N та згинальний момент M (рис. 1). Якщо сила та момент діють не-

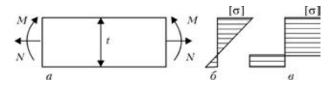


Рис. 1. Навантаження смуги силою і моментом (a); епюра при пружному розподілі напружень (δ); розподіл при граничному пластичному стані (ϵ)

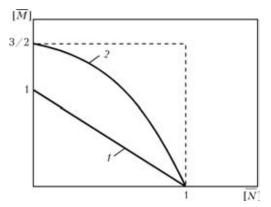
залежно, то гранично допустимі значення сили і моменту по критерію допустимих напружень відповідно дорівнюють $[N] = [\sigma]t$ та $[M] = [\sigma]t^2/6$, де $[\sigma]$ допустиме напруження. При їх спільній дії напруження додаються і критеріальне рівняння приймає вигляд: $[\overline{M}] + [\overline{N}] = 1$, де $[\overline{M}] = M/[M]$, $[\overline{N}] = N/[N]$ — безрозмірні величини діючих значень мо-

менту і сили. Відповідний розподіл напружень по товщині показаний на рис. 1, δ . Відповідно до теорії граничного стану в смузі виникають такі деформації, що всі точки перерізу переходять в пластичний стан, а критеріальне рівняння записується як $2[M]/3 + [N]^2 = 1$. Розподіл напружень для такого критичного стану представлено на рис. 1, ϵ .

У випадку, коли осьова сила відсутня (N=0), допустимі значення згинальних моментів для пружного та граничного аналізу будуть рівними 1 і 3/2 відповідно. Зауважимо, що саме ця і подібні їй моделі покладені в основу формулювання допустимих напружень в таблиці. На рис. 2 в графічному вигляді наведена різниця між двома підходами при визначенні допустимої області навантажень. Як бачимо, граничний аналіз допускає більші значення прикладених сил і моментів під час проектування.

Граничний аналіз базується на аналітичних рішеннях теорії пластичності, вимагає значної кваліфікації проектанта і може використовуватися при перевірці цілої низки застережень, зокрема, аналізу пластичних деформацій і втрати стійкості.

Іншим видом непружного аналізу є пластичний аналіз (Арреndіх 4-136.5 Plastic Analysis [7]). Він проводиться з залученням методу скінчених елементів з використанням реальних залежностей «напруження—деформації» і враховує геометрично нелінійні ефекти. При цьому вся складність рішення проблеми переноситься на комп'ютер, адже при цьому не потрібно проводити класифікацію напружень. Існує декілька варіантів визначення граничного навантаження P_p з розрахункової кривої «навантаження—переміщення» в



 $Puc.\ 2$. Допустимі області для пружного (1) і пластичного (2) аналізів

ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА

залежності від визначеної зміни нахилу цієї кривої (рис. 3): навантаження ППК відповідає точці подвійного пружного кута нахилу кривої; ППП —точці подвійних пружних переміщень; МПД визначається з перетину дотичних до пружної і пластичної ділянок кривої.

Для визначення навантаження ППК пряму лінію, що відповідає пружній зоні на діаграмі і куту ϕ повертають на кут $\phi_1 = 2\phi$. Точка перетину цієї прямої з діаграмою відповідає граничному навантаженню. Ідея визначення граничного навантаження ППП полягає в наступному. На діаграмі позначається гранична точка, що розділяє пружну і пластичну зони деформування. Абсциса цієї точки дорівнює значенню максимальної пружної деформації v. Через точку з абсцисою, що дорівнює 2*v*, проводиться вертикальна лінія, точка перетину якої з діаграмою і відповідає граничному навантаженню. Граничне навантаження МПД відповідає точці перетину дотичних, проведених до пружної і пластичної ділянок деформування. Допустиме навантаження [P] визначається як [P] = $=\frac{2}{3}P_{p}$. Найбільш послідовні і логічні результати дає метод подвійного пружного кута і саме він рекомендується в стандартах ASME.

Приклади застосування категоризації напружень в стандартах ВЗП. Розглянемо як практично використовується поняття категоризації напружень, а саме пружний підхід, в відомому стандарті ВЗП АРІ 579 для деяких типових дефектів форми труби, таких як вм'ятина (рис. 4, a), осьова (рис. 4, δ) та кутова (рис. 4, ϵ) неспіввісності. Оскільки у всіх цих дефектах діють мембранні первинні (номінальні) напруження σ_m та вторинні згинальні напруження σ_b , наведені за рахунок відхилення форми труби від ідеальної, то за таблицею коефіцієнт збільшення допустимих напружень приймається рівним 3. Тоді згідно стандарту [1] загальний критеріальний вираз має наступний вигляд:

$$\sigma_m(1+R_h) \le 3 \cdot 1, 1[\sigma],\tag{1}$$

де R_b — відношення наведених згинальних напружень до прикладених мембранних, $R_b = \sigma_b/\sigma_m$; $[\sigma]$ — допустимі по відповідному «проектуваль-

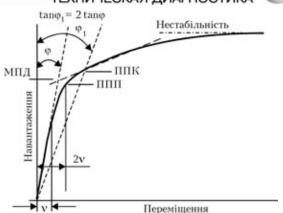


Рис. 3. Варіанти визначення граничного навантаження

ному» стандарту напруження.

Про використання коефіцієнту 1,1 згадувалось раніше, прикладені мембранні напруження відомі. Таким чином, розрахунок дефектів зводиться до визначення параметру R_b .

Розглянемо нескінчену в осьовому напрямку вм'ятину в трубі (рис. 4, a). Основним фактором навантаження є внутрішній тиск p, від якого для ідеальної труби радіуса R виникають відомі мембранні кільцеві напруження σ_{Θ} :

$$\sigma_{\theta} = pR/t. \tag{2}$$

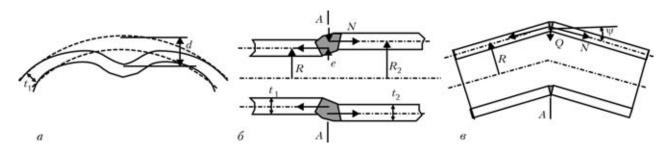
Дуже часто відхилення форми труби від кругової задається рівнянням

$$R(\varphi) = R \left(1 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos n\theta + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin n\theta \right),$$
 (3)

де $R(\phi)$ — радіус кожної точки труби, апроксимований по результатам натурних вимірювань. Тоді з урахуванням геометричної нелінійності можна показати [1, 10, 11], що додаткові згинальні напруження

$$\sigma_b = -6\sigma_\theta \sum_{i=2} \frac{R}{t} \left(\frac{(n^2 - 1)a_n}{n^2 - \chi^2} \cos n\theta + \frac{(n^2 - 1)b_n}{n^2 - \chi^2} \sin n\theta \right), \tag{4}$$

де коефіцієнт $\chi^2=1-\frac{PR_0^3}{EJ}=1-\overline{p}$ при малих зна-



Puc. 4. Дефекти форми трубопроводу: a — вм'ятина; δ — осьова; ϵ — кутова неспіввісності

ченнях безрозмірного тиску \overline{p} дорівнює одиниці.

Вираз під знаком суми, враховуючи (3), дорівнює 6w/t, де w — максимальний прогин поверхні труби, а умова міцності (1) запишеться таким чином:

$$\sigma_{\theta}(1 + 6w/t) \le 3.3[\sigma] \Rightarrow w/t \le 1.67 \left(\frac{3.3[\sigma]}{\sigma_{\theta}} - 1\right).$$
 (5)

Очевидно, що умова (5) з точки зору стандарту API 579 ϵ консервативною, адже не врахову ϵ довжину вм'ятини. Крім того, для отримання більших значень допустимої глибини вм'ятини можна використовувати непружний підхід. В роботі [11] для вм'ятини гладкої форми отримано більш точне значення максимального напруження σ_b з врахуванням відношення w/R. Отриманий графік можна апроксимувати прямою лінією при малих $w/R \leq 0.1$, тоді $\sigma_b = 6w/t(0.97 - 1.5w/R)$, що призводить до більших допустимих розмірів вм'ятини.

Для аналізу неспіввісності осьового типу (рис. 4, δ) розглянемо відому осесиметричну крайову задачу деформування циліндричної оболонки. В цьому випадку основними є поздовжні мембранні напруження, що виникають від осьової сили N. Наприклад, для замкненої з торців труби вони дорівнюють $\sigma_m = pR/2t$, а значення сили N = pR/2. Тоді в зоні неспіввісності виникає зосереджений осесиметричний згинальний моментами в стінці труби зліва і справа перерізу A-A дорівнює M_0 , а самі максимальні значення моментів зліва і справа від цього перерізу залежать від відношення товщин стінок t_1 і t_2 .

Розглядаючи осесиметричний крайовий ефект, запишемо рішення для переміщень точок для першої і другої труби у відповідності з теорією оболонок:

$$v_1(x) = e^{-\xi_1 x} (a_1 \cos \xi_1 x + b_1 \sin \xi_1 x);$$

$$v_2(x) = e^{-\xi_2 x} (a_2 \cos \xi_2 x + b_2 \sin \xi_2 x),$$
(6)

де координати x для першої і другої труб відраховуються від розглядуваного перерізу $A\!-\!A$ і направлені в протилежні сторони; значення ξ_i і ξ_2 даються відомими виразами:

$$\xi_1 = \sqrt[4]{3(1-\mu^2)/(Rt_1)^2}; \ \xi_2 = \sqrt[4]{3(1-\mu^2)/(Rt_2)^2},$$

де и — модуль Пуасона.

Записуючи умови рівності переміщень, кутів повороту, сили та умову стрибка моментів в перерізі A—A, отримаємо наступне співвідношення між моментами зліва і справа:

$$\frac{M_1}{M_2} = -\frac{\beta^2(\beta^2 + 2\beta^{1,5} + 1)}{\beta^2 + 2\beta^{0,5} + 1},\tag{7}$$

де параметр відношення товщин стінок труб $\beta = \sqrt{t_1/t_2} \le 1$.

Далі, враховуючи, що $M_1 - M_2 = Ne$, отримаємо додаткові згинальні напруження в стінці першої труби (для неї як більш тонкостінної напруження будуть більшими):

$$\sigma_b = 6 \frac{e}{t_1} \sigma_m \left(\frac{\beta^2 (\beta^2 + 2\beta^{1.5} + 1)}{(\beta^2 + 1)^2 + 2\beta^{0.5} (\beta^3 + 1)} \right).$$
(8)

Очевидно, що при $\beta = 1$ додаткові вторинні згинальні напруження будуть рівними $\sigma_b = \sigma_m 3e/t_1$. Тоді умова міцності (1) прийме вигляд:

$$\sigma_{m}(1 + 3e/t_{1}) \le 3.3[\sigma].$$
 (9)

Якщо навіть консервативно вважати, що $\sigma_m \approx [\sigma]$, то допустиме значення неспіввісності e має задовольняти умові $e \leq 0,77t$, що звичайно виконується.

Проаналізуємо інший типовий дефект трубопроводів, а саме неспіввісність кутового типу (рис. 4, ε). Скористаємося, як і в попередній задачі, осесиметричною постановкою для крайової задачі, при цьому вважаємо, що в зоні кутового стику діє осесиметрична зосереджена сила $Q = 2N \sin \psi$, яка виникає як вертикальна складова від осьового зусилля N, прикладеного під кутом ψ . Рішення для такої постановки задачі відоме з курсу опору матеріалів і теорії оболонок, тому, не вдаючись до подробиць, запишемо кінцевий вираз для максимального згинаючого моменту, якщо товщини стінок зліва і справа однакові:

$$M = \frac{N\sin\psi}{2} \sqrt[4]{\frac{R^2t^2}{3(1-\mu^2)}}.$$
 (10)

Звідси отримаємо, що додаткові згинальні напруження будуть:

$$\sigma_b = \frac{6M}{t^2} = \frac{3\sigma_m \sqrt{R/t} \sin \psi}{\sqrt[4]{3(1 - \mu^2)}}.$$
 (11)

Застосовуючи критерій (1) до напружень (11), отримаємо умову для допустимого кута неспіввісності у:

$$\sigma_{m} \left(1 + \frac{3\sqrt{R/t} \sin \psi}{\sqrt[4]{3(1 - \mu^{2})}} \right) \le 3,3 \ [\sigma].$$
 (12)

Вважаючи, що $\sigma_m \approx [\sigma]$, а $\mu = 0.3$, отримаємо просту консервативну оцінку для ψ : $\psi \le 0.98\sqrt{t/R}$. Остання умова може використовуватися як експрес-оцінка для визначення допустимих кутів неспіввісності. Якщо вона не задовольняється, то необхідно проводити більш точний аналіз, в тому числі, можливо, з використанням формули (12).

Наведені вище приклади показують як на ос-

нові поняття категоризації напружень достатньо просто отримати консервативні оцінки міцності. Отримані тут оцінки узгоджуються з результатами, наведеними в документі API 579.

Використання деформаційних критеріїв. Методологія документів ASME полягає в тому, що пружний підхід може розглядатися лише як достатня умова міцності. Більша консервативність такого аналізу — це плата за його простоту. Використання непружного підходу значно розширює межі допустимих станів. Останнім часом методи і границі застосування непружного підходу дуже розширюються [1], зокрема аж до визначення навантаження «нестабільності» (рис. 3), що пов'язано як з пошуком резервів збільшення допустимих рівнів навантаження, так і технічними можливостями проведення більш складних розрахунків.

Е ще одна причина все далі ширшого розповсюдження підходів, що враховують криву «зусилля-переміщення» (рис. 3). Віднесення напружень до тієї чи іншої категорії (первинні чи вторинні, тощо) є досить складним і неоднозначним. В західній літературі є ряд допоміжних документів, що детально прописують різні схеми навантаження і дають відповідну класифікацію. Це незручно, і не всі випадки можуть бути розглянуті в довідковій літературі. Крім того, останнім часом з'явилося розуміння того, що існують проміжні випадки навантаження, коли не можна однозначно визначити, чи є воно первинним (м'яким) чи вторинним (жорстким). Часто їх пов'язують з ефектом пружини, коли при збільшенні переміщень від певного фактора навантаження проходить розвантаження, але повністю навантаження не знімається [12]. Такі приклади будуть розглянуті нижче. Якщо ж навантаження є жорстким, тобто процес навантаження зупиняється, якщо переміщення досягли заданого рівня, то вказані вище підходи є занадто консервативними. Тут ключовим моментом є здатність матеріалу витримувати значні пластичні деформації.

стандарти проектування Сучасні на магістральних трубопроводів, такі як DNV-OS-F101 (Норвегія) [13], CSA Z662 (Канада) [14], дозволяють вести проектувальні розрахунки як по допустимим навантаженням, так і по допустимим деформаціям. У стандарті [15] прямо зазначається: «У випадку жорсткого навантаження труби, викликаного зсувами грунту, кривизною траншеї, пученнями грунту тощо, не обов'язково використовувати максимальні осьові напруження в якості критерію граничного стану». Це пов'язано з тим, що трубопроводи часто піддаються дії великих деформацій, наприклад, трубопровід приймає форму траншеї, кривизна якої визначає деформації в трубопроводі. Ця кривизна може бути досить значною, щоб визвати пластичне деформування труби, яке при високій пластичності матеріалу ніяк не призводить до руйнування чи втрати експлуатаційної придатності. Для оцінки таких ситуацій, наприклад, в стандарті [14] використовують критерій «гранична деформація». В зазначених нормах закладається положення, за яким при будівництві трубопроводів максимально допустима деформація в стінці труби не повинна перевищувати 2,5%. Введення такого значення допустимої деформації накладає досить суттєві вимоги до якості поперечних швів, при цьому повинно бути продемонстровано, що вони здатні витримувати зазначений рівень деформацій без порушення цілісності. В стандарті [4] наведено достатньо повний перелік критеріїв оцінки міцності трубопроводів, де крім допустимих значень навантажень і напружень використовуються допустимі значення переміщень і деформацій в залежності від умов навантаження трубопроводу.

Таким чином, застосування деформаційних критеріїв можливе, коли, по-перше, навантаження є хоч би частково обумовленим переміщеннями, а по-друге, коли відповідні критерії граничного стану прописані в нормативних документах.

Розглянемо декілька важливих прикладів навантажування трубопроводу за межою плинності матеріалу для демонстрації можливості використання деформаційних критеріїв та виявлення обмежень, які слід враховувати в разі їх застосування.

Вплив внутрішнього тиску на вторинні згинальні напруження. В практиці будівництва трубопроводів дуже часто використовують пружний згин труби при прокладці трубопроводу в траншею. Граничні значення радіусу пружного згину регламентуються проектувальними нормами, адже максимальні в перерізі труби напруження σ_x^{max} пропорційні радіусу кривизни вісі трубопроводу ρ :

$$\sigma_{\rm r}^{\rm max} = \pm ER/\rho. \tag{13}$$

Проте можуть виникати ситуації, коли радіус пружного згину реального трубопроводу буде менший за проектний (зсуви, просідання, неточності будівництва та ін.) і розраховані за формулою (13) згинальні напруження σ_x^{max} можуть значно перевищувати допустимі значення [σ]. Можлива інша більш м'яка з точки зору навантаження ситуація, проте недопустима по діючих зараз в Україні нормах [16], а саме, в п. 8.26, що реглапластичні деформації, ментує недопустимі комбінація по критерію Мізиса (IV теорія міцності) величин кільцевих σ_{θ} (2) та згинальних σ_x напружень не може перевищувати межу плинності $\sigma_{\rm T}$:

$$(\sigma_{\theta})^2 + \sigma_{\theta}\sigma_x + (\sigma_x)^2 \le (\sigma_{\tau})^2.$$
 (14)



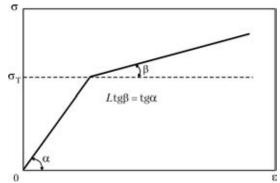


Рис. 5. Схематизована крива деформування матеріалу

Наскільки ці обмеження обгрунтовані, свідчить наступна задача. Розглянемо два випадки поступового навантаження внутрішнім тиском пружно вигнутої труби з початковою кривизною ρ , а отже і відповідними максимальними початковими напруженнями σ_x^{\max} (13). В залежності від кутової координати точки перерізу труби ці напруження даються залежністю $\sigma_x(\phi) = \sigma_x^{\max} \sin \phi$. Вони однозначно пов'язані з початковою деформацією кожної точки перерізу:

$$\varepsilon_{\rm r}(\varphi) = R\sin\varphi/\rho = \sigma_{\rm r}^{\rm max}\sin\varphi/E.$$
 (15)

В першому випадку приймемо, що σ_x^{max} дорівнюють 200 МПа, а в другому 270 МПа. Тоді в якості характеристики матеріалу виберемо для простоти пружно-пластичний матеріал з лінійним зміцненням, причому тангенс кута нахилу пластичної ділянки в L=100 раз менший модуля пружності E (тангенсу нахилу пружної ділянки) (рис. 5).

Фізичні рівняння в рамках теорії пластичності плинності для двовимірного розподілу напружень запишуться так:

$$d\varepsilon_x^e = \frac{1}{E}(d\sigma_x - \mu d\sigma_\theta), \ d\varepsilon_\theta^e = \frac{1}{E}(d\sigma_\theta - \mu d\sigma_x)$$
 (16)

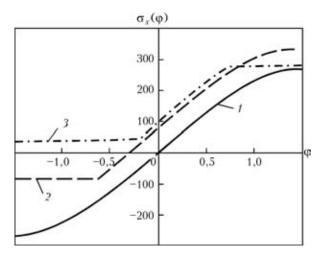


Рис. 6. Розподіл осьових напружень в перерізі для трьох значень окружних напружень: 1— 0; 2 — 250; 3 — 320 МПа

для зв'язку приросту компонент пружних деформацій з приростом напружень і

$$d\varepsilon_x^p = \frac{d\lambda}{E} (\sigma_x - 0.5\sigma_\theta), \ d\varepsilon_\theta^p = \frac{d\lambda}{E} (\sigma_\theta - 0.5\sigma_\theta)$$
 (17)

для зв'язку приросту пластичних деформацій і напружень, де $d\lambda$ — коефіцієнт пропорційності, що знаходиться з діаграми деформування матеріалу. В теорії пластичності показано, що він може бути обчислений за формулою:

$$d\lambda = \frac{d\sigma_i(L-1)}{\sigma_i},\tag{18}$$

де зменшення тангенсу кута нахилу L дорівнює 1 на пружній і 50 на пластичній ділянках, σ_i — інтенсивність напружень, що для даного двохвісного випадку навантаження будуть:

$$\sqrt{2}\,\sigma_i = \sqrt{\left(\sigma_\theta - \sigma_x\right)^2 + \left(\sigma_\theta\right)^2 + \left(\sigma_x\right)^2}\,.\tag{19}$$

Розв'язуючи спочатку пружну задачу для заданої деформації (15), далі фіксуючи прирости напружень $d\sigma_{\theta}$, наприклад, $d\sigma_{\theta} = 1$ МПа, на кожному кроці обчислень і враховуючи, що $d\varepsilon_{x}^{e} + d\varepsilon_{x}^{p} = 0$ на кожній ітерації, за формулами (16)—(19) знайдемо, як змінюється розподіл напружень $\sigma_{x}(\phi)$ в залежності від рівня окружних напружень σ_{θ} . Як приклад, покажемо їх розподіл при рівнях $\sigma_{\theta} = 250$ та $\sigma_{\theta} = 320$ МПа (рис. 6) для випадку початкових згинальних напружень $\sigma_{x}^{max} = 270$ МПа. Очевидно, що найбільше напруження згладжується в крайніх точках $\phi = \pm 90^{\circ}$. При подальшому збільшенні навантаження σ_{θ} напруження $\sigma_{x}(\phi)$ прямують до величини $0.5\sigma_{\theta}$, що випливає з умови обмеженості деформацій в осьовому напрямку і першого з рівнянь (17).

Для характеристики процесу навантаження для всього перерізу введемо умовне згинальне напруження:

$$\sigma_{\rm M} = \frac{M_x}{W} = \frac{1}{\pi R^2 t} \int_{0}^{\infty} \sigma_x(\varphi) R \sin \varphi R t d\varphi, \qquad (20)$$

де M_x — згинальний момент в перерізі; W — момент інерції.

Очевидно, що при $\sigma_{\theta} \to 0$ $\sigma_{M} = \sigma_{x}^{max}$. На рис. 7 зображено графік залежності умовних напружень від рівня прикладеного окружного напруження. Зі збільшенням останніх моментні напруження в трубі постійно зменшуються, а при навантаженні, близькому до межі плинності, вони релаксують дуже інтенсивно, і при $\sigma_{\theta} > \sigma_{T}$ можуть зникнути повністю (див. рис. 7). Таким чином, однократна пластична деформація може призвести до повної релаксації згинальних напружень пружного згину.



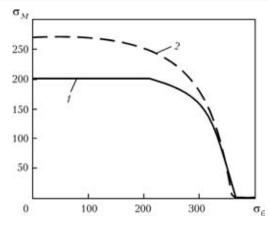


Рис. 7. Релаксація умовних згинальних напружень $\sigma_{\rm M}$ в залежності від рівня номінальних напружень $\sigma_{\rm \theta}$: $I-\sigma_x^{\rm max}=200;~2-270~{\rm MHz}$

Така позитивна реакція деформування матеріалу є однією з причин введення деформаційних критеріїв.

В зв'язку з розглянутою задачею в роботі [17] зазначено: «Як показали дослідження, попередній згин не впливає на граничний стан трубопроводу, що знаходиться під дією внутрішнього тиску і повздовжніх зусиль. Було встановлено, що прямі і попередньо зігнуті труби руйнувались практично при одному і тому ж тиску». Таким чином, розрахунки по повній кривій деформування матеріалу відкривають додаткові можливості підвищення тримальної здатності трубопроводів, коли фактично вторинні напруження можна взагалі не брати до уваги.

Деформування поперечних зварних з'єднань при жорсткому навантаженні. Отримані вище оптимістичні прогнози щодо розвантаження навантажень, обумовлених кінематичними граничними умовами, можуть мати місце при високій пластичності матеріалу; відсутності локальної неоднорідності, де можуть виникати значні концентрації пластичних деформацій. Як і всі технології міцності, аналіз по допустимим деформаціям вимагає обережності, продуманості і розуміння суті. Саме тому під егідою Американського міністерства транспорту проводиться ряд досліджень і розробляються методичні рекомендації для застосування критерію в трубопровідній індустрії [18].

Як можливий приклад негативної концентрації деформацій розглянемо послідовне з'єднання двох елементів однакової товщини з різними механічними властивостями (рис. 8). До такої схеми відноситься защемлена труба (вона не може видовжуватися в осьовому напрямку) зі зварним поперечним швом за дії, наприклад, навантажень розтягу від негативного температурного перепаду ΔT . Ці напруження однозначно кваліфікуються як вторинні, адже вони обумовлені температурним розширенням, а не зовнішніми механічними силами. Виділимо періодичну ділянку «півтруби—



Рис. 8. Схема послідовного з'єднання двох матеріалів (позначки див. у тексті)

шов-півтруби» з довгого трубопроводу. Позначимо елемент «основний метал труби» номером I, а його довжину L_1 і відповідно елемент «зварний шов» номером II, а його довжину L_2 . Введемо в розгляд безрозмірний параметр довжини другого елементу k:

$$k = L_{II}/(L_I + L_{II}).$$
 (21)

Для простоти вважаємо, що коефіцієнт термічного розширення α однаковий для двох матеріалів. На рис. 8 позначено температурне видовження ділянки ΔL , пов'язане з середньою деформацією труби від температурного навантаження:

$$\varepsilon_0 = \Delta L / (L_1 + L_2) = \alpha(\Delta T). \tag{22}$$

Будемо вважати, що матеріал *II* має менші значення механічних характеристик, тобто його крива деформування лежить нижче кривої основного металу. Діаграми деформування основного металу і зварного шва схематизовано представлені на рис. 9. Для послідовного з'єднання маємо наступний вигляд деформаційного і силового рівнянь:

$$(1-k)\varepsilon_I + k\varepsilon_{II} = \varepsilon_{0}, \ \sigma_I = \sigma_{II} = \sigma_{0},$$
 (23)

де σ_0 — рівень напружень, що виникли внаслідок охолодження і защемлення труби; ε_I , ε_{II} та σ_I , σ_{II} — відповідно напруження та деформації в матеріалі I і II; k — відносна частка другого матеріалу у довжині всієї ділянки.

Для зручності аналізу діаграми деформування для основного металу і металу зварного шва представимо степеневою функцією з однаковим показником степені *n*, тобто:

$$\varepsilon_1 = (\sigma/\sigma_1)^n, \ \varepsilon_2 = (\sigma/\sigma_2)^n,$$
(24)

де σ_1 , σ_2 — відповідні характеристики матеріалу. Позначимо співвідношення між цими характеристиками параметром $m = \sigma_1/\sigma_2$ (m > 1). Якби вся ділянка складалась тільки з першого/другого матеріалу, то в ній для заданого рівня середньої деформації ε_0 виникли напруження $\sigma_I = \sqrt[n]{\varepsilon_0 \sigma_1}/\sigma_{II} = \sqrt[n]{\varepsilon_0 \sigma_2}$ (див. рис. 8). Проте реально на ділянці встановлюється проміжний рівень напружень σ_0 , ($\sigma_{II} < \sigma_0 < \sigma_I$) та відповідні йому деформації першого і другого матеріалів, ε_I і ε_{II} . Знайдемо їх.

Підставляючи в (23) значення деформацій (24) при $\sigma = \sigma_0$, отримаємо значення напружень σ_0 :



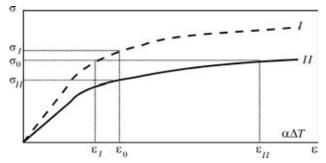


Рис. 9. Діаграми деформування основного металу і зварного шва (позначки див. у тексті)

$$\sigma_{0} = \frac{\sqrt[n]{\epsilon_{0}(\sigma_{1}\sigma_{2})}}{\sqrt[n]{(1-k)(\sigma_{2})^{n} + k(\sigma_{1})^{n}}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \sigma_{0} = \frac{\sigma_{I}}{\sqrt[n]{(1-k) + k(m)^{n}}} = \frac{\sigma_{II}}{\sqrt[n]{(1-k)(m)^{-n} + k}}.$$
(25)

3 цих формул видно, що при $k \to 1$ $\sigma_0 \to \sigma_{II}$, а при $k \to 0$ $\sigma_0 \to \sigma_{I}$. Знову застосовуючи формули (24) з урахуванням значення σ_0 (25), отримаємо наступні вирази для деформацій:

$$\varepsilon_{\rm I} = \frac{\varepsilon_0}{(1-k) + km^n}, \ \varepsilon_{\rm II} = \frac{\varepsilon_0}{(1-k)m^{-n} + k}.$$
 (26)

Приймаючи до розгляду конкретні значення параметрів, наприклад, m = 3, n = 2, побудуємо графік залежності відношення деформацій від параметру k (рис. 10).

Аналіз формул (26) і графіку рис. 10 свідчить про те, що при збільшенні відносної довжини елементу деформація в ньому прямує до номінальної величини ε_0 , яка була б в однорідному матеріалі (вся ділянка утворена з одного елементу). Проте якщо довжина елементу дуже мала порівняно з довжиною ділянки (відносна довжина прямує до нуля), то деформації в ній можуть дуже суттєво відрізнятися від номінальної. Ці деформації набагато менші за номінальні, якщо характеристики матеріалу короткої вставки більші за характеристики решти металу. І навпаки, деформації можуть бути значно більшими за номінальні, якщо характеристики матеріалу короткої вставки слабші за характеристики основної конструкції. Така ситуація дуже небезпечна, адже такі деформації можуть перевищувати здатність матеріалу опиратися руйнуванню.

При будівництві або ремонті трубопроводів механічні характеристики зварних швів або коротких трубних вставок повинні бути більшими за характеристики основного металу. Лише за таких умов може відбуватися релаксація вторинних, в тому числі термічних, напружень і можуть застосовуватись деформаційні критерії. У протилежному випадку, при термічному навантажуванні або пружному згині буде спостерігатися ло-

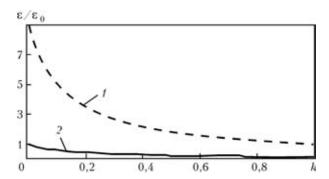


Рис. 10. Залежність деформації в зварному шві від параметру k: $I = \varepsilon_{II}/\varepsilon_{0}$; $2 = \varepsilon/\varepsilon_{0}$

калізація деформації в короткій зоні, що може призвести до руйнування трубопроводу. Особливо важлива ця вимога для трубопроводів, що прокладені в зонах можливих зсувів грунту (гориста, болотиста місцевість, зсувонебезпечні місця, зони шахтних виробіток). Вплив дефектів у шві на релаксаційні процеси в даній роботі обговорювати не будемо, зазначимо лише, що наявність дефектів в зварних з'єднаннях робить їх відносну міцність (приведену до номінальної товщини стінки) ще меншою, що значно ускладнює ситуацію.

Висновки

Існування в нормах поняття різних категорій напружень, що ϵ практичною реалізацією методології оцінки за граничним станом, для яких формулюються різні критерії граничного стану, ϵ важливою передумовою оцінки і врахування реальної тримальної здатності конструкцій.

На прикладі дефектів форми трубопроводів, а саме вм'ятини, осьової і кутової неспіввісностей, показано можливий консервативний підхід до оцінки конструкційної міцності шляхом розрахунку додаткових пружних напружень, пов'язаних з цими дефектами, і їх врахування в якості вторинних напружень, як це рекомендується нормами API 579.

Застосування деформаційних критеріїв в практиці проектування і експлуатації магістральних трубопроводів є подальшим логічним розвитком методології оцінки за граничним станом. Розглянута задача про навантаження внутрішнім тиском попередньо пружно викривленої труби показала, що початкові деформації ніяк не впливають на кінцевий розподіл напружень при значеннях окружних напружень, що значно перевищують межу плинності матеріалу. Це свідчить про те, що для однорідного досить пластичного матеріалу вторинні напруження мало впливають на граничний стан.

Отримано рішення для задачі температурного навантаження защемленої ділянки, що утворена двома послідовними елементами, які мають різні характеристики міцності, наприклад труба і зварне з'єднання. Якщо елемент, який має значно мен-



ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА

шу довжину, при цьому має і гірші механічні характеристики, то в ньому відбувається значна концентрація деформацій, що може призвести до руйнування. Це висуває додаткові умови щодо міцності зварних з'єднань в зонах можливих деформацій грунту або повітряних переходів трубопроводів.

Обсуждается взаимосвязь между нормами на проектирование и документами по анализу соответствия назначению трубопроводоных конструкций. Рассматривается сущность существующих в западных странах норм категоризации напряжений и отмечается необходимость введения подобных процедур в отечественные документы. На примере дефектов формы трудопровода (вмятин, осевых несоосностей труб) показана возможность применения категоризации напряжений для определения допустимых состояний. Обсуждается существующая практика применения деформационных критериев в трубопроводных стандартах, которая дает значительные резервы увеличения несущей способности трубопроводов. На примере трубы со сварным швом рассмотрены возможные проблемы, связанные с накоплением значительных деформаций.

- 1. *Fitness-For-Service*, API Recommended Practice 579, First Edition, American Petroleum Institute, January 2000.
- Красовский А., Орыняк И., Розгонюк В. Современные нормы обеспечения работоспособности объектов длительной эксплуатации // 3-я Междунар. конф. «Механика разрушения материалов и прочность конструкций».

 Львов, 2004. С. 377–393.
- Ориняк И. В., Радченко С. А. Напряженное состояние в криволинейных подземных трубах // Пробл. прочности. — 2003. — № 4. — С. 93–103.
- 4. *Guideline* for the Design of Buried Steel Pipe. ASCE. American Society of Civil Engineers, 2001. 83 p.

Ін-т проблем міцності ім. Г. С. Писаренка НАН України, Київ

- 5. *Melan E.* Zur Plastizitat des raumlichen Kontinuums, Ingenieur-Archiv. 1938. **8**. C. 116–126.
- Гвоздев А. А. Расчет несущей способности конструкций по методу предельного равновесия. — М.: Стройиздат, 1949.
- ASME Boiler and Pressure Vessel Code. American Society of Mechanical Engineers, New York, NY, 2000.
- 8. Hechmer J. L., Hollinger G. L. Considerations in the calculations of the primary plus secondary stress intensity range for Code stress classification // Codes & Standards and Applications for Design and Analysis of Pressure Vessel and Piping Components / Ed. R. Seshardi, ASME PVP. 1988. 136.
- 9. *Mackenzie D., Boyle J. T., Spence J.* Some recent developments in pressure vessel Design by Analysis // Proc. IMechE, Part E // J. of Process Mech Eng. 1994. **208**. P. 23–30.
- 10. *Tooth A. S., Ong L. S.* The derivation of the stresses in a pressurized pipe of cylindrical vessel with initial geometric imperfections // Strain. 1988. № 2. P. 7–13.
- 11. Орыняк И. В., Яковлева Е. С., Розгонюк В. В. Применение метода Чжена и Финни для расчета коэффициентов интенсивности напряжений в тонкостенных трубах с длинными осевыми трещинами с учетом геометрической нелинейности // Пробл. прочности. 2007. № 5. С. 5–18.
- Roche R. L. Modes of failureprimary and secondary stresses // Trans ASME J. Pressure Vessels Technology. — 1988. — 110. — P. 234–239.
- 13. *DNV OS F101*. DNV Rules for Submarine Pipeline Systems, Det Norske Veritas, Norway, 2000.
- CSA Z662-99. Oil and Gas Pipeline Systems, Canadian Standards Association, Etobicoke, Ontario, Canada, 1999, april.
- ASME B31.8 Gas Transmission and Distribution Piping Systems, ASME, New York, NY, 1995 Edition with Addenda.
- СНиП 2.05.06–85. Магистральные трубопроводы. Строительные нормы и правила. М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1985. 52 с.
- 17. Камерштейн А. Г., Рождественский В. В., Ручимский М. Н. Расчет трубопроводов на прочность. М: Недра, 1969. 440 с.
- EWI Project No 45892GTH. Strain-Based Design of Pipelines // Electric Welding Institute. Columbus OH. October 8, 2003.

Поступила до редакції 08.02.2007 УДК 681.7.013.8

МАГНИТООПТИЧЕСКАЯ ДЕФЕКТОСКОПИЯ ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Ю. С. АГАЛИДИ, С. В. ЛЕВЫЙ, В. А. ТРОИЦКИЙ, Ю. Н. ПОСЫПАЙКО

Кратко описаны физические основы нового для сварочного производства метода магнитооптического неразрушающего контроля, предназначенного для испытания поверхностных слоев ферромагнитных изделий. Представлены результаты экспериментальных исследований чувствительности метода к поверхностным трещинам и остаточным напряжениям.

The paper gives a brief description of physical fundamentals of the magnetooptic NDT method new for welding production, which is designed for testing surface layers of ferromagnetic items. Results of experimental investigations of the method sensitivity to surface cracks and residual stresses are given.

Метод неразрушающего контроля, основанный на магнитооптической визуализации магнитограмм (МОВ МГ), возник в результате развития средств регистрации рельефа магнитного поля на поверхности изделий в зонах повышенных напряжений и приповерхностных дефектов [1-3]. Создание этого метода позволило существенно расширить возможности оценки качества приповерхностных слоев ферромагнитных изделий, поднять чувствительность, разрешающую способность и достоверность. Технические средства МОВ МГ отличаются высокой производительностью, малыми энергопотреблением и расходом материалов, некритичностью к плоскостности, шероховатости и ориентации исследуемой поверхности, некритичностью к наличию лакокрасочного покрытия и коррозии, возможностями программной обработки и документирования результатов, автономностью и мобильностью.

Технология МОВ МГ включает ряд последовательно выполняемых процессов (рис. 1): возбуждение магнитных полей рассеяния дефектов контролируемого изделия и их запись на магнитный носитель, визуализация магнитограмм с использованием преобразователей на основе магнитооптического эффекта Фарадея [4], оценка результатов контроля с использованием алгоритмов принятия решений на основе экспертных оценок, опыта применения магнитных методов.

категорией поверхностных дефектов, которые пристально исследуются ввиду их опасности, привод магнитной ленты

являются трещины. Именно этот тип дефекта является тестовым при оценке чувствительности многих методов неразрушающего контроля [5].

Результаты эксперимента, представленные на рис. 2, позволяют сделать определенные предварительные оценки пороговой чувствительности средств МОВ МГ. На рис. 2, а представлено фотографическое изображение фрагмента поверхности тест-образца (сталь 45, $R_{\rm a}\approx 2,5$ мкм) с усталостными трещинами в области концентрирующего отверстия, образованными вследствие циклических изгибных нагрузок. Ширина раскрытия и длина каждой трещины измерена с использованием металлографического микроскопа **METAM** объект-микрометра отраженного света ОМО (ГОСТ 7513-55) и окуляр-микрометра винтового MOB-1-15^x (ГОСТ 7865-56). Для трещин, показанных на рис. 2, а, получены следующие харак-

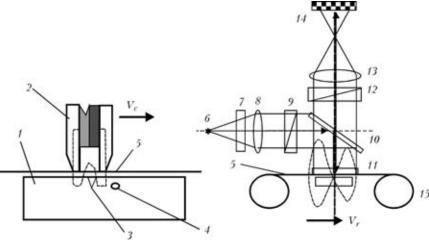
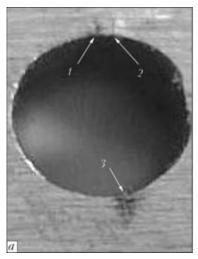


Рис. 1. Схема технологического процесса МОВ МГ: 1 — объект контроля; 2 — Наиболее распространенной генератор локального полюсного намагничивания; 3, 4 — поверхностный и подповерхностный дефекты; 5 — магнитная лента; 6 — источник света; 7 — теплофильтр; 8 — конденсор; 9, 12 — поляризаторы; 10 — светоделительная пластина; 11 магнитооптический преобразователь; 13 — объектив; 14 — фотоприемник; 15 —







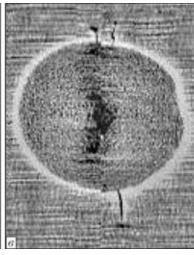


Рис. 2. Визуализация усталостных трещин тест-образца: a — фотографическое изображение; δ — МОВ МГ с высокочастотным подмагничиванием; ϵ — МОВ МГ с постоянным подмагничиванием

теристики: I — ширина 10...15 мкм, длина 200 мкм; 2 — ширина 10 мкм, длина 300 мкм; 3 — ширина 10...25 мкм, длина 500 мкм. Глубину трещин не определяли.

Результаты МОВ МГ, полученные при высокочастотном (рис. 2, δ) и постоянном подмагничивании (рис. 2, δ), показывают магнитную визуализацию трещин поз. I-3 более наглядно, чем оптическое изображение на фотоснимке. При детальном рассмотрении результатов магнитной визуализации заметно, что отображается не только геометрическая конфигурация трещин, но и области концентрации внутренних напряжений в точке роста трещины, где нет еще разрыва металла, т. е. потенциально наиболее опасные напряженные участки образца (рис. 2, δ).

В приведенном эксперименте трещины имели раскрытие около 10 мкм, что соответствует ранее полученным результатам [6] и не уступает условному уровню чувствительности «Б» для магнитопорошкового котроля [7]. На других экспериментальных образцах [8] были зафиксированы трещины с меньшим раскрытием. Теоретически раскрытие обнаруженных трещин может быть на уровне шумов магнитного носителя, т. е. порядка 0,8 мкм. Потенциально уровень чувствительности данного метода к трещинам может достигать долей микрона.

С целью получения сравнительной оценки чувствительности выполнена визуализация поверхностных трещин контрольного образца визуально-оптическим, капиллярным, магнитопорошковым и магнитооптическим методами (рис. 3).

Фотографические изображения поверхности и магнитооптические изображения (рис. 3, в) получены с использованием сканера модели SNAPS-KAN 1236 с разрешением 600 dpi. Увеличенное фотографическое изображение поверхности позволяет найти наиболее значительные дефекты (рис. 3, а) — мелкие поверхностные трещины, ка-

верны, пятна пигментации (рис. 3, *а*–*в*, поз. *1*) и элементы язвенной коррозии.

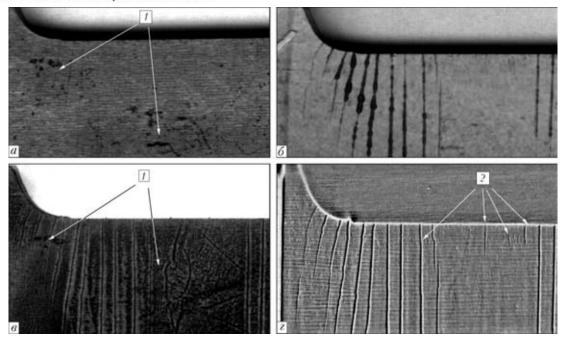
Визуализация капиллярным методом (рис. 3, б) с применением комплекта дефектоскопических материалов MR-Chemie показала более высокую чувствительность, однако с недостаточным пространственным разрешением следы близко расположенных трещин сливаются. Достоверность этого вида контроля считается достаточно высокой, поскольку изображение трещин контрастно наблюдается на фоне подложки (высокое соотношение сигнал/шум).

Магнитопорошковая дефектоскопия (рис. 3, ϵ) выполнена в условиях полюсного намагничивания контрольного образца. При этом в среднем сечении индукция $B_s \approx 1,5...1,8$ Тл. В качестве индикаторной жидкости использована магнитопорошковая суспензия на основе концентрата «РО-САВА-1200» (ТУ 13700348.23–97). Данный метод показывает чувствительность, сопоставимую с капиллярным методом, но более высокое пространственное разрешение при более низком соотношении сигнал/шум.

Вид магнитограмм МОВ при использовании локального полюсного возбуждения с высокочастотным подмагничиванием показан на рис. 3, ϵ . В этом случае достигнута наиболее высокая чувствительность, наиболее высокое пространственное разрешение и наивысшее соотношение сигнал/шум, что в совокупности обеспечивает более высокую достоверность контроля. В частности, метод МОВ МГ обнаруживает наиболее мелкие трещины (рис. 3, ϵ , поз. 2) в отсутствие шумов (рис. 3, ϵ , поз. 1).

Для численной сравнительной оценки чувствительности магнитооптического и магнитопорошкового методов к выявлению остаточных напряжений в поверхностных слоях выполнены исследования с использованием тест-образцов, содер-





 $Puc. \ 3. \$ Поверхностные трещины, выявленные различными методами: a — визуально-оптическим; b — капиллярным; b — магнитопорошковым; b — мов МГ (l — цветовая пигментация поверхности (шумы объекта); b — мелкие трещины, визуализируемые только методом МОВ МГ)

жащих остаточные напряжения убывающей амплитуды.

Заготовки тест-образцов представляют собой пластины листового металла (сталь 65Г по ГОСТ 1050–80, толщина 3 мм) размерами 20×200 мм. После отпуска и рихтовки заготовки были прошлифованы с обеих сторон до толщины 2,5 мм. Затем методом холодной штамповки была нанесена рельефная маркировка точечного типа. Тест-образец имеет 75 делений, выполненных с продольным шагом 2 мм (рис. 4, a). Десятичные деления выполнены в виде удлиненных вертикальных рисок. Углубления (точки) имеют форму конуса с диаметром основания 1 мм и глубиной $h_0 = 0,5$ мм.

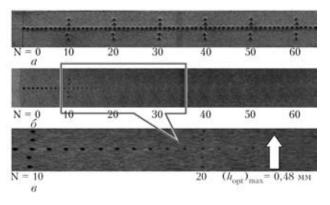


Рис. 4. Тест-образец, содержащий точечные рельефные вдавливания и остаточные напряжения материала в области удаленных рельефных впадин: a — поверхность заготовки; δ — исследуемая поверхность после шлифовки по наклонной плоскости; ϵ — визуально-оптическое изображение фрагмента образцов в зоне расположения 20 вмятин

После выполнения рельефных вдавливаний тест-образец был клиновидно отшлифован с лицевой стороны. Так получено пространственное распределение остаточных напряжений с затухающей амплитудой. Клиновидность исследуемой поверхности относительно основания составила 1:100.

На рис. 4, δ видно как убывают диаметры маркировочных точек по мере увеличения толщины снятого металла. Углубления в металле сняты, а напряжения остались.

Для описания глубины залегания исследуемых остаточных напряжений металла тест-образца применены следующие обозначения: $h_0=0.5\,$ мм — глубина нанесения рельефных вмятин; h^* — текущая толщина удаленного слоя металла; h — текущая толщина удаленного слоя металла под рельефной вмятиной, т. е. $h^*=h-h_0$. С учетом клиновидности исследуемой поверхности и применяемого шага градуировки расчет глубины залегания под рельефом h выполнялся по соотношению $h=Nk_l-h_0=N\cdot0,02-0,5\,$ [мм].

Внешний вид исследуемой поверхности тестобразца после шлифовки на конус приведен на рис. 4, δ , ϵ . Наблюдаемая визуально-оптически глубина остаточного рельефа маркировки, показанная на рис. 4, ϵ , соответствует $(h_{\rm opt})_{\rm max} = 0.40...0,48$ мм.

С целью выяснения возможностей визуализации остаточных напряжений было выполнено магнитографирование конусообразного тест-образца и получена МОВ, приведенная на рис. 5.

Для части образца сделана магнитограмма (рис. 5, δ). Для оценки световой картины сняты



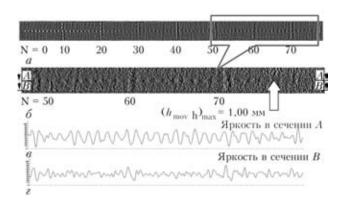


Рис. 5. Магнитооптическая визуализация точечных остаточных напряжений: a — внешний вид образца; δ — увеличенный фрагмент 50...75 точек; ϵ — яркость в среднем (сигнальном) сечении; ϵ — яркость в периферийном (сигнально-шумовом) сечении

две диаграммы распределения яркости — в сечении A, совпадающим с осью расположения вмятин, и в сечении B, где встречаются только вертикальные линии из вмятин, соответствующие 50, 60 и 70 порядковым номерам. Из рис. 5, θ , ϵ следует, что рельеф распределения остаточных напряжений повторяет рельеф удаленных вмятин.

Таким образом, метод МОВ МГ визуализирует остаточные напряжения во всем диапазоне сигналов тест-образцов, т. е. до глубины $(h_{\text{mov }h})_{\text{max}} \approx 0.90...1,00$ мм — ниже удаленного рельефа. На тех же образцах выполнена магнитопорошковая визуализация (рис. 6) в условиях полюсного намагничивания материала тест-образца до состояния насыщения в среднем сечении (индукция $B_s \approx 1.5...1,8$ Тл). В опытах использовали индикаторную магнитопорошковую суспензию на основе концентрата «РОСАВА-1200» ТУ 13700348.23–97.

По данным рис. 6, a, δ , магнитопорошковый метод визуализирует остаточные напряжения в диапазоне отметок тест-образца 38-70, ограниченном глубиной залегания $(h_{\rm mp})_{\rm max}\approx 0,80...0,86$ мм ниже удаленного рельефа. Характер распределения амплитуд сигнала можно видеть по иллюстрациям рис. 6, ϵ , ϵ , где представлены графики яркости изображений для указанных сечений.

Анализ полученных экспериментальных данных показывает, что метод МОВ МГ имеет более широкий диапазон визуализируемых амплитуд остаточных напряжений, поскольку проявляет чувствительность к наклепным дефектам на глубине залегания $(h_{\text{mov }h})_{\text{max}} \approx 0,90...1,00$ мм, в то время, как чувствительность магнитопорошкового метода ограничилась значением $(h_{\text{mp}})_{\text{max}} \approx 0,80...0,86$ мм. Кроме того, метод МОВ МГ имеет более высокое (на 2...8 дБ) соотношение сигнал/шум по отношению к магнитопорошковому методу, что обеспечивает его результатам более высокую достоверность [9].

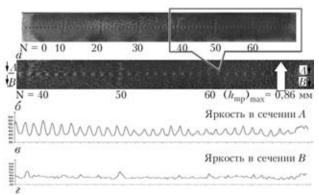


Рис. 6. Магнитопорошковая визуализация точечных остаточных напряжений: a — общий вид; δ — увеличенный фрагмент 40...68 точек; ϵ — яркость в среднем (сигнальном) сечении; ϵ — яркость в периферийном (сигнально-шумовом) сечении

Приведем некоторые примеры применения средств МОВ МГ к реальным объектам.

Пример дефектоскопии сварных швов средствами МОВ МГ представлен на рис. 7. Это составная пластина листового металла (Ст3 толщиной 2,2 мм слева и 1,5 мм справа), соединенная встык при помощи двусторонней аргонодуговой сварки. Лицевая сторона зачищена и не имеет уступа, обратная — с уступом по толщине. С лицевой стороны сварной шов зачищен при помощи абразивного круга (Rz 40). Исследуемая поверхность лишена покрытия, ее визуально-оптические исследования позволяют обнаружить область левой границы сварного шва по изменению цвета металла (1), область правой границы шва не обнаруживается, очевидно, вследствие оплавления края тонкого листа и последовавших за этим диффузионных процессов. Поверхностных дефектов не обнаружено.

Результаты визуализации средствами МОВ МГ (рис. 7, 6) также позволяют выявить области коренного шва сварки на фоне следов механообработки поверхности (1). Кроме того, на магнитограмме видны подповерхностные дефекты типа цепочек пузырьков (2). Хорошо различима также область правой границы шва, совпадающая с внутренним уступом по толщине (3).

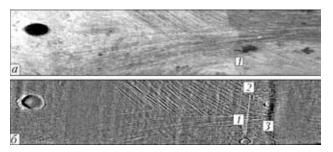
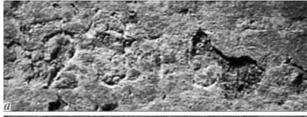


Рис. 7. Сварной шов без поверхностных дефектов (зачистка с лицевой стороны): a — фотография поверхности тест-образца; δ — МОВ МГ тест-образца (l — кромка сварного шва; 2 — подповерхностные пузырьки воздуха; 3 — область корня шва)

НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ





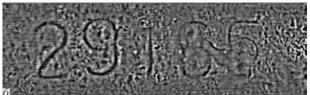


Рис. 8. Корродированная поверхность (толщина коррозии 0,3...0,5 мм): a — изображение поверхности тест-образца; δ — МОВ М Γ поверхности тест-образца

Другой пример касается применения метода МОВ МГ в условиях корродированной поверхности (рис. 8). Тест-образец представлен в виде пластины металла (ст.08кп толщиной 1 мм) с рельефной маркировкой лицевой поверхности знаками «29165», выполненной путем клеймления. Образец был подвержен химической обработке, способствующей активной коррозии. Вследствие образования на поверхности образца рыхлой, пластинчатой ржавчины толщиной до 0,5 мм цифры практически неразличимы (рис. 8, а).

Результаты исследования МОВ МГ (рис. 8, δ) позволили провести уверенное восстановление знаков первичного номера «29165» по структуре ржавчины и остаточному рельефу знаков. Данный результат представляет безусловный интерес с точки зрения установления значения маркировочных данных, уничтоженных коррозией, однако его ценность, с точки зрения дефектоскопии корродированных поверхностей, не определена.

В заключение следует отметить, что метод и программно-аппаратные средства МОВ МГ были разработаны Межотраслевой лабораторией методов и средств спецтехники радиотехнического факультета Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт» для специального применения — обеспечения экспертно-криминалистических исследований рельефных маркировочных обозначений ферромагнитных поверхностей. Их апробация и внедрение по прямому назначению оказались весьма успешными — комплексы моделей «Вий-5» экс-

Нац. техн. ун-т Украины «Киевский политехнический институт», Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев

плуатируются в экспертно-криминалистических подразделениях Украины, стран ближнего и дальнего зарубежья.

Выводы

Представленные экспериментальные данные свидетельствуют о достаточно высоких показателях качества неразрушающего контроля, полученных методом МОВ МГ, что делает перспективным его дальнейшие исследования для оценки эффективности применения в области дефектоскопии.

Полученные оценки чувствительности метода МОВ МГ к различным классам дефектов показывают его превосходство над магнитопорошковым, капиллярным и визуально-оптическим методами. Априорно есть основания полагать, что метод МОВ МГ имеет преимущества и перед другими методами неразрушающего контроля в диапазоне приповерхностных слоев до 1...2 мм и при исследовании тонкостенных ферромагнитных изделий.

- Троицкий В. А. Магнитопорошковый контроль сварных соединений и деталей машин. — Киев: Феникс, 2002. — 300 с.
- Пат. 42880 Україна. С. В. Лєвий, Ю. С. Агаліді. Спосіб магнітооптичного контролю виробу. — Заяв. № 99074257, від 22.07.1999. Приоритет від 05.10.2001. Бюл. № 10, 7G 01N 27/82, 27/83.
- Пат. 2159426 РФ. С. В. Левый, Ю. С. Агалиди. Способ магнитооптического контроля изделия. — Заяв. 25.10.1999; Опубл. 20.11.2000. — Бюл. № 32. — 6 с.
- Levy S. V., Ostrovsky A. S., Agalidi Yu. S. Magnetic field topographical survey by space-time light modulators. SPIE Proceedings. — 1993. — Vol. 2108. — P. 142–146.
- ДСТУ 2865–94. Контроль неруйнівний. Терміни та визначення. Затвердж. та введ. 08.12.1994. Київ: Держстандарт України, 1995. 51 с.
- 6. *Агалиди Ю. С., Левый С. В., Мачнев А. М.* Экспериментальная оценка чувствительности и достоверности магнитооптической визуализации рельефных трасс // Вісник НТУУ «КПІ». Сер. Приладобудування. 2006. № 32. С. 39–46.
- 7. ГОСТ 21105–87. Контроль неразрушающий. Магнитопорошковый метод; Введ. 01.01.1988 взамен ГОСТ 21105–75; Переизд. (апрель 1992 г.) с Изменением № 1, утвержденным в сентябре 1989 г. (ИУС 1-90). М.: Изд-во стандартов. 1992. 17 с.
- Применение магнитооптического преобразователя для восстановления сигнала по неформатным записям / С. В. Левый, А. М. Мачнев, Ю. С. Агалиди и др. // Вестник НТУУ «КПИ». Сер. Радиоэлектроника. 2000. 43, № 5. С. 62–66.
- Агалиди Ю. С., Левый С. В., Мачнев А. М. Сравнительный анализ магнитопорошкового и магнитооптического методов визуализации пространственного распределения магнитного поля при исследовании остаточных напряжений // Вісник НТУУ «КПІ». Сер. Приладобудування. 2006. № 31. С. 18–24.

Поступила в редакцию 01.08.2007



УДК 621.124.19

АНАЛИЗ ВОЛН, ИЗЛУЧАЕМЫХ SV-ПОЛЯРИЗОВАННЫМИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНО-АКУСТИЧЕСКИМИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ В ПЛАСТИНАХ

В. Е. ЧАБАНОВ, В. И. ГОРДЕЛИЙ

Проведен анализ волн, излучаемых SV-поляризованными электромагнитно-акустическими преобразователями в пластинах. Нормальные волны в пластинах аналогичны поверхным волнам Рэлея, представляют собой результат суперпозиции волн продольной и поперечной поляризации, формирующих особый тип волн. ЭМАП являются источниками для возбуждения и приема нормальных волн в пластинах, а регулировкой расстояний между токопроводами можно в определенной мере повышать или понижать амплитуды выбранных нормальных волн.

Analysis of waves radiated by SV-polarized electromagneto-acoustic transducers in plates has been conducted. Normal waves in plates are similar to Raleigh surface waves, and are the result of superposition of waves of the longitudinal and transverse polarization, forming a special wave type. EMAT are sources for excitation and receipt of normal waves in plates, and varying the distance between the current conduits allows to a certain extent increasing or lowering the amplitudes of the selected normal waves.

Теоретические исследования упругих колебаний в пластинах до настоящего времени изучены мало. В работах [1–8] источники представлены набором абстрактных поверхностных нагрузок или плоских волн, а не реальными излучателями. Сигналы применяются только монохроматические, а не импульсные, поэтому переходные характеристики не рассматриваются, задачи, как правило, решаются в двухмерном, а не трехмерном представлении и т. д. В этой связи актуальность решаемой задачи представляется несомненной. Она представляет интерес не только для дефектоскопии пластин, но и для низкочастотного контроля рельсов, других протяженных объектов.

Волны, излучаемые SV-поляризованными ЭМАП на границе упругого полупространства, исследовались нами неоднократно, поэтому в начальной части задачи ограничимся готовыми результатами.

Схема задачи приведена на рис. 1, где I — среда, в которой находится катушка преобразователя (в данном случае воздух); 2 — контролируемая среда; 3 — экран, расположенный перед магнитопроводом; 4 — магнитопровод; I_0 — сила тока в одном токопровод; L — его длина, равная ширине внешнего магнитопровода в направлении оси x. Все остальные параметры задачи показаны на рис. 1.

В результате применения пространственного преобразования Фурье, известных граничных условий на поверхности раздела для потенциала, возбуждаемого токопроводами в контролируемой среде магнитного поля, после ряда преобразований получаем [9]:

$$A_{2} = D_{1} \int_{-\infty-\infty}^{\infty} \int_{-\infty-\infty}^{\infty} \psi_{2}(\alpha, \beta) \frac{\sin(\alpha L/2)}{\alpha L/2} \times e^{-q_{2}z} e^{i(\alpha x + \beta y - \beta y_{0})} d\alpha d\beta,$$
 (1)

$$\begin{split} Q_{3}\left(Q_{3}shq_{3}s+Q_{4}chq_{3}s\right)\left[e^{q_{1}(H-h)}-S_{3}e^{-q_{1}(H-h)}\right]+\\ \Psi_{2}\left(\alpha,\beta\right)&=\frac{+Q_{1}\left(Q_{3}chq_{3}s+Q_{4}shq_{3}s\right)\left[e^{q_{1}(H-h)}+S_{3}e^{-q_{1}(H-h)}\right]}{Q_{1}chq_{1}H\left[Q_{3}chq_{3}s\left(Q_{2}+Q_{4}\right)+shq_{3}s\left(Q_{3}^{2}+Q_{2}Q_{4}\right)\right]+\\ &+shq_{1}H\left[Q_{3}chq_{3}s\left(Q_{2}Q_{4}+Q_{1}^{2}\right)+shq_{3}s\left[Q_{2}Q_{3}^{2}+Q_{1}^{2}Q_{4}\right]\right] \end{split}$$

где $D_1 = \frac{\mu_0 I_0 L}{8\pi^2}; \ q_j = \sqrt{\alpha^2 + \beta^2 - k_j^2}; \ k_j^2 = \frac{\omega \mu_j}{c_0^2} \bigg(\omega \varepsilon_j - \frac{i\sigma_j}{\varepsilon_0} \bigg);$ c_0 — скорость света в вакууме; $c_0^2 = (\varepsilon_0 \mu_0)^{-1}; \omega$ — круговая частота; временная зависимость электромагнитной волны представлена в виде $\exp(-i\omega t);$ $\varepsilon_j, \ \mu_j$ — соответственно диэлектрическая и магнитная проницаемости сред; σ_j — удельные электропроводности; k_j — волновое число; $\overrightarrow{A_i}$ — век-

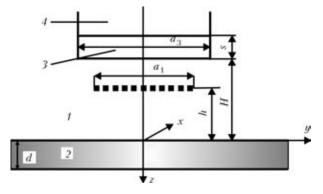


Рис. 1. Схема задачи (обозначения см. в тексте)



НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ

торный потенциал индукции B переменного магнитного поля, вызываемого проводником в ј-м слое преобразователя; $\overrightarrow{B_j} = \text{rot} \overrightarrow{A_j}, \ Q_j = q_j/\mu_j, \ \mu_0 = 1,26\cdot10^{-6} \ \Gamma_{\text{H/M}}, \ \epsilon_0 = 8,86\cdot10^{-12} \ \Phi/\text{м}; \ W$ — функция, учитывающая конечность размеров экрана

$$3$$
 и магнитопровода; $W = \frac{e^{i\beta y_0} \sin(\beta a_3/2)}{\beta a_3/2}$; y_0 — ко-

ордината конкретного токопровода в направлении у.

Получаем следующее решение для величины f_v — механической силы, направленной вдоль оси \dot{y} , которая действует на единицу объема контролируемого вещества и возбуждается токами Фуко, генерируемыми одним проводником с током, при их взаимодействии с постоянным магнитным полем:

$$f_{y} = i\omega B_{0}\sigma_{2}D_{1}\int_{-\infty-\infty}^{\infty} \psi_{2}(\alpha, \beta) \frac{\sin(\alpha L/2)}{\alpha L/2} \times e^{-q_{2}z} e^{i(\alpha x + \beta y - \beta y_{0})} d\alpha d\beta.$$
 (2)

В данном решении электромагнитной части задачи приняты во внимание все параметры токопровода, экрана и магнитопровода, а также величины всех используемых при конструировании ЭМА-преобразователей зазоров. Оно получено без каких-либо дополнительных условий, кроме показанных в начале задачи, и без искусственных допущений, а поэтому является достаточно строгим. После подстановки в неоднородные волновые уравнения этой функции и выполнения всех требуемых преобразований при условии, что длина токопроводов существенно больше всех имеющихся зазоров для скалярного и векторного потенциалов возбуждаемых акустических волн полное акустическое поле в пластине будем находить в следующей форме:

$$\begin{split} \Phi &= \iint\limits_{-\infty-\infty}^{\infty} \left[(A_1 e^{qz} + B_1 e^{-qz}) - D_3 \beta \left[\frac{e^{-qz}}{2q(q_2 - q)} + \frac{e^{-q_2 z}}{q^2 - q_2^2} \right] \right] \times \\ & \times e^{i[\alpha x + \beta (y - y_0)]} d\alpha d\beta, \\ \Pi_x &= \iint\limits_{-\infty-\infty}^{\infty} \left[(A_2 e^{q_z z} + B_2 e^{-q_z z}) + i D_3 q_2 \left[\frac{e^{-q_z z}}{2q_t (q_2 - q_t)} + \frac{e^{-q_2 z}}{q_t^2 - q_2^2} \right] \right] \times \\ & \times e^{i[\alpha x + \beta (y - y_0)]} d\alpha d\beta. \end{split} \tag{3}$$

где
$$\begin{split} &D_3 = \frac{\sqrt{2\pi}D_2 S \operatorname{Sinc}(\alpha L/2) \psi(\alpha,\,\beta)}{\rho \omega^2}, \;\; q = \sqrt{\alpha^2 + \beta^2 - k^2}\,; \\ &\operatorname{Sinc}\;\; (Z) = \sin(Z)/Z, \\ &D_2 = \frac{\omega \mu_0 B_0 \sigma_2 I_0 L}{8\pi^2}, \; q_t = \sqrt{\alpha^2 + \beta^2 - k_t^2}, \; q_2 = \sqrt{\alpha^2 + \beta^2 - k_2^2}. \end{split}$$

Неизвестные A_i и B_i находятся из условий на границах контролируемой среды (z = 0, d), получаемых с помощью известного уравнения Навье-Стокса [1]:

$$\sigma_{zz} = \lambda \left(\frac{\partial^{2}}{\partial x^{2}} + \frac{\partial^{2}}{\partial y^{2}} + \frac{\partial^{2}}{\partial z^{2}} \right) \Phi +$$

$$+ 2\mu \frac{\partial^{2} \Phi}{\partial z^{2}} - 2\mu \frac{\partial^{2} \Pi_{x}}{\partial y \partial z} = 0,$$

$$\frac{\sigma_{yz}}{\mu} = 2 \frac{\partial^{2} \Phi}{\partial y \partial z} + \frac{\partial^{2} \Pi_{x}}{\partial z^{2}} - \frac{\partial^{2} \Pi_{x}}{\partial y^{2}} = 0.$$
(4)

В данных решениях σ_{zz} описывает продольную, а σ_{xz} — поперечную составляющую тензора напряжения в твердом теле; у, и — объемный и сдвиговой параметры Ламэ среды.

В результате подстановки решений (3) в граничные условия (4) для поиска неизвестных $A_{1,2}$ и $B_{1,2}$ получаем следующую систему линейных алгебраических уравнений:

$$\begin{bmatrix} A_1 \\ B_1 \\ A_2 \\ B_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} M & M & -2i\beta q_t & 2i\beta q_t \\ 2i\beta q & -2i\beta q & q_t^2 + \beta^2 & q_t^2 + \beta^2 \\ Me^{qd} & Me^{-qd} & -2i\beta q_t e^{q,d} & 2i\beta q_t e^{-q,d} \\ 2i\alpha q e^{qd} & -2i\alpha q e^{-qd} & \left(q_t^2 + \beta^2 \right) e^{q,d} & \left(q_t^2 + \beta^2 \right) e^{-q,d} \end{bmatrix} = -D_3 \begin{bmatrix} \beta F_1 \\ iF_2 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

где

$$F_{1} = \frac{M}{2q(q_{2} - q)} + \frac{2(\alpha^{2} + \beta^{2}) - p^{2}k_{2}^{2}}{k_{2}^{2} - k^{2}} + \frac{q_{2}}{q_{2} - q_{t}} + \frac{2q_{2}^{2}}{k_{2}^{2} - k_{t}^{2}};$$

$$F_{2} = \frac{\beta^{2}}{q_{2} - q} + \frac{2\beta^{2}q_{2}}{k_{2}^{2} - k^{2}} + \frac{q_{2}\Omega - \alpha^{2}q_{t}}{2q_{t}(q_{2} - q_{t})} + \frac{q_{2}(2\beta^{2} - k_{2}^{2})}{k_{2}^{2} - k_{t}^{2}};$$

$$M = 2(\alpha^{2} + \beta^{2}) - k_{t}^{2}.$$

После ее решения и подстановки результатов в интегралы (4) получаем:

$$\Phi = \iint_{-\infty,\infty} [A_1 e^{T} + B_1 e^{T}] - D_3 \beta \left[\frac{2q(q_2 - q)}{2q(q_2 - q)} + \frac{q^2 - q_2^2}{q^2 - q_2^2} \right] \times$$

$$\times e^{i[\alpha x + \beta(y - y_0)]} d\alpha d\beta,$$

$$\Phi = \iint_{-\infty,\infty} D_3 \frac{W_1(\alpha, \beta) e^{q(z - d)} + W_2(\alpha, \beta) e^{-q(z - d)}}{Z(\alpha, \beta)} \times$$

$$\times e^{i[\alpha x + \beta(y - y_0)]} d\alpha d\beta,$$

$$\times e^{i[\alpha x + \beta(y - y_0)]} d\alpha d\beta,$$

$$\times e^{i[\alpha x + \beta(y - y_0)]} d\alpha d\beta,$$

$$\times e^{i[\alpha x + \beta(y - y_0)]} d\alpha d\beta,$$

$$\times e^{i[\alpha x + \beta(y - y_0)]} d\alpha d\beta,$$

$$\times e^{i[\alpha x + \beta(y - y_0)]} d\alpha d\beta.$$

$$\times e^{i[\alpha x + \beta(y - y_0)]} d\alpha d\beta.$$

$$\times e^{i[\alpha x + \beta(y - y_0)]} d\alpha d\beta.$$

$$\times e^{i[\alpha x + \beta(y - y_0)]} d\alpha d\beta.$$

$$\times e^{i[\alpha x + \beta(y - y_0)]} d\alpha d\beta.$$

$$\times e^{i[\alpha x + \beta(y - y_0)]} d\alpha d\beta.$$

$$\times e^{i[\alpha x + \beta(y - y_0)]} d\alpha d\beta.$$

$$\times e^{i[\alpha x + \beta(y - y_0)]} d\alpha d\beta.$$

$$\times e^{i[\alpha x + \beta(y - y_0)]} d\alpha d\beta.$$

$$\times e^{i[\alpha x + \beta(y - y_0)]} d\alpha d\beta.$$

В данных функциях использованы следующие обозначения:



$$\begin{split} W_{1}(\alpha,\beta) &= \beta \left\{ F_{1}\Omega \begin{bmatrix} \Xi(ch(q_{i}d) - e^{qd}) + \\ +M\Omega sh(q_{i}d) \end{bmatrix} + 2F_{2}q_{i} \begin{bmatrix} M\Omega(ch(q_{i}d) - e^{qd}) + \\ +\Xi sh(q_{i}d) \end{bmatrix} \right\} \\ W_{2}(\alpha,\beta) &= \beta \left\{ F_{1}\Omega \begin{bmatrix} \Xi(ch(q_{i}d) - e^{-qd}) - \\ -M\Omega sh(q_{i}d) \end{bmatrix} + 2F_{2}q_{i} \begin{bmatrix} M\Omega(e^{-qd} - ch(q_{i}d)) + \\ +\Xi sh(q_{i}d) \end{bmatrix} \right\} \\ W_{3}(\alpha,\beta) &= 2F_{1}\beta^{2}q \begin{bmatrix} M\Omega(ch(qd) - e^{q_{i}d}) + \\ +\Xi sh(qd) \end{bmatrix} + F_{2}M \begin{bmatrix} \Xi(ch(qd) - e^{q_{i}d}) + \\ +M\Omega sh(qd) \end{bmatrix} \\ W_{4}(\alpha,\beta) &= 2F_{1}\beta^{2}q \begin{bmatrix} M\Omega(ch(qd) - e^{-q_{i}d}) - \\ -\Xi sh(qd) \end{bmatrix} + F_{2}M \begin{bmatrix} \Xi(ch(qd) - e^{-q_{i}d}) + \\ +M\Omega sh(qd) \end{bmatrix} \\ Z(\alpha,\beta) &= (M\Omega - \Xi)^{2}ch[(q+q_{i})d] - (M\Omega + \Xi)^{2}ch[(q-q_{i})d] + 4M\Omega \Xi \end{split}$$

$$\Omega = q_t^2 + \beta^2$$
; $\Xi = 4\beta^2 qq_t$

Характерные решения для этих функций получаем при $Z(\alpha, \beta) = 0$. Именно они и формируют дисперсионные кривые, описывающие волны в пластинах. Они выполняются, когда

$$(M^2 - E) sh \frac{(q + q_t)d}{2} \pm (M^2 + E) sh \frac{(q - q_t)d}{2} = 0.$$
 (6)

Для решения уравнений (6) введем следующие обозначения: $\alpha = k_t \Theta \sin \zeta$; $\beta = k_t \Theta \cos \zeta$.

Тогла

$$q = k_t \sqrt{\Theta^2 - p^{-2}} = k_t q^0, \ p = c/c_t, \ q_t = k_t \sqrt{\Theta^2 - 1} = k_t q_t^0,$$

$$q_2 = k_t \sqrt{\Theta^2 - m_2^2} = k_t q_2^0, \ m_2 = k_2/k_t,$$

$$M = k_t^2 (2\Theta^2 - 1) = k_t^2 M_0, \ E = k_t^4 (4\Theta^2 q^0 q_t^0) = k_t^4 E_0.$$

В таком случае решения для дисперсионных кривых принимают вид:

$$[(2\Theta^{2} - 1)^{2} + 4\Theta^{2}\sqrt{p^{-2} - \Theta^{2}} \sqrt{1 - \Theta^{2}}] \times \times \sin \left[\pi d_{0}(\sqrt{p^{-2} - \Theta^{2}} + \sqrt{1 - \Theta^{2}})\right] \pm \pm \left[(2\Theta^{2} - 1)^{2} - 4\Theta^{2} \sqrt{p^{-2} - \Theta^{2}} \sqrt{1 - \Theta^{2}}\right] \times \times \sin \left[\pi d_{0}(\sqrt{p^{-2} - \Theta^{2}} + \sqrt{1 - \Theta^{2}})\right] = 0,$$
(7)

где $d_0 = d/\lambda_t$ — волновые размеры пластин из произвольного материала.

Чтобы установить граничные значения волновых размеров пластины, начиная с которых начинают зарождаться новые моды колебаний, положим $\Theta = c_l/c_n = 0$, т. е. в данном случае c_n скорости нормальных волн в пластинах становятся равными бесконечности. Откуда для граничных значений волновых размеров получаем:

$$\sin \left[\pi d_0 (1 + p^{-1}) \right] - \sin \left[\pi d_0 (1 - p^{-1}) \right] = 0;$$

$$\sin \left[\pi d_0 (1 + p^{-1}) \right] + \sin \left[\pi d_0 (1 - p^{-1}) \right] = 0.$$

т. е.

$$\sin (\pi d_0 p^{-1}) \cos (\pi d_0) = 0$$
 и $\cos (\pi d_0 p^{-1}) \sin (\pi d_0) = 0$.

Для первого случая, описывающего асимметричные волны в пластине, получаем: $d_{sn1} = np$ или $d_{sn2} = n+1/2$, где n — номера волновых мод, $n=0,1,2,\ldots$ Иначе говоря, асимметричные (изгибные) волны зарождаются, когда толщина пластины оказывается равной целому числу продольных волн или нечетному числу полуволн поперечного типа.

Для второго решения, описывающего симметричные волны, имеем: $d_{an1} = (n+1/2)p$, $d_{an2} = n$. Таким образом, дополнительные симметричные моды появляются, когда толщина пластины оказывается либо равной нечетному числу полуволн продольной волны, либо целому числу волн поперечной волны.

Из полученных решений следует, что лишь нулевые моды в пластинах распространяются до толщин пластин, меньших половины длины поперечной волны, т. е. пока $d < \lambda_t/2$, а после этого начинают зарождаться все последующие моды.

Выше приведены значения фазовых, а не групповых значений волн в пластинах, поэтому они могут превосходить величины физических скоростей распространения энергии упругих волн в пластинах.

Рассмотрим случай малых d_0 и сравнительно небольших значений Θ . Тогда можно использовать асимптотические величины синусов и для симметричных волн справедливы следующие приближенные решения:

$$2\sqrt{1-\Theta_s^2}\left[(2\Theta_s^2-1)^2+4\Theta_s^2(p^{-2}-\Theta_s^2)\right]=0. \tag{8}$$

Откуда следует

$$\Theta_s = \frac{1}{2\sqrt{1 - p^{-2}}}. (9)$$

Именно данное решение позволяет находить величины скоростей симметричных составляющих нулевых мод при малых толщинах пластины. В частности, для углеродистых сталей эта величина равна 1,667, т. е. скорость нулевой симметричной волны при малых значениях волновых размеров пластины равна 5,384 км/с, а при точных решениях, определяемых выражениями (9), Θ = 1,672 и скорость равна 5,41 км/с. Таким образом, приближенное решение достаточно неплохо описывает величину Θ_s при малых волновых толщинах пластины.

Строгие решения для дисперсионных уравнений (7) установить не представляется возможным, в связи с чем они получены численным путем. Соответствующие графики для симметричных и асимметричных волн в пластинах из углеродистой стали приведены на рис. 2.

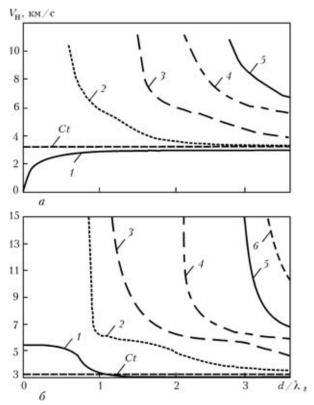


Рис. 2. Изменение скоростей симметричных (a) и асимметричных (δ) составляющих нормальных волн в зависимости от волновых размеров пластин: 1 — мода 0; 2 — 1; 3 — 2; 4 — 3; 5 — 4; 6 — 5

Для учета импульсных характеристик полей воспользуемся следующим аналитическим описа-

нием:
$$F(\tau) = \left(e^{\frac{\eta}{\gamma}}\right)^{\gamma} \tau^{\gamma} \cos{(\omega_0 \tau)}$$
, параметры которого, наиболее близкие к описанию реальных сигналов, имеют значения $\gamma = 2$ и $\eta = 0.2\omega_0$.

Пользуясь полученными решениями, первоначально исследуем поля, излучаемые одним токопроводом ЭМАП в пластину. При этом рабочую частоту будем считать равной 1 МГц, зазор между катушкой и поверхностью контроля 1 мм, волновой размер токопровода 0,1, угол наблюдения 0, расстояние до точки наблюдения 10 см, амплитуда тока возбуждения 1 А, индукция постоянного

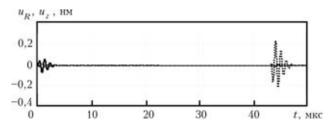


Рис. 3. Импульсные сигналы, излучаемые одним токопроводом и распространяющиеся в пластинах малой толщины

магнитного поля 1 Тл, длина токопровода 20 мм (рис. 3).

Здесь и дальше сплошные линии описывают радиальные, а прерывистые — нормальные составляющие смещений волн. Первая волна соответствует более быстрой изгибной волне, вторая — медленной, т. е. симметричной. Из результатов расчета следует, что если у изгибной волны в большей мере проявляется нормальная составляющая смещений, то у симметричной — радиальная. При этом формы импульсного сигнала соответствуют таковой у источника тока. Понятно, что поскольку указанные волны распространяются с различными скоростями, они наблюдаются в разные моменты времени.

Рассмотрим, как зависят данные смещения от глубины точки наблюдения внутри пластины (рис. 4).

Если в изгибной волне имеет место изменение амплитуды с глубиной, то в симметричной — нет. Причем, чем на более низкой частоте осуществляется работа ЭМАП, тем большей оказывается амплитуда сигналов. На этот процесс, по-видимому, больше влияют характеристики работы ЭМАП, чем геометрические свойства пластин (рис. 5).

Таким образом, поскольку скорость волны существенно зависит от ее типа, у изгибных волн, которые распространяются значительно медленнее, чем симметричные, и направленность излучения оказывается большей.

Аналогичным образом рассмотрим поведение волн, когда волновая толщина пластины существенно больше и равна 1. При этом в пластине одновременно распространяются две изгибные и две симметричные волны (рис. 6).

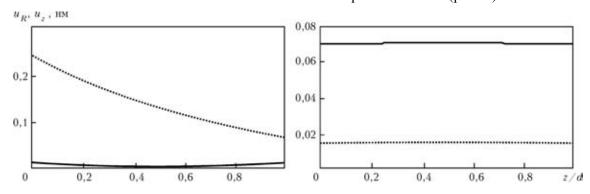
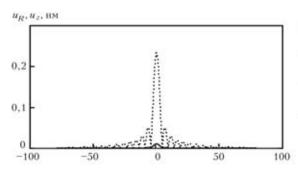


Рис. 4. Распределение смещений изгибной и радиальной мод колебаний от глубины





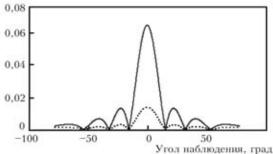


Рис. 5. График зависимости смещений изгибной и симметричной волн от угла наблюдения

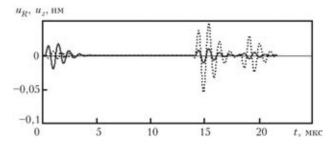


Рис. 6. Составляющие всех смещений, распространяющихся по поверхности пластины

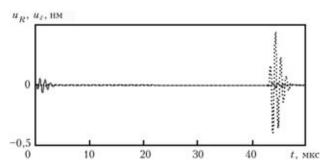


Рис. 7. Расчет временной формы сигналов, излучаемых диполем в пластине волновой толщины, равной 0,1, при базе диполя $0,811\,\mathrm{mm}$

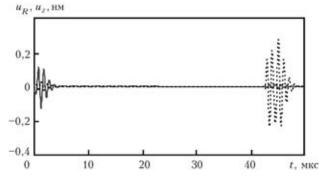


Рис. 8. Расчет временной формы сигналов при расстоянии между токопроводами диполя 2,726 мм, равном половине длины волны изгибной волны

Таким образом, вначале к точке наблюдения приходят самые быстрые моды, и только потом — все последующие. Именно этим объясняется столь сложная картина импульсов, приходящих к точке наблюдения от произвольных источников, а также сложность их использования для НК плас-

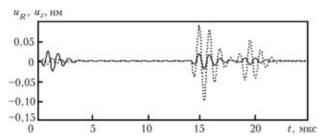


Рис. 9. Расчет временной формы сигналов, излучаемых диполем в пластине волновой толщины, равной 1, при базе диполя 1,455 мм

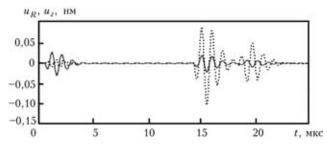


Рис. 10. Расчет временной формы сигналов, излучаемых диполем в пластине при базе диполя 1,663 мм, соответствующей максимуму первой изгибной волны

тин, трудность локализации обнаруживаемых дефектов.

На характеристики волн, излучаемых ЭМАП в пластины, существенное влияние способно оказать расстояние между токопроводами. Для оценки этого эффекта исследуем работу диполей для тонкой пластины. Вначале рассмотрим случай, когда зазор между токопроводами диполя составляет 0,811 мм и равен половине длины симметричной волны в указанной пластине (рис. 7, 8).

Из сравнения указанных рисунков видно, что если в первом случае примерно в два раза увеличивается амплитуда всех составляющих симметричной нормальной волны в пластине, то во втором — изгибной, асимметричной волны. При этом длительность симметричной волны увеличивается примерно в два раза, т. е. здесь уверенно работает принцип интерференции волн от двух источников.

Рассмотрим, будет ли проявляться тот же эффект при увеличении волновой толщины пластины (рис. 9, 10).



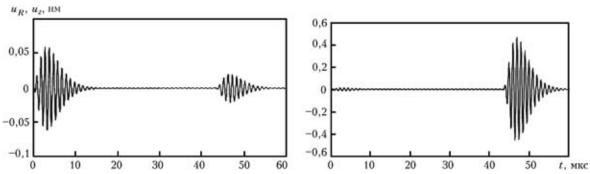


Рис. 11. Радиальная и нормальная составляющие смещений, возбуждаемых одним диполем, при его базе, стимулирующей симметричную волну

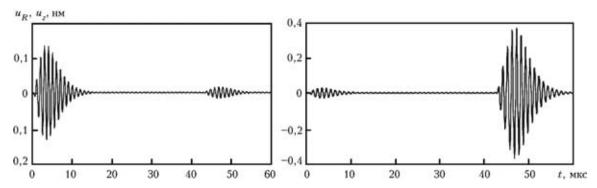


Рис. 12. Радиальная и нормальная составляющие смещений, возбуждаемых одним диполем, при базе диполя, стимулирующей изгибную волну

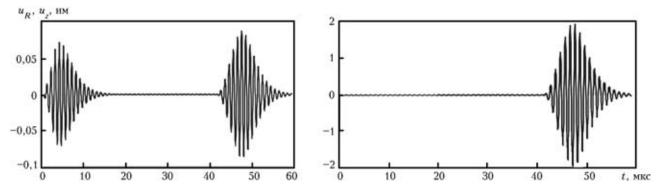


Рис. 13. Радиальная и нормальная составляющие смещений, возбуждаемых одним диполем, при стимулировании симметричной волны для пяти диполей

Здесь расстояние между токопроводами диполя соответствует половине длины волны первой симметричной моды волны в пластине. В этом случае амплитуда самой медленной волны увеличилась примерно в два раза, а у остальных она поменялась мало.

Здесь существенно увеличилась амплитуда центрального максимума. При этом очевидно, что путем регулирования расстояния между токопроводами диполей можно добиваться некоторого увеличения амплитуды определенных типов нормальных волн или понижения амплитуды других. Однако степень увеличения или ослабления волн в значительной мере зависит от типа применяемых электрических сигналов, протекающих в токопроводах. Понятно, что если эти амплитуды ма-

ло зависят от времени, тогда сильнее оказывается повышение и ослабление сигналов выбранных нормальных волн. В то же время чем больше количество применяемых в катушке диполей, тем более весомым оказывается наблюдаемый эффект. Однако количество применяемых в катушке диполей не может быть большим, чем количество периодов соразмерных синусоид в импульсном сигнале. В этой связи последующие расчеты будем делать для сигналов, длительность которых соответствует пяти периодам колебаний.

Рассмотрим, как наблюдаемый эффект увеличения и ослабления определенных мод колебаний проявляется при НК тонких пластин с волновым размером, равным 0,1. Расстояние до точки наблюдения — 50 см (рис. 11, 12). Здесь эффект по-



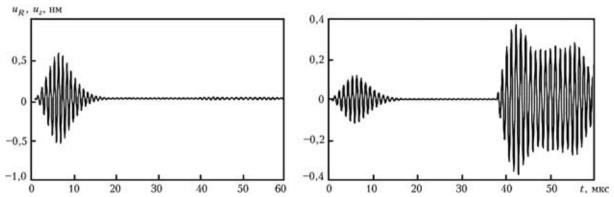


Рис. 14. Радиальная и нормальная составляющие смещений, возбуждаемых одним диполем, при стимулировании изгибной волны для пяти диполей

вышения амплитуд оказался не столь большим и заметен только при сравнении амплитуд различных волн (рис. 12–14).

Таким образом, хотя эффект управления типами работающих волн имеет место, тем не менее получить идеальный источник для различных типов нормальных волн не удается.

Выволы

Нормальные волны в пластинах, подобно поверхностным волнам Рэлея, представляют собой результат суперпозиции волн продольной и поперечной поляризации, формирующих особый тип волн. Они распространяются в большинстве своем со скоростями, большими скорости поперечных волн. Только продольными или только поперечными волнами данные волны не бывают, поскольку при всяком подходе к границам твердой пласпроисходит частичная трансформация продольных волн в поперечные и наоборот, вследствие чего простыми уравнениями достаточно строгие решения дисперсионных уравнений описать не удается. При этом вне зависимости от волновой толщины пластины в них одновременно присутствуют колебания как симметричного, так и асимметричного (изгибного) типа относительно плоскости, лежащей в центральной части пластины. Изгибные волны в большей мере формируют нормальные составляющие смещений, а симметричные — радиальные.

Причем, асимметричные (изгибные) волны зарождаются, когда толщина пластины оказывается равной целому числу продольных волн или нечетному числу полуволн поперечного типа, а симметричные моды появляются, когда толщина пластины оказывается равной либо нечетному числу полуволн продольной волны, либо целому числу волн поперечной волны. Отсюда следует, что наименьшее число нормальных волн (две) возникает только до толщин, меньших половине поперечной волны в материале пластины.

ЭМАП являются неплохими источниками для возбуждения и приема нормальных волн в пластинах, а регулировкой расстояний между токопроводами можно в определенной мере увеличивать или понижать амплитуды выбранных нормальных волн.

- 1. Лепендин Л. Ф. Акустика. М.: Высш. шк., 1978. 448 с
- 2. *Гринченко В. Т., Мелешко В. В.* Гармонические колебания и волны в упругих телах. Киев: Наук. думка, 1981. 284 с.
- 3. Петрищев О. Н., Шпинь А. П. Возбуждение сдвиговых волн в магнитострикционной пластине // Вестник Киевского политехн. ин-та. Электроакустика и звукотехника. 1989. Вып. 13. С. 19–29.
- Комаров В. А., Мужицкий В. Ф, Гуревич С. Ю. Теория физических полей. — Т.1–3. Челябинск–Ижевск. — Изд. ЮУрГУ, 2000.
- 5. *Бреховских Л. М.* Волны в слоистых средах. М.: Машиностроение, 1973. 497 с.
- 6. *Физическая* акустика / Под ред. Н. Мэзона. Т.3. М.: Машиностроение, 1974.
- Викторов И. А. Физические основы применения ультразвуковых волн Рэлея и Лэмба в технике. М.: Машиностроение, 1966.
- 8. *Морс Ф. М., Фешбах Г.* Методы теоретической физики. Ч. 1–2. М.: Изд. иностр. лит., 1958. 420 с.
- Чабанов В. Е., Горделий В. И. Наклонные электромагнитно-акустические преобразователи и анализ их работы // Техн. диагностика и неразруш. контроль. 2004. № 2. С. 40–45.

НПП «ВИГОР», Москва

Поступила в редакцию 22.04.2007

УДК 621.139.17

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДА АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ НЕФТЕХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

В. М. ДОЛИНСКИЙ, В. А. КОБЗЕВ, Д. Г. РЯУЗОВ, В. Н. СТОГНИЙ

Проанализированы результаты работ отдела прочности УкрНИИхиммаш по диагностическому обследованию оборудования нефтехимического производства с применением метода акустической эмиссии, оценена эффективность применения метода и даны рекомендации по ее увеличению.

UkrNIIchimmash strength department work results on diagnostic study of petrochemical industry equipment with the use of an acoustic emission technique were analyzed, technique application efficiency was evaluated and recommendations for its enhancement were given.

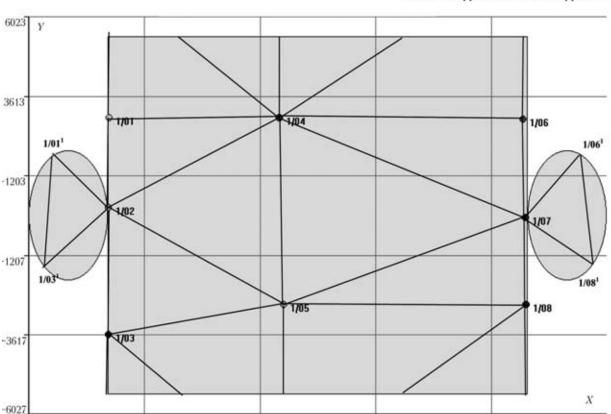
Повышение качества работ при проведении периодической оценки технического состояния оборудования нефтехимического производства очень важно для обеспечения безопасности и безаварийности производства. С этой целью на нефтехимических предприятиях постоянно совершенствуется система проведения технического диагностирования технологического оборудования в периоды проведения плановых ремонтных работ с целью обеспечения бесперебойной работы в межремонтный период. Эффективность диагностических работ возрастает, если для проведения обследования оборудования используется не один, а несколько методов неразрушающего контроля (НК), причем один из них обладает высокой интегральностью в получении информационных параметров по отношению к объему исследуемого металла. Особо удачное сочетание методов НК для диагностирования оборудования тогда, когда в качестве интегрального метода используется метод акустической эмиссии (АЭ). При условии выполнения подготовительной работы для проведения АЭ контроля в соответствии с требованиями и рекомендациями нормативных документов [1, 2] с помощью метода АЭ представляется возможным провести практически 100%-й контроль исследуемого оборудования, причем часто в местах, скрытых от прямого доступа тепловой изоляцией, в труднодоступных и контроленепригодных для других методов НК участках на объекте контроля.

В 2005 г. отдел прочности УкрНИИхиммаш провел ряд работ по обследованию технического состояния технологического оборудования на Лисичанском и Кременчугском нефтеперерабатывающих заводах. Общая последовательность проведения обследования соответствовала нормам и рекомендациям ДСТУ 4046 [2]. Первый этап обс-

ледования после ознакомления с технической документацией представлял собой работы, проводимые методами НК: визуальный контроль внутренней и внешней поверхностей сосудов или аппаратов, УЗ измерение толщины стенок всех элементов сосудов, измерение твердости металла всех элементов, УЗ дефектоскопия зон сварных швов. При необходимости использовалась капиллярная дефектоскопия, метод магнитной памяти, магнитопорошковая дефектоскопия и др. По результатам обследования определяли участки, имеющие недопустимые дефекты, которые устраняли посредством ремонта, проводимого специализированными организациями. После ремонтных работ проводили испытание объекта обследования пробным давлением в режиме гидро- или пневмоиспытания в соответствии с ДН АОПО.001-07-04 [3]. Такое испытание проводили с применением метода АЭ. Метод АЭ применяли в режиме контроля 100 % поверхности стенок сосуда. Если в результате испытания на сосуде были обнаружены акустически активные зоны, то после определения координат их подвергали дополнительному обследованию другими методами НК. При однозначно устанавливаемой связи акустической активности с обнаруженными в результате дополнительного обследования дефектами проводили дополнительные ремонтные работы по их устранению. Если же размеры обнаруженных дефектов для обследуемого объекта допустимы, то по результатам расчетов на прочность определяли срок возможной дальнейшей эксплуатации объекта.

В ряде случаев, когда расчетная оценка работоспособности затруднена, применяли экспериментальную оценку несущей способности на основе записи в ходе испытания пробным давлением диаграммы «давление—деформация стенки конс-

© В. М. Долинский, В. А. Кобзев, Д. Г. Ряузов, В. Н. Стогний, 2007



 $Puc.\ 1.\$ Схема системы локации импульсов АЭ на развертке сосуда (X и Y — осевая и окружная координаты (мм) развертки обечайки; цифрами обозначены ПАЭ)

7612

трукции» [4]. При этом оказалось возможным оценить также остаточный ресурс обследуемого объекта [5]. Так, выполненные нами на ЗАО «Укртатнафта» испытания сепаратора С-302, корпус которого содержал значительную зону несплошностей стенки, позволили прогнозировать безаварийную работу сосудов в течение четырех лет без проведения ремонта. Весьма привлекательным с точки зрения эффективности результатов диагностирования в этом случае является совмещение метода АЭ и метода определения несущей способности.

При проведении испытания сосудов давления на нефтехимических предприятиях отделом прочности УкрНИИхиммаш использовалась восьмиканальная АЭ аппаратура A-Line DDM в соответствии с требованиями ДСТУ 4227 [1] и рекомендациями ДСТУ 4046 [2]. Перед испытаниями измеряли скорости распространения по металлу стенки сосуда импульсов АЭ и параметры их затухания. Эту операцию, как правило, проводили после предварительной расстановки преобразователей АЭ (ПАЭ) на поверхности сосуда. Особенность расстановки ПАЭ заключалась в том, что они устанавливались в трех перпендикулярных оси сечениях сосуда: три ПАЭ устанавливали на обечайке в непосредственной близости от сварного шва приварки к корпусу одного из днищ на относительно равном расстоянии один от другого;

три ПАЭ располагали аналогично вдоль сварного шва другого днища сосуда; два — в средней части корпуса, но с таким расчетом, чтобы один из них составлял прямую линию вдоль образующей с двумя ПАЭ, установленными в районе одного и другого днища (рис. 1). При таком положении три ПАЭ, установленные на прямой линии вдоль образующей, дают возможность предварительно определить скорость и затухание АЭ, а затем без переустановки ПАЭ провести испытание сосуда. При этом один из ПАЭ работал в режиме генератора, а два других — в режиме приема АЭ. Значения параметров скорости и затухания до проведения испытания вносятся в программу определения локационных координат источников АЭ. Основная система локации импульсов АЭ при испытании сосуда в нашем случае была построена на основе 12 пленарных локационных групп, каждая из которых состояла из трех ПАЭ, расположенных в вершинах треугольников произвольных размеров. Кроме основной системы локации мы использовали вспомогательную, построенную на основе нескольких линейных групп локации. В число линейных групп локации входили две кольцевые локационные группы, каждая на основе трех ПАЭ, установленных вдоль сварных швов приварки обоих днищ и, кроме того, одно-двухлинейные локационные группы также на основе трех ПАЭ, расположенных вдоль образующей сосуда.

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ РАЗДЕЛ

Такое построение локационной системы позволяло осуществлять контроль 100 % поверхности стальных сосудов длиной до 22 м, диаметром до 4,5 м и толщиной стенки до 70 мм.

В ходе испытания в режиме реального времени фиксировали изменения до 16 параметров, наиболее важными из которых с нашей точки зрения являются:

уровень шума в зависимости от времени испытания; уровень шума в каждом канале (мгновенные значения); амплитуда сигналов по всем каналам в зависимости от времени испытания; активность по каждому каналу; время нарастания импульсов АЭ в зависимости от времени испытания; длительность АЭ импульсов в зависимости от времени испытания; накопление событий в каждом канале (количество импульсов, превышающих порог) в зависимости от времени испытания; суммарная активность АЭ в зависимости от времени (по всем каналам); суммарная амплитуда АЭ в зависимости от времени (по всем каналам); максимальная амплитуда АЭ в зависимости от времени.

Основная цель работы — определение в процессе испытания сосудов с помощью метода АЭ координат и уровня акустической активности. Эта цель достигалась путем контроля и анализа в ходе испытания двух основных параметров АЭ: амплитуды и активности. Контроль амплитуды АЭ осуществляли в соответствии с амплитудным критерием [2], сущность которого состояла в том, что весь динамический диапазон регистрации амплитуд от уровня дискриминации (установленного порога превышения уровня шума, составляющего в наших испытаниях 40...45 дБ) до максимальных значений условно делили на четыре диапазона, уровень амплитуд в каждом из которых обозначался классом опасности от 1 до 4. Условность этого критерия сигналов в том, что амплитуда АЭ излучения при прохождении по металлу сосуда имеет свойство нелинейно уменьшаться вследствие потери энергии импульса АЭ за счет рассеяния, переотражений и поглощений при взаимодействии с границами структурных составляющих стали. Поэтому чем ближе к ПАЭ происходит АЭ событие, тем с большим значением амплитуды оно фиксируется. В то же время это же событие будет зафиксировано дальними ПАЭ в виде амплитуд малого уровня. В системе регистрации предусмотрена определенная компенсация такого ослабления использованием в вычислениях параметра затухания АЭ. Несмотря на условность, амплитудный критерий является важным инструментом предупреждения в ходе испытания о степени критичности ситуации по отношению к разрушению сосуда. Нужно отметить, что амплитудный критерий использовали на фоне системы кластеризации, когда точность локализации каждого импульса АЭ была соотнесена с зоной определенных размеров. При этом с точностью выбранных размеров кластера (в наших испытаниях 200×200 мм²) представляется возможность оценивать степень опасности локализованных импульсов АЭ как по уровню амплитуд, так и по их активности (количеству импульсов в единицу времени, зарегистрированных в данном кластере). Такой подход к оценке степени опасности локализованных импульсов АЭ имеет определенные преимущества перед требованиями [1], где для определения степени опасности разрушения используется только анализ активности в кластере, так как активность может быть высокой при малых амплитудах или малой, но с большими амплитудами. В первом случае причиной может быть элементарное протекание во фланце, а во втором ситуация, характеризующая хрупкое разрушение. Следовательно, один-два импульса АЭ большой амплитуды могут характеризовать большую опасность для испытуемого сосуда, чем 100 и более импульсов малой амплитуды, соответствующих первому классу по амплитудному критерию. Таким образом, при испытании сосудов использовали критерии кластерной локации с учетом критериев активности [1] и уровня амплитуд [2]. Результат каждого критерия формировался на мониторе компьютера в отдельном окне, значения активности и уровня амплитуд АЭ каждого класса выделялись разным цветом, что позволяло легко определять на сосуде зоны с наибольшей акустической активностью не только по количеству импульсов, но и по их амплитудам (рис. 2). Амплитудный критерий соответствует 2 классу. Амплитуда $A \ni B$ зонах A, B, B достигает уровня 2-3 класса. Эти зоны рекомендованы к дополнительному обследованию локальными методами НК.

Кроме интегрального амплитудного и кластерного критериев по активности и уровню амплитуд для оценки степени опасности зарегистрированной в ходе испытания АЭ использовали локально-динамический критерий [2, 6], сущность которого состоит в том, что если по отношению к росту нагрузки активность или энергия АЭ уменьшается, то это характеризует отсутствие активных источников АЭ. Если по мере роста нагрузки происходит рост параметров АЭ, то это свидетельствует о наличии активных источников АЭ. Степень активности подразделяется на 4 класса (рис. 3).

Известно, что импульсы АЭ, соответствующие разрушению стали, являются короткими и характеризуются малым временем нарастания переднего фронта [7]. Поэтому перед окончательной оценкой с помощью критериев степени опасности локационных импульсов АЭ нами проводилась фильтрация зарегистрированной информации по параметрам длительности сигналов АЭ и времени нарастания переднего фронта импульсов. Во вни-

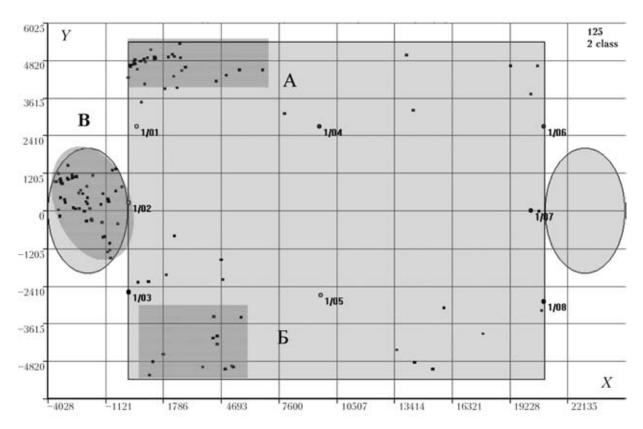


Рис. 2. Результат локации АЭ в ходе гидроиспытаний сосуда для хранения этилена (обозначение координат *X*, *Y* и ПАЭ те же, что и на рис. 1)

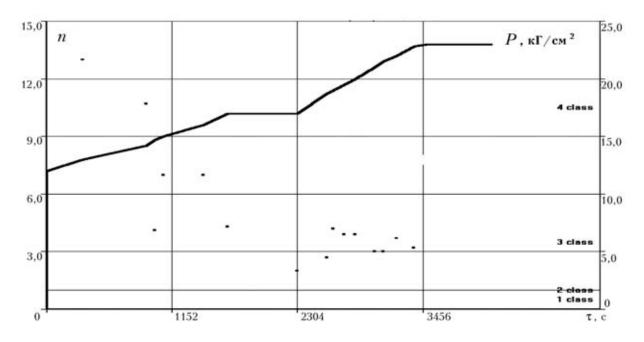


Рис. 3. Степень локально-динамического критерия n одного из испытанных сосудов соответствует 3 классу (P — давление; τ — время испытания)

мание принимали импульсы АЭ длительностью не более 200 мкс и временем нарастания переднего фронта импульса не более 50 мкс.

Система принятия решений по результатам испытания пробным давлением с применением АЭ

сосудов, аппаратов, технологических трубопроводов, реализуемая нами, базировалась на комплексной оценке перечисленных выше критериев. В первую очередь проводили оценку по интегральным критериям: амплитудному и локально-дина-

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ РАЗДЕЛ

мическому. Если класс этих критериев был не выше второго, то проводили детальный просмотр результатов локаций, и если обнаруживались зоны с концентрацией источников АЭ, где активность и уровень амплитуд кластера соответствует второму классу и выше, то эти зоны рекомендовались для проведения в них дополнительных обследований локальными методами НК. При обнаружении в этих зонах дефектов безопасность работы сосудов проверяли расчетами на прочность и, если результаты расчетов были неудовлетворительны, то в этих зонах проводили ремонтные работы по устранению обнаруженных дефектов. После устранения дефектов качество проведения ремонта снова контролировали локальными методами НК. Нужно отметить, что решающую роль в проведении принятой нами оценки играет сам факт проведения испытания пробным давлением в соответствии с ДНАОП 0.00-1.07-94 [3], так как если сосуд выдержал испытание и при этом в нем обнаружены локальные зоны, характеризующиеся различным уровнем амплитуд и активности АЭ, то мы, естественно, в первую очередь обращаем внимание на те из них, которые по критериальным оценкам являются наиболее опасными. Существенным при проведении испытаний является анализ параметров АЭ на стадиях выдержек при постоянном давлении. Отсутствие АЭ или ее уменьшение до нулевых значений свидетельствует об отсутствии развивающихся дефектов.

По результатам проведенных нами в 2005 г. работ на нефтехимических предприятиях произведена оценка эффективности использования метода АЭ при испытании оборудования пробным давлением. В качестве условий такой оценки нами принято, что использование АЭ является эффективным, если в оборудовании при испытании не обнаружены зоны с высокими амплитудами и повышенной акустической активностью, или при их обнаружении этот факт был подтвержден обнаружением в этих зонах дефектов другими методами НК. Так, из 25 обследованных объектов в 14 не были обнаружены активные АЭ зоны, а из 11 объектов, рекомендованных к дополнительному обследованию, подтверждение о наличии дефектов было получено для семи объектов. Для четырех объектов при дополнительных обследованиях не было получено подтверждение о наличии опасных для эксплуатации дефектов. Таким образом, для 21 из 25 обследованных объектов (~ 84 %) применение метода АЭ оказалось эффективным. Виды обнаруженных в семи объектах дефектов были следующие: расслоение листа — четыре объекта; дефекты сварных швов штуцеров — три объекта.

Таким образом, степень эффективности проведенной работы по обследованию оборудования нефтехимических предприятий с применением АЭ составляет 84 %. Применение метода АЭ позволило обнаружить и устранить на нескольких обследуемых объектах недопустимые дефекты. Общая эффективность от применения метода АЭ может стать еще выше, если его применять при различном сочетании с другими методами НК в общей технологии обследования оборудования, аналогично тому, как это предусмотрено нормами Госгортехнадзора России [6]. Такой подход позволит учесть при испытаниях техническое состояние оборудования, его контролепригодность, а также специальные пожелания и требования владельца. Заслуживающим внимания является такое сочетание методов, когда первой операцией при проведении обследования является испытание сосуда с применением АЭ при давлении, равном или ниже давления гидроиспытания. Последующее обследование иными методами НК по результатам АЭ испытаний в этом случае проводится в местах, где были зарегистрированы опасные источники АЭ, а также в проблемных местах, определенных на основе результатов предыдущих обследований или выявленных в ходе эксплуатации. При отсутствии локализованных опасных источников АЭ обследование с помощью локальных методов НК сводится к минимуму.

- 1. ДСТУ 4227–2003. Настанови щодо проведення акустикоемісійного діагностування об'єктів підвищеної небезпеки. — 25 с.
- 2. ДСТУ 4046–2001. Обладнання технологічне нафтопереробних, нафтохімічних та хімічних виробництв. Технічне діагностування. Загальні технічні вимоги. 25 с.
- 3. ДНАОП 0.00-1.07-94. Правила будови і безпечної експлуатації посудин, що працюють під тиском. 18.10.94, Наказ № 104, Держнаглядохоронпраці України. 1998. 273 с.
- 4. ДНАОП 1.3.00-8.02-93. Проведение работ по оценке остаточной работоспособности технологического оборудования нефтеперерабатывающих, нефтехимических и химических производств. 58 с.
- Долинский В. М., Черемская В. И. Определение ресурса по деформациям стенки сварных сосудов // Сварщик. — 2006. — № 2. — С. 27–30.
- 6. ПБ 03-593-03. Правила организации и проведения акустико-эмиссионного контроля сосудов, аппаратов, котлов и технологических трубопроводов. Серия 03. Выпуск 38 / Колл. авт. М.: Гос. унитарное пред-тие «Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России». 2003. 56 с.
- Грешников В. А., Дробот Ю. В. Акустическая эмиссия. Применение для испытания материалов и изделий. — М.: Изд-во стандартов, 1976. — 272 с.

ОАО «УкрНИИхиммаш», Харьков Поступила в редакцию 19.04.06

АКУСТОЭМИССИОННАЯ ИНФОРМАЦИОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА АЕ-3Л

Е. П. ПОЧАПСКИЙ, Б. П. КЛИМ, Г. В. МИКИТИН

Представлены результаты разработки компьютеризированной информационно-вычислительной системы отбора и обработки сигнала акустической эмиссии AE-3Л. Приведены ее технические характеристики.

The results of elaboration of the computerized information system $AE-3\Pi$ for an acoustic emission signal selection and processing are submitted. The technical characteristics are given.

Методы неразрушающего контроля (НК) играют важную роль в обеспечении высокой надежности изделий и конструкций, прогнозировании их работоспособности, оценке остаточного ресурса эксплуатации.

При проведении соответствующих исследований на *первом этапе* важно обнаружить развивающийся дефект, определить его местоположение в исследуемом объекте, который, в свою очередь, находится под влиянием внешних факторов. Для выявления и локации дефектов используются разнообразные методы контроля, в частности, очень эффективен пассивный метод — метод акустической эмиссии (АЭ), основывающийся на регистрации излучаемых дефектом сигналов АЭ [1–6].

На втором этапе важна полная регистрация первичного сигнала, генерируемого дефектом, оценка информативных параметров зарегистрированного сигнала с последующим установлением их связи с параметрами физико-химических процессов, происходящих в исследуемом дефекте с целью определения стадии его развития, что дает возможность прогнозирования остаточного ресурса эксплуатации изделия, конструкции [7–13].

Сигнал АЭ — многопараметрический. В частности, его информативными параметрами являются суммарный счет импульсов АЭ за время наблюдения, интенсивность потока импульсов, плотность вероятности распределения интервалов между смежными импульсами, моменты появления импульсов на элементах акустической антенны, энергетические характеристики, среди которых среднее значение амплитуды импульсов, огибающая сигнала, амплитудное распределение, частотный спектр сигнала и т.п. Многопараметричность сигнала АЭ — особенно важная характеристика при использовании метода АЭ для проведения исследований, направленных на оценку остаточного ресурса эксплуатации изделий, конструкций.

Такой комплексный подход (выявление дефекта, его локация, полная регистрация первичного сигнала и обработка с целью оценки информативных параметров) нуждается в разработке аппаратуры, обеспечивающей соответствующие измерения.

Назначение и структура информационновычислительной системы. На основании проведенных исследований структуры и статистических свойств сигнала АЭ [14–18], анализа проблем НК изделий, конструкций в аспекте прогнозирования их работоспособности, оценки остаточного ресурса эксплуатации разработана компьютеризированная АЭ система АЕ-3Л, предназначенная для решения следующих задач:

локации источников сигнала АЭ;

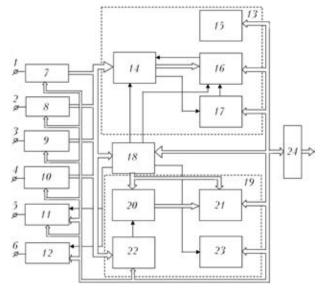
отбора и исследования сигнала источника АЭ при разрушении конструкционных материалов, изделий;

отбора и обработки информации, представленной сигналами АЭ, нагрузки и раскрытия трещины при экспериментальных исследованиях разрушения упругопластичных тел.

Структурная схема разработанной компьютеризированной информационно-вычислительной системы АЕ-3Л представлена на рис. 1. Она содержит четыре АЭ канала, включающих в себя пьезоэлектрические преобразователи, предварительные усилители, выходы которых соединены со входами I-4 программно управляемых блоков 7-10 усиления, фильтрации, дискриминации и отслеживания сигнала АЭ соответствующих каналов.

В блоках 7—10 зарегистрированный сигнал АЭ усиливается, фильтруется с использованием полосового пассивного фильтра, настроенного на диапазон частот от $f_H = 100~\rm k\Gamma \mu$ до $f_B = 2~\rm M\Gamma \mu$. Такой выбор обусловлен тем, что на низких частотах (до $100~\rm k\Gamma \mu$) наблюдается высокий уровень посторонних акустических шумов, а на высоких — сильное затухание упругих волн в исследуемых телах.

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ РАЗДЕЛ



 $Puc.\ 1.\$ Структурная схема компьютеризированной информационно-вычислительной системы AE-3Л

Моментом появления импульса АЭ t_i считается момент превышения сигналом порогового уровня $U_{\rm п}$ дискриминации, задающийся программно, чаще всего исходя из условия превышения им уровня акустических и электрических шумов. После выделения момента появления импульса важно установить момент его окончания, чтобы исключить возможность регистрации ложных импульсов вследствие измерения колебаний внутри отдельного импульса, а также минимизировать пропуски полезной информации.

Отслеживание импульса АЭ в блоках 7-10 осуществляется с использованием критерия $\theta_i \leq k\theta_{i-1}$, согласно которому значение периода текущего колебания θ_i в импульсе сравнивают со значением предыдущего периода, умноженным на коэффициент k, больший за единицу $k\theta_{i-1}$. Если неравенство выполняется, то считается, что импульс не закончился и — наоборот в противоположном случае. Чем больше k, тем меньше вероятность принятия ложного решения об окончании сигнала АЭ [15–19]. В этих блоках соответствующим выбором k обеспечивается достаточно низкий уровень значимости погрешности $\alpha = P[(\theta_i - k\theta_{i-1}) > 0]$ первого рода.

В состав системы входят также каналы раскрытия трещины и нагрузки исследуемого объекта, выходы первичных преобразователей которых подключены, соответственно, ко входам 5 и 6 блоков усиления и оцифровки сигнала 11, 12.

Блок локации системы 13 состоит из: схемы селекции ложных событий 14; регистра максимальной разности 15; блока измерения разности времени прихода (РВП) 16; триггера «True event» 17.

Блок локации системы осуществляет отбор информации с четырех АЭ каналов с дальнейшей

селекцией ложных событий на аппаратном уровне в блоке 14 по следующим критериям [20–22]:

разность времени прихода импульсов к преобразователям каналов $\tau < B/v = \tau_{max}$, где B — база антенны; v — скорость распространения упругой волны в материале исследуемого объекта;

длительность следующего импульса в серии должна быть не больше длительности предыдущего $\theta_{ii} \geq \theta_{ii+1}$;

количество пересечений сигналом уровня дискриминации в последующем импульсе АЭ в серии должно быть не больше, чем количество пересечений в предыдущем $N_{ij} \geq N_{ij+1}$.

Величина τ_{max} первого критерия вычисляется в персональном компьютере (ПК) исходя из конкретных условий эксперимента и программно записывается в регистр максимальной разности 15.

Реализация критериев селекции на аппаратном уровне позволяет значительно увеличить быстродействие системы по отбору и обработке достоверных сигналов, а также существенно уменьшить объем данных, которые вводятся и хранятся в компьютере [20–21].

Для событий, истинных по данным критериям, осуществляется ввод значений РВП τ_i сигнала АЭ на соответствующие каналы с блока измерения РВП 16 в ПК. Признаком истинности события для ПК является единичное состояние триггера «True event» 17, которое после очередного ввода данных программно переводится в нулевое состояние. В компьютере происходит дальнейшая селекция ложных событий по ряду программных критериев [20, 21].

Блок отбора сигнала 19 состоит из: блока аналого-цифрового преобразования (АЦП) каналов АЭ 20; блока оперативной памяти (RAM) 21; аналогового коммутатора 22; таймера 23.

Блок отбора сигнала АЭ обеспечивает проведение обстоятельного исследования сигнала от обнаруженного и лоцированного источника АЭ. Для этого он осуществляет полный отбор сигнала АЭ, фиксируя моменты появления импульсов АЭ τ_i в блоке 23 с дальнейшей дискретизацией всего импульса или его части в блоке 20.

В этом контексте важным является вопрос о целесообразности дискретизации полностью всего сигнала АЭ, сопровождающейся значительным объемом запоминаемой информации. Необходимо отметить, что через время $\Delta t_{\rm отр}$ после регистрации момента появления сигнала АЭ на преобразователь начинают поступать отраженные от поверхностей изделия сигналы. В процессе распространения в образце упругие волны не только меняют свою форму, но и затухают [15, 17]. Зависимость коэффициента затухания от частоты колебаний имеет квадратичный характер и принимает различные значения для продольной и поперечной

здел

волны, т. е. в отраженном сигнале искажается его спектр. Поэтому с точки зрения информативности и неискаженности спектра сигнала его дискретизацию достаточно проводить только в течение времени $\Delta t_{\rm orp} \approx 2 l_{\rm min}/V_l$, где V_l — скорость распространения продольной волны; l_{\min} — минимальное расстояние от преобразователя к поверхности отражения, зависящей от геометрии образца и места расположения преобразователя. Тогда объем выборки N_b определяется соотношением $N_b T_d = \Delta t_{\rm orp}$, где T_d (период дискретизации) выбирается исходя из условия $T_d \le 1/2f_B$ [15, 17]. Величина объема выборки N_b , период дискретизации T_d задаются программно, исходя из априорных значений l_{\min} , f_B . Это позволяет оптимизировать объем запоминаемых данных без потерь измерительной информации, при этом коэффициент сжатия объема данных $k_c = 1/(nN_bT_d)$, где n — интенсивность актов АЭ.

С целью согласования скорости дискретизации и скорости ввода данных в ПК через его параллельный порт, оцифрованные данные предварительно записываются в блок оперативной памяти 21, данные с которого с меньшей скоростью через интерфейс 24 поступают в оперативную память компьютера. Признаком факта регистрации системой импульса АЭ и его дискретизации для компьютера является единичное состояние триггера «Data» в блоке 20 аналого-цифрового преобразователя, который после очередного ввода данных программно переводится в нулевое состояние.

При помощи аналогового коммутатора 22 программно выбирается нужный канал для исследований.

Измерение величины нагрузки объекта и раскрытия трещины при проведении активных экспериментальных исследований разрушения упругопластичных тел обеспечивается блоками 11, 12.

Схема управления 18 осуществляет управление и обеспечивает взаимодействие между отдельными блоками системы. Блок интерфейса 24 обеспечивает связь аппаратной части системы с ПК, осуществляющей планирование и управление экспериментом, ввод и сохранение данных, их дальнейшую обработку по соответствующим алгоритмам и визуализацию.

Определяющей характеристикой разработанной системы является обеспечение возможности определения координат источника сигнала АЭ с последующим его исследованием на основании использования комплекса информативных параметров сигнала АЭ.

Разработано системное программное обеспечение компьютеризованной информационно-вычислительной системы AE-3Л, обеспечивающее вы-

бор одного из двух основных режимов функционирования системы:

режим функционирования системы во время проведения эксперимента, направленного на отбор, накопление и сохранение измерительной информации, представленной сигналами АЭ, нагрузки и раскрытия трещины при экспериментальных исследованиях процесса разрушения упругопластичных тел;

режим локации источника сигнала АЭ.

В случае выбора первого режима проводится планирование эксперимента, направленного на эффективный отбор сигнала АЭ. При этом задается имя файла, в котором будут храниться данные эксперимента, задаются и вычисляются, исходя из конкретных условий эксперимента, значения основных параметров функционирования системы:

коэффициенты усиления усилителей четырех каналов АЭ — k_i , i = 1, ..., 4;

коэффициент усиления канала раскрытия трещины $k_{\rm s}$;

коэффициент усиления канала нагрузки k_P ; величины порогов дискриминации U_{ni} сигнала четырех каналов АЭ;

период дискретизации сигнала АЭ — $T_{\rm g}$; объем выборки сигнала АЭ — N_b ; номер используемого канала АЭ;

частота синхронного ввода данных из каналов нагрузки образца и раскрытия трещины.

Осуществляется визуализация введенных данных на мониторе.

К информационно-алгоритмическому программному обеспечению системы в этом режиме относятся алгоритмы и программы декомпрессии и восстановления сигнала, оценки интенсивности сигнала, построения гистограммы амплитудного распределения сигнала АЭ, построения гистограммы распределения интервалов между смежными импульсами АЭ, зависимости интенсивности сигнала АЭ от нагрузки образца и раскрытия трещины, зависимости общего количества импульсов АЭ от нагрузки образца и величины раскрытия трещины, амплитудно-частотного спектра $S(\omega)$ сигнала на различных этапах развития трещины.

Также алгоритмы оценки средней энергии \overline{E} и средней (медианной) частоты \overline{f} в амплитудно-частотном спектре сигнала, определяющейся как точка, через которую проходит перпендикуляр к оси частот, разделяющий фигуру на равновеликие части.

В случае выбора режима локации источника сигнала АЭ проводится планирование эксперимента, направленного на эффективную локацию. При этом задается имя файла, в котором будут храниться данные эксперимента, задаются и вычисляются, исходя из конкретных условий экспе-

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ РАЗДЕЛ

римента, значения основных параметров функционирования системы в этом режиме:

коэффициенты усиления усилителей четырех каналов АЭ — k_i , i = 1, ..., 4;

величины порогов дискриминации U_{ni} сигнала четырех каналов АЭ;

выбор типа локации и конфигурации антенны: линейная локация; кольцевая локация; локация на плоскости с расположением приемников антенны в виде правильного треугольника;

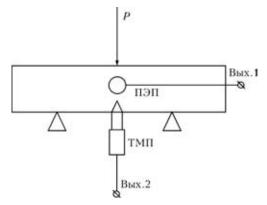
задание базы акустической антенны;

задание априорного значения скорости v распространения сигнала АЭ в материале исследуемого объекта;

вычисление и запись в блок локации максимально возможной для данной геометрии акустической антенны разности времени прихода $\tau_{\text{max}} = B/v$, где B — расстояние между приемниками антенны в конкретном эксперименте;

задание размеров контролируемой зоны.

Для истинных по аппаратным критериям событий осуществляется ввод значений РВП в ПК, где происходит дальнейшая селекция ложных событий по ряду программных критериев [20-21] (в зависимости от типа локации и конфигурации антен, в частности, для локации на плоскости [4]:



Puc. 2. Схема эксперимента при трехточечном изгибе балкового образца

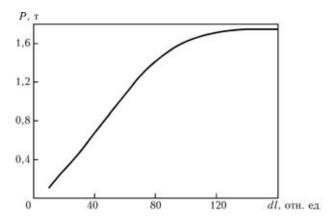


Рис. 3. Зависимость величины раскрытия трещины от нагрузки балкового образца при трехточечном изгибе

значение РВП для внешних приемников пьезоантенны одновременно не больше величины 0.475B;

задержки внешних приемников относительно центрального по модулю превышают величину $B/\sqrt{3}$ υ :

максимальная задержка периферийных приемников относительно центрального меньше чем $B/2\sqrt{3}\upsilon$;

расстояние от источника до ближайшего приемника R>0;

 $|X^2 + Y^2 - (R - \tau_4 n)^2| \le 0$, где X, Y — координаты источника $A \ni B$ системе координат, связанной с центральным приемником.

Для комбинаций РВП, удовлетворяющим программным критериям, происходит вычисление координат источника АЭ в декартовой системе координат и визуализация результатов обработки в виде точки на мониторе компьютера, в частности, для локации на плоскости начало координат системы совпадает с четвертым преобразователем, размещенным в центре равностороннего треугольника, в вершинах которого находятся три другие преобразователя антенны.

В файле данных, полученном в режиме локации источника сигнала АЭ, хранится массив из N групп значений разностей времени прихода сигналов на преобразователи каналов τ_i , i=1,...,4и координаты источников АЭ в системе координат, отвечающей выбранному типу локации.

Результаты экспериментальных АЭ-исследований при разрушении конструкционных материалов. Были проведены экспериментальные лабораторные исследования методом АЭ при разрушении конструкционных материалов с использованием информационно-вычислительной системы АЕ-3Л, некоторые результаты которых приведены ниже.

Схема эксперимента при трехточечном изгибе балкового образца (сталь 20) показана на рис. 2. Она состоит из исследуемого балкового образца, к которому в перпендикулярном к образцу направлении приложена нагрузка *P*. Сигнал АЭ регистрируется с помощью пьезоэлектрического преобразователя ПЭП (Вых.1), размещенного на исследуемом образце и подключенного к соответствующему входу акустического канала системы. Раскрытие трещины измеряется с помощью тензометрического преобразователя ТМП (Вых. 2), подключенного ко входу канала раскрытия системы. На вход канала нагрузки системы поступает сигнал с преобразователя нагрузочной машины.

На рис. 3 приведена зависимость величины раскрытия трещины от нагрузки балкового образца при трехточечном изгибе, зарегистрированная информационно-вычислительной системой АЕ-3Л.



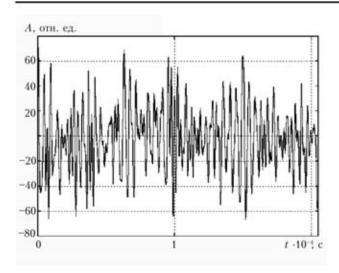


Рис. 4. Реализация сигнала АЭ, зарегистрированного на начальном этапе нагрузки образца (импульс № 14)

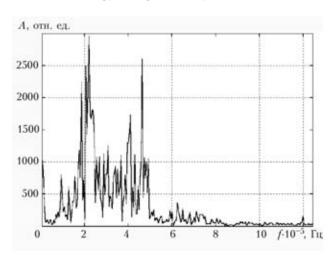


Рис. 5. Амплитудно-частотный спектр сигнала АЭ на начальном этапе развития трещины (импульс № 14)

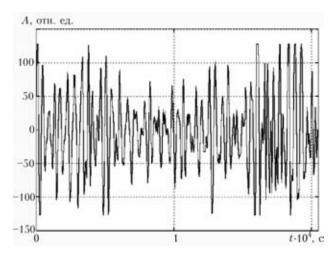
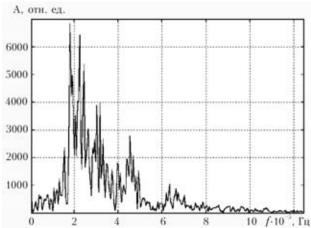


Рис. 6. Реализация сигнала АЭ, зарегистрированного на конечном этапе нагрузки образца (импульс № 197).

На рис. 4 приведена реализация импульса АЭ, зарегистрированного на начальной стадии нагрузки образца, а на рис. 5 — амплитудно-частотный спектр этого импульса.



Puc. 7. Амплитудно-частотный спектр сигнала АЭ на конечном этапе развития трещины (импульс № 197)



Рис. 8. Общий вид АЭ информационно-вычислительной системы AE-3Л

На рис. 6 приведена реализация импульса АЭ, зарегистрированного на конечной стадии развития трещины, а на рис. 7 — амплитудно-частотный спектр этого импульса.

Акустико-эмиссионная система AE-3Л имеет такие основные технические характеристики (рис. 8):

JY.	ic. 0).	
	максимальный коэффициент усиления канала АЭ	100 дБ;
	изменение коэффициента усиления канала АЭ	
	осуществляется программно с шагом	0,4 дБ;
	изменение коэффициента усиления тензометриче	ских
	каналов осуществляется программно с шагом	0,4 дБ;
	изменение порога дискриминации усиленного	
	сигнала канала АЭ осуществляется программно	
	с шагом	10 мВ;
	полоса пропускания полосового фильтра	
	канала АЭ	1002000 кГц;
	объем однократной выборки сигнала АЭ задается	
	программно с верхней границей	16 кБайт;
	частота дискретизации сигнала АЭ задается	
	программно из ряда значений	1,25; 2,5;
		5; 10 МГц;
	разрядность АЦП канала АЭ	8;
	разрядность АЦП канала нагрузки	
	исследуемого объекта	8
	разрядность АЦП канала раскрытия трещины	
	погрешность измерения РВП сигнала в каналах А	Э 100 нс;
	погрешность измерения таймером системы	
	времени прихода сигнала к пьезоэлектрическому	
	преобразователю выбранного канала	0,1 мс;
	количество измерительных каналов:	
	акустических	4;
	раскрытия трещины	
	нагрузки	
	Режимы питания:	
	автономный исто	чник.

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ РАЗДЕЛ

Предлагаемая система АЕ-3Л отбора и обработки сигнала АЭ имеет преимущества на уровне методологического и аппаратно-программного решений. В основе методологии разработки и функционирования данной системы — комплексный подход к реализации НК методом АЭ, охватывающий: выявление дефекта, его локацию, далее отбор и обработку сигнала АЭ и на основании этого — определение стадии развития дефекта конструкционного материала, оценку остаточного ресурса эксплуатации.

На техническом уровне в компьютеризированной системе реализованы способы отбора сигнала АЭ, позволяющие повысить достоверность эксперимента путем отслеживания сигнала по соответствующим критериям. Разработанные эффективные критерии селекции ложных событий при локации дефектов реализованы на аппаратном уровне системы, что позволяет повысить скорость принятия решения и существенно снизить объем вводимых в ПК данных.

Разработанная АЭ информационно-вычислительная система АЕ-3Л обеспечивает соответствующие измерения при комплексном подходе к реализации НК методом АЭ, в частности, имеет следующие возможности:

обнаружение и локацию источников сигнала АЭ;

отбор и исследование сигнала источника АЭ при разрушении конструкционных материалов, изделий;

отбор и обработку информации, представленной сигналами АЭ, нагрузки и раскрытия трещины при экспериментальных исследованиях разрушения упругопластичных тел.

Разработан экспериментальный образец АЭ информационно-вычислительной системы АЕ-3Л. Проведена метрологическая аттестация измерительных каналов системы метрологической службой Физико-механического института им. Т. В. Карпенко НАН Украины по утвержденной разработанной программе и методике метрологической аттестации системы.

Разработанная система АЕ-3Л может быть использована для диагностики элементов конструкций реальных объектов продолжительной эксплуатации.

Выводы

Неразрушающий контроль материалов и конструкций методом АЭ, направленный на обеспечение высокой надежности изделий и конструкций, прогнозирование их работоспособности, оценку остаточного ресурса эксплуатации, предполагает комплексный подход к проведению исследований по выявлению дефекта, его локации, полной регистрации первичного сигнала и обработке зарегистри-

рованного сигнала с целью оценки его информативных параметров.

- 1. *Патон Б. Е., Недосека А. Я.* О новых подходах в оценке состояния сварных конструкций и определения их остаточного ресурса // Техн. диагностика и неразруш. контроль. 2000. № 1. С. 3–8.
- Патон Б. Е., Недосека А. Я. Диагностика и прогнозирование остаточного ресурса сварных соединений // Там же. 1992. № 1. С. 3–17.
 Чаусов Н. Г., Недосека С. А. Использование метода
- 3. Чаусов Н. Г., Недосека С. А. Использование метода акустической эмиссии для экспресс-контроля разрушения бетонов с добавками пластификаторов // Там же. 1998. № 3. С. 12–16.
- 4. *Акустическая* эмиссия и ее применение для неразрушающего контроля в ядерной энергетике / В. Н. Артюхов, К. Б. Вакар, В. Н. Макаров, Н. И. Овчинников. М.: Атомиздат, 1980. 216 с.
- Иванов В. Н., Белов В. М. Акустико-эмиссионный контроль сварки и сварных соединений. М.: Машиностроение, 1981. 184 с.
- Буйло С. И. Об интерпретации максимумов и достоверности оценки вида амплитудного распределения АЭ //
 Техн. диагностика и неразруш. контроль. 1995. —
 С. 31–38.
- Скальский В. Р. Прибор для регистрации сигналов акустической эмиссии СВР-4 // Там же. 1995. № 1. С. 71–79.
- 8. *Скальський В. Р., Пустовой В. М., Бархан А.* Портативний накопичувач виборок сигналів акустичної емісії SVR-6 // Te came. 1999. № 3. С. 24–32.
- 9. *Петерсен Т. Б.* Разработка и использование автоматической системы классификации для идентификации сигналов акустической эмиссии // Там же. 1993. № 3. С. 3–9.
- Акустико-эмиссионная система диагностики состояния ответственных металлоизделий / В. В. Шип, Г. А. Бигус, Е. Г. Дорохова и др. // Там же. 1997. № 3. С. 56–59
- А. с. 991290 СССР. Устройство для регистрации сигналов акустической эмиссии / С. И. Буйло, А. С. Трипалин, В. И. Холодный, В. Л. Поджидаев. БИ. 1983. № 3.
- 12. Бабак В. П., Филоненко С. Ф., Галайчук Г. Л. Локация источников развивающихся дефектов с использованием метода акустической эмиссии // Радиоэлектроника и информатика. 1999. № 2. С. 15–20.
- Бобренко В. М., Полесская Л. М. Определение координат источника акустической эмиссии двумя парами приемников // Дефектоскопия. — 1980. — № 6. — С. 36–41.
- Аспекти міряння параметрів сигналу акустичної емісії / О. П. Бухало, Б. П. Клим, Г. В. Микитин, Е. П. Почапский // 36. наук. праць «Комп'ютерні технології друкарства». — 1999. — № 6. — С. 168–183.
- Аспекты отбора сигнала акустической эмиссии / Б. П. Клим, Г. В. Микитин, Е. П. Почапский, О. П. Бухало // Техн. диагностика и неразруш. контроль. 2000. № 3. С. 17–23.
- Підвищення точності і ефективності вимірювальних перетворень імпульсних коливних сигналів / О. П. Бухало, Б. П. Клим, Г. В. Микитин, Є. П. Почапський // Метрологія 2002: Мат. ІІІ-ї Міжнарод. конф. Харків, 2002. С. 25–27.
- 17. *Пат. України № 5726А*. Спосіб реєстрації сигналу акустичної емісії та пристрій для його здійснення / Б. П. Клим, Г. В. Микитин, Е. П. Почапський, О. П. Бухало. Бюл. № 6. Опубл. 16.06.2003.
- 18. Компьютеризированная информационно-вычислительная система отбора и обработки сигнала акустической эмиссии АЕ-2Л / Б. П. Клим, Г. В. Микитин, Е. П. Почапский, О. П. Бухало // Техн. диагностика и неразруш. контроль. 2003. № 1. С. 8–13.
- Інформаційно-вимірювальна система для досліджень і контролю методом акустичної емісії / О. П. Бухало, Б. П. Клим, Є. П. Почапський, Г. В. Микитин // Фізичні мето-



- ди та засоби контролю середовищ, матеріалів та виробів. 2003. Вип. 8. С. 58–64.
- 20. Клим Б. П., Почапський Є. П., Микитин Г. В. Підходи до підвищення ефективності відбору сигналу при локації джерела АЕ // Те саме. 2005. Вип. 10. С. 42–47.
- 21. Клим Б. П., Почапський Є. П., Микитин Г. В. Апаратна реалізація деяких критеріїв селекції хибних подій при
- локації джерел акустичної емісії // Те саме. 2006. Вип. 11. С. 75–81.
- 22. *Метрологический* подход к использованию метода акустической эмиссии для неразрушающего контроля материалов и конструкций / Г. В. Микитин, Б. П. Клим, Е. П. Почапский, З. В. Дмитрив // Техн. диагностика и неразруш. контроль. 2006. № 2. С. 20–25.

Физ.-мех. ин-т НАН Украины, Львов Поступила в редакцию 08.01.2007

УКРАЇНСЬКЕ ТОВАРИСТВО НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ ТА ТЕХНІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ

Запрошуємо Вас прийняти участь в 13-й Міжнародній науково-технічній конференції та виставці

«ЛЕОТЕСТ-2008»

«Електромагнітні та акустичні методи неруйнівного контролю матеріалів та виробів»,

яка відбудеться 18-23 лютого 2008 р. в селищі Славське (Львівска обл.) на базі будинку відпочинку «Бойківщина».

Організатори конференції: Українське товариство неруйнівного контролю та технічної діагностики, Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАНУ, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, НВФ «Ультракон-Сервіс», НВФ «Спеціальні Наукові Розробки» і Центр «ЛЕОТЕСТ-МЕДІУМ» (організаційне бюро конференції).

Тематика конференції:

- ✓ теорія і практика електромагнітних і акустичних методів неруйнівного контролю матеріалів та виробів;
- ✓ діагностичні аспекти застосування електромагнітних та акустичних методів контролю відповідальних конструкцій в експлуатації;
- ✓ електромагнітні та акустичні первинні перетворювачі та методи обробки сигналів, питання метрологічного забезпечення в електромагнітних та акустичних методах контролю;
 - ✓ автоматизовані системи та прилади контролю якості виробів;
- ✓ науково-організаційні і економічні проблеми, питання акредитації лабораторій, сертифікації продукції, підготовки та атестації персоналу. За матеріалами конференції буде надрукований збірник наукових праць (входить в перелік ВАК України).

Селище Славське розташоване в горах Карпатах на відстані 130 км від міста Львова. Славське— відомий центр гірськолижного спорту і зимового відпочинку.

Селище Славське це також залізнична станція на міжнародній трасі Москва–Київ–Львів– Стрий–Сколе–Славське–Лавочне–Мукачеве–Ужгород–Прага (а також Бєлград або Будапешт). Це дозволяє забезпечити зручний проїзд учасників до місця проведення конференції.

Заявки на участь у конференції направляти за адресою:

79017, Україна, Львів, вул. Генерала Грицая, 11-5, Центр **«ЛЕОТЕСТ-МЕДІУМ»**, В. Учаніну;

або

79000 Україна, Львів, поштамт, а/с 6071, В. Учаніну. E-mail: uchanin@ipm.lviv.ua aбo leotest@org.lviv.net.

Довідки: Тел./факс. (032) — 275-08-69 (Учанін Валентин Миколайович) Тел. (032) — 22-96-166 (Кириченко Ірина Іванівна)

УДК 621.19.14

МОНИТОРИНГ ПРОЦЕССА ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ НК И ТД ДЛЯ ОЦЕНКИ СООТВЕТСТВИЯ (СЕРТИФИКАЦИИ) СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПОСЛЕ ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Ю. К. БОНДАРЕНКО, М. Л. РАДЧЕНКО

Разработана система мероприятий по обеспечению качества, которая обеспечивает снижение отрицательного влияния сварочных напряжений и деформаций, возникающих при сварке конструкций. Исследован и разработан алгоритм НК и ТД при мониторинге конструкции в сварочном производстве. Разработана документация по качеству сварных конструкций, которая выполняется в виде процедур испытаний и критериев. Исследована модель корректирующих и предупреждающих действий для решения проблем, возникающих в сварных конструкциях. Проведены исследования и анализ этапов выполнения мониторинга сварной конструкции при НК и ТД. Доказана целесообразность использования концепции и методологии, исключающей возможность негативных последствий от недостоверных результатов измерений. Отклонение от достоверного результата или события сопровождается риском, который должен быть описан в документации.

A system of measures on quality assurance has been elaborated, which ensures a lowering of the adverse influence of welding stresses and strains arising in welding of structures. An algorithm of NDT and TD at monitoring of structures in welding fabrication has been developed and studied. Documentation on welded structure quality has been developed, which is implemented in the form of testing procedures and criteria. A model of corrective and preventive measures has been studied to solve the problems arising in welded structures. Investigations and analysis of the stages of performance of welded structure monitoring at NDT and TD have been conducted. The rationality of using the concept and methodology eliminating the possibility of negative consequences arising from invalid measurement results has been proved. Deviation from a valid result or event is accompanied by a risk, which should be described in the documentation.

При сварке в конструкциях возникают сварочные деформации и напряжения, которые в большинстве случаев существенным образом влияют на их эксплуатационно-технологические показатели [1, 2].

На основе глубокого и всестороннего анализа сложных деформационно-силовых процессов, протекающих при сварке в конструкции, разработана система мероприятий, которая обеспечивает снижение отрицательного влияния сварочных напряжений и деформаций.

В процессе сварки и последующего охлаждения в сварном соединении протекают сложные термодеформационные процессы, обусловливающие образование временных напряжений, которые после охлаждения переходят в остаточные [1, 3]. Одним из важнейших процессов является анализ причин образования остаточных напряжений в сварном соединении (конструкции).

Для обеспечения уверенности в том, что сварная конструкция соответствует требованиям на всех стадиях производства и эксплуатации, определения несоответствий изделий на ранних стадиях, а также разработки корректирующих воздействий и улучшения процессов сварки используется процедура мониторинга.

При мониторинге в сварочном производстве применяется следующая последовательность действий.

- 1. Разработка для каждой из последующей стадии отдельного плана или процедуры:
- входного контроля и испытаний с учетом уровня испытаний, выполняемого поставщиком (рис. 1);
- технологического контроля и испытаний в процессе производства;
 - окончательного контроля и испытания.

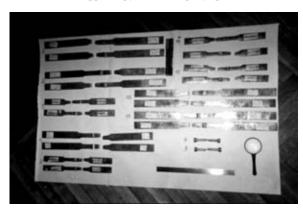


Рис. 1. Требования к испытательной лаборатории согласно ДСТУ ISO/IEC 17025-2001

© Ю. К. Бондаренко, М. Л. Радченко, 2007



Рис. 2. Модель корректирующих и предупреждающих действий для решения проблем в сварных конструкциях



Puc. 3. Образцы сварных соединений, полученные при механических испытаниях и применяемые для корректирующих действий при ремонте

- 2. Разработка политики качества при измерениях.
- 3. Определение категории сварных конструкций.
- 4. Определение перечня дефектов для оценки качества конструкции.
- 5. Разработка процедуры анализа выполнения специальных требований нормативных документов (НД) (рис. 2).
- 6. Обеспечение наличия в технологическом процессе производства сварной конструкции актуализированных процедур испытаний.
- 7. Обеспечение идентификации изделий, предназначенных для отправки потребителю и проведение мониторинга, составление протоколов испытаний.

- 8. Обеспечение выпуска продукции потребителю после завершения испытаний и регистрации результатов в протоколах.
- 9. Проведение мониторинга и при необходимости пересмотр/улучшение процедуры НК и ТД.
- 10. Выполнение оценки пересмотра процедур НК и ТД по результатам испытаний.

Необходимая документация по качеству сварных конструкций выполняется в виде процедур испытаний и критериев [4]:

- входного контроля и испытаний;
- контроля и испытания в процессе производства;
- контроля и испытания готовых конструкций (рис. 3, 4).

Необходимые записи по качеству для технического эксперта выполняют в виде протоколов с результатами входного испытания и контроля (технологического) в процессе производства, готовой сварной конструкции.

Для проведения мониторинга измерений (рис. 5) на стадиях ремонта, изготовления сварной конструкции, при НК и ТД для сертификации сварных конструкций необходимо использовать требование стандарта ДСТУ ISO/IEC 17025–2001. Требованиям стандарта должны соответствовать испытательные лаборатории (рис. 1), которые обеспечат функционирование экспертных систем при НК и ТД сварных конструкций [5].

Систему, объединяющую знания, опыт технического эксперта и возможности анализа (с по-

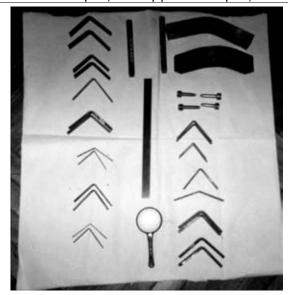


Рис. 4. Результаты испытаний сварных соединений технологических трубопроводов ТЭЦ

мощью персонального компьютера) в форме, которая предлагает рекомендации или решения проблем безопасности для оценки состояния объектов называют экспертной системой [6, 7] (рис. 6).

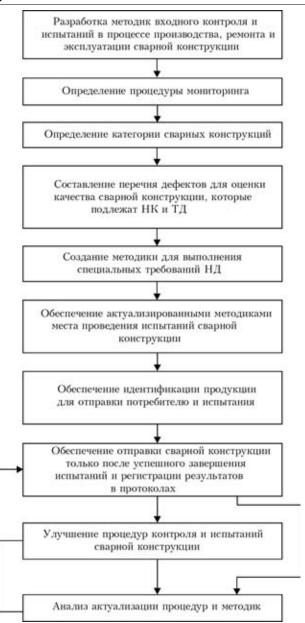
Основными методами работы технического эксперта, работающего с помощью экспертной системы (оценка объектов, исчерпавших индивидуальный ресурс), являются:

- наблюдение за состоянием сварной конструкции;
 - опрос персонала в организации;
- сбор объективных доказательств испытания (протокол);
- анализ результатов испытаний (составление «Експертного висновка»).

Главным требованием к экспертному доказательству, полученному после мониторинга, является его достоверность и достаточность. Доказательство считается достоверным, если оно достойно доверия эксперта и является правдоподобным. Достаточность доказательства определяется его убедительностью, что зависит от компетентности эксперта и испытательной лаборатории [2, 8].

На практике выполнение требования постоянного улучшения при мониторинге сварной конструкции зачастую вызывает затруднения в испытательной лаборатории НК и ТД. В этой ситуации целесообразно использовать концепцию и методологию, исключающую возможности негативных последствий от недостоверных результатов измерений. Возможность отклонения от достоверного результата или события обусловлена риском, который описан в ряде стандартов [9].

Сочетание вероятности события и его последствий является риском.



Puc. 5. Последовательность выполнения мониторинга сварной конструкции

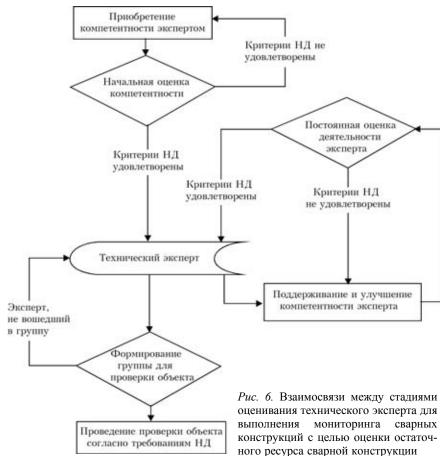
Менеджмент риска — скоординированные действия по руководству и управлению в испытательной лаборатории в отношении риска.

Анализ риска — систематическое использование информации при мониторинге для определения источников и количественной оценки риска.

Оптимизация риска — процесс, связанный с риском, направленный на минимизацию негативных и максимальное использование позитивных последствий и соответственно их вероятности.

Цикличный процесс **анализа риска** должен включать шесть следующих этапов [10]:

- определение области применения;
- идентификация опасности и предварительная оценка последствий;
 - оценка величин риска каждой опасности;



- проверка результатов анализа (испытание объекта);
- документирование полученных результатов (протоколов) и их обоснование;
- корректировка результатов анализа с учетом последних данных измерений, полученных при мониторинге объекта.

При проведении анализа риска эксперт выполняет следующие действия:

- определяет в объекте возможные виды дефектов, изучает причины возникновения, механизмы и условия возникновения, развития;
- определяет возможные последствия возникновения дефектов, проводит качественный анализ тяжести последствий дефектов и (или) количественную оценку их критичности;
- составляет и периодически корректирует перечни критичных элементов сварной конструкции и применяемых технологических процессов;
- вырабатывает предложения и рекомендации по внесению изменений в конструкцию и (или) технологию эксплуатации объекта и его составных частей, направленные на снижение вероятности и (или) тяжести последствий от дефектов, оценивает эффективность ранее проведенных ремонтных работ;
- оценивает достаточность предусмотренных контрольно-диагностических и профилактичес-

ких операций, направленных на предупреждение дефектов в сварной конструкции;

- анализирует правила поведения персонала в аварийных ситуациях, обусловленных возможными дефектами, предусмотренными эксплуатационной документацией. При этом вырабатывает предложения по их совершенствованию или внесению соответствующих изменений в эксплуатационную документацию при отсутствии правил поведения;
- проводит анализ возможных ошибок персонала в системе, оценивает их возможные последствия, вырабатывает предложения по совершенствованию системы и введению дополнительных средств защиты объекта от ошибок персонала, а также по совершенствованию документированных процедур.

Проблема оценки сварных конструкций после длительной эксплуатации решается при мониторинге с помощью алго-

ритма анализа экспертной системы (рис. 7).

Программа, содержащая алгоритм, обеспечивает оценку состояния объекта на основе требований НД.

В системе общего назначения алгоритм достижения целей разработан для того, чтобы система была также самообучающейся. Она вырабатывает процедуры путем анализа результатов испытаний, полученных в лабораториях НК и ТД на объекте для совершенствования системы оценки соответствия (состояния) сварных конструкций на основе последовательной или параллельной процедур (рис. 8).

Последовательная процедура решения задач в системе (рис. $8, \delta$) позволяет использовать меньше данных об объекте, чем параллельная. Поэтому сначала он кажется более привлекательным. Однако когда очевидна необходимость применения последовательной процедуры, это решение может быть неверно. Даже если хороший эксперт имеет начальную информацию относительно объекта, он не будет абсолютно уверен в том, что сварная конструкция может иметь достаточный остаточный ресурс. Поэтому опытный (компетентный) эксперт должен собрать более полную достоверную информацию об объекте прежде, чем сделать какое-либо окончательное заключение. Именно эти операции и осуществляет параллель**ная** процедура (рис. 8, *a*).

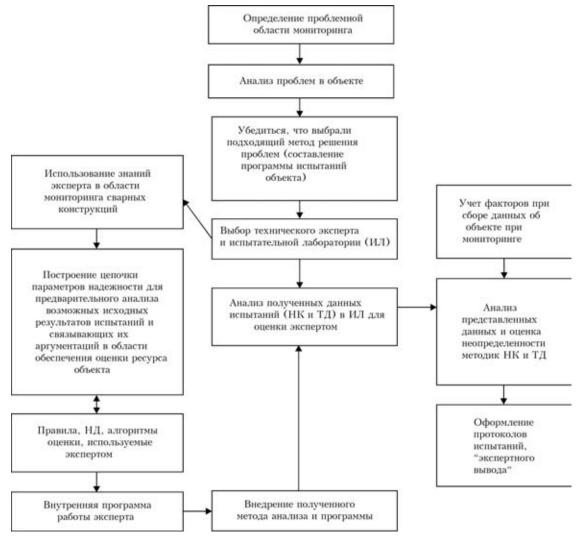
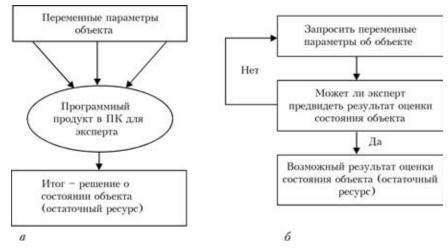


Рис. 7. Алгоритм анализа результатов мониторинга для экспертной системы

При **параллельной** процедуре используется вся информация для выработки решения и, следовательно, система приходит к наиболее достоверным выводам. С помощью **последовательной** процедуры можно путем пошагового прохождения через всю информацию прийти к тем же

выводам, но в процессе поиска решения последнее вырабатывается поэтапно, причем также эффективно, как и при параллельной процедуре (рис. 8, a).

Экспертную систему общего назначения разрабатывают, если известны точные вероятности



Puc.~8.~ Решения задач экспертной системой: a — параллельные процедуры получения информации об объекте с последующей выработкой решений; b — последовательное получение информации и принятие решений

для каждого результата измерения (рис. 8, δ). Эксперт собирает при мониторинге информацию последовательно в результате испытаний. Он просматривает все результаты и находит наиболее достоверные из них. Если такого не происходит, то эксперт принимает решение и не просматривает другие варианты. В противном случае необходима дополнительная информация (испытания объекта).

Анализируя требования стандарта ДСТУ ISO/IEC 17025-2001 к испытательным лабораториям, необходимо отметить предварительную разработку дополнительных процедур. Например, разработка процедуры оценки неопределенности измерений с целью отбора достоверной методики испытаний [8]. Неопределенность измерения — это параметр, связанный с результатами измерения и характеризующий рассеивание полученных значений. Они могли бы быть приписаны измеряемой величине [8, 11].

Неопределенность измерения выражает тот факт, что для данной измеряемой величины и данного результата измерения не существует единого значения, а есть нескончаемое количество значений, рассеянных вокруг результата, которые согласовываются со всеми полученными наблюдениями и данными, а также со знаниями физического мира, и которые с разной степенью уверенности могут быть приписаны измеренной величине.

Возможные источники неопределенности измерений:

- неполное определение (спецификация) измеряемой величины;
- несовершенная реализация определения измеряемой величины;
- неадекватные знания эффектов от влияющих величин или несовершенное их измерение;
- субъективная погрешность, выполняемая оператором НК и ТД при считывании показаний приборов;
- неточное значение, приписанное эталонам или мерам физических величин;
- неточное значение констант и других параметров, полученных от внешних источников, которые используются в алгоритме обработки данных;
- аппроксимации и допущения, которые используются в методе измерения и в измерительной процедуре;
- случайные изменения внешних действующих величин при повторных наблюдениях и измерениях параметров сварной конструкции.

Для улучшения достоверности при оценке состояния сварных конструкций рекомендуется дополнительно использовать твердометрию в сочетании с другими методами НК и ТД (магнитный, УЗД, рентгеновский, визуально-оптический).

При наличии корреляционных зависимостей между твердостью и другими механическими характеристиками можно судить о прочности и надежности отдельных зон сварных конструкций, степени неоднородности механических свойств сварного соединения при деградации материала [12]. Это является дополнительной информацией для определения остаточного ресурса сварной конструкции.

Требования к испытаниям на твердость содержатся в нормативных документах [13–16]:

СНиП III-18–75 (п. 1.30): «твердость по алмазной пирамиде не выше 350 единиц» (Металлические конструкции);

СНиП 3.03.01–87 (п. 8.68): «на твердость (НВ) металла шва и зоны термического влияния сварного соединения низколегированной стали (не менее чем в четырех точках) — 1» (Несущие и ограждающие конструкции);

ДНАОП 0.00-1.11—98 (п.10.89, 10.90): «П.10.89. Вимірювання твердості основного металу та зварних з'єднань проводиться з метою перевірки якості виконання термічної обробки зварних з'єднань або виробу (напівфабрикату). П.10.90. Вимірюванню твердості підлягає основний метал та метал шва зварних з'єднань, виконаних із легованих теплостійких сталей перлітного та мартенситно-феритного класів, методами та в обсязі, що встановлені НД» (Правила будови і безпечної експлуатації трубопроводів пари та гарячої води);

ДНАОП 0.00-1.03-02 (п. 5.5.2): «...Сварочные материалы, применяемые для сварки, должны обеспечивать механические свойства металла шва и сварного соединения (предел прочности, относительное удлинение, угол загиба, ударная вязкость, твердость) не менее нижнего предела указанных свойств основного металла конструкции, установленного для данной марки стали стандартами или техническими условиями» (Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов).

Выводы

- 1. Надежность определяет состояние готовности и влияющих на него факторов: безотказности, ремонтопригодности и поддержки технического обслуживания сварной конструкции и применения стандартов.
- 2. Стандарты предусматривают систематические методы и инструменты для экспертной оценки надежности и управления надежностью оборудования, услуг и систем на всех стадиях их жизненного цикла.
- 3. Стандарты охватывают общие типовые аспекты управления программами безотказности и ремонтопригодности, испытательные и аналитические методы, надежность программного обеспечения и системные аспекты надежности, стои-

мость жизненного цикла, анализ технического риска и управление риском проекта. Это направление включает стандарты, относящиеся к изготовлению продукции (от безотказности элементов до руководящих указаний по инженерному обеспечению надежности систем); стандарты, относящиеся к процессу изготовления (от анализа технологического риска до комплексной поддержки материально-технического обеспечения) и стандарты, относящиеся к проблемам менеджмента (от программы управления надежностью до управления деградацией).

- 4. Применение стандартов помогает решать относящиеся к мониторингу и безопасности проблемы, хотя стандарты не охватывают вопрос безопасности в целом.
- Существуют различные виды рисков в технике:
- риск поставщика (изготовителя) и потребителя (заказчика). Их используют в стандартах по статистическим методам при контроле уровня дефектности и показателей надежности сварных конструкций. Они связаны с размером возможного ущерба;
- риск как нежелательное обстоятельство, которое возможно при реализации проекта (не уложиться в предусмотренные сроки и/или объемы финансирования);
- риск наступления критических последствий при эксплуатации сварных конструкций. При этом учитывается вероятность наступления критических событий и размеры возможного ущерба (под критическим событием понимают критический отказ);
- при анализе рисков могут быть использованы как стандартные методы оценки надежности, так и результаты мониторинга, когда учитывают только критические отказы.
- 6. При анализе рисков рекомендуется прибегать к результатам теории игр, являющейся более сложной по сравнению с теорией вероятностей и математической статистикой.
- 7. Для обеспечения эффективности разработки дополнительных процедур мониторинга сварных конструкций необходимо [17]:
- знание проблематики, программы работ и особенностей отдельных разработок сварных конструкций;
- участие в гармонизации международных стандартов;
 - наличие научного обеспечения проблемы;

– присутствие на заседаниях рабочих групп Технических комитетов (ТК-44, ТК-78).

- Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин / Зб. наук. статей. Результати цільової комплексної програми НАН України за 2004–2006 рр. Наук. керівник — акад. Б. €. Патон. — Київ: ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАН України, 2006. — 589 с.
- 2. Забезпечення якості та безпеки в зварювальному виробництві / Зб. наук. статей. 2 вид. Київ: ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАН України, ДП НТЦ «СЕПРОЗ» НАН України, 2007. 194 с.
- 3. *Топор В. М.* Оцінка граничного стану трубопроводів, резервуарів і посудин тиску на основі розробленої експертної системи: ... Автореф. дис. док. техн. наук // ІПМ. Київ, 2006. 38 с.
- Бондаренко Ю. К., Ковальчук О. В. Забезпечення якості продукції, процесів, послуг зварювального та споріднених виробництв // Обеспечение качества сварных конструкций и изделий в Украине. — Киев: ДП НТЦ «СЕПРОЗ» НАНУ, 2003. — № 1. — 157 с.
- Бондаренко Ю. К., Радченко М. Л., Ковальчук О. В. Проблемы обеспечения качества экспертных систем для оценки сварных конструкций // Современные методы и средства неразрушающего контроля и технической диагностики: Материалы 14 ежегодной междунар. конф. (16—20 окт. 2006 г.). Ялта: Украинский информационный центр. «Наука. Техника. Технология», 2006. 181 с.
- ДСТУ ISO 19011:2003. Настанова щодо здійснення аудитів систем управління якістю і/або екологічного управління. Київ: Держспоживстандарт України, 2003. 24 с.
- 7. *Нейлор К.* Как построить экспертную систему. М.: Энергоатомиздат, 1991. 288 с.
- ДСТУ ISO/IEC 17025–2001. Загальні вимоги до компетентності випробувальних лабораторій. Київ: Держспоживстандарт України, 2003. 66 с.
- 9. *Крюков И., Шадрин А.* Менеджмент риска как инструмент постоянного улучшения // Стандарты и качество. 2006. № 2. С. 74–77.
- Скребец В. А. Психологическая диагностика. Учеб. пособие. 2-е изд., перераб. и доп. Киев: МАУП, 2001. 152 с.
- Коиюба А., Новиков В. Процедура оцінювання невизначеності вимірювання випробувальної лабораторії // Стандартизація, сертифікація, якість. — 2003. — № 1. — 187 с.
- Марковец М. П. Определение механических свойств металлов по твердости. М.: Машиностроение, 1979. 189 с.
- 13. $CHu\Pi$ III-18—75. Металлические конструкции. М.: Государственный строительный комитет СССР, 1975. 79 с
- СНиП 3.03.01–87. Несущие и ограждающие конструкции. М.: Государственный строительный комитет СССР, 1987. 93 с.
- ДНАОП 0.00-1.11-98. Правила будови і безпечної експлуатації трубопроводів пари та гарячої води. Київ, 1998. 234 с.
- ДНАОП 0.00-1.03-02. Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов. Киев, 2002. 215 с.
- Бондаренко Ю. К., Радченко М. Л. Мониторинг процесса измерений для оценки соответствия сварных конструкций после длительной эксплуатации // Совр. методы и средства НК и ТД: Мат. 15 Юбил. межд. конф. (1–5 окт. 2007 г.). Ялта: Укр. информ. центр «Наука. Техника. Технология», 2007. 78 с.

Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, Киев Поступила в редакцию 04.09.2007



КАЧЕСТВО КАК НАЦИОНАЛЬНАЯ ИДЕЯ УКРАИНЫ



Калита П. Я., Президент УАК, член Европейской организации качества

17–18 мая 2007 г. в Киеве состоялся 5-й Всеукраинский съезд качества, который разработал на два следующих года общенациональные подходы к дальнейшему повышению совершенства украинских предприятий (организаций) с целью улучшения качества продукции и услуг в интересах граждан и обеспечения конкурентоспособности Украины в условиях вступления в ВТО и интеграции в ЕС.

Организаторы Съезда — V Ук-

раинская ассоциация качества (УАК), Украинский союз промышленников и предпринимателей (УСПП), Государственный комитет Украины по вопросам технического регулирования и потребительской политики, Государственный комитет Украины по вопросам регуляторной политики и предпринимательства, ряд других государственных и общественных организаций. В работе Съезда приняли участие свыше 400 руководителей и специалистов, которые представляли органы власти, общественные объединения, предприятия и организации со всех регионов Украины.

Делегаты Съезда отметили, что за последние годы в Украине реализован ряд мероприятий по улучшению ситуации, но существует еще ряд проблем, которые требуют решения на государственному уровне, а также консолидации власти и общественности для обеспечения конкурентоспособности отечественной экономики и повышения качества жизни граждан Украины. Они также сочли необходимым в условиях глобализации существенно ускорить процессы улучшения качества управления в общегосударственном масштабе и повышения эффективности функционирования отечественных предприятий и организаций, что, в свою очередь, требует дальнейшего корректирования философии развития экономики и бизнеса, формирования новой общей культуры качества на национальном уровне.

Говоря о правах человека как потребителя продукции и услуг, делегаты отметили существенные проблемы относительно их соблюдения и признали целесообразным: отнести обеспечение и защиту прав пот-



ребителей к основным задачам правительства; разработать государственную программу защиты прав потребителей и концепцию развития сфер продовольствия, водоснабжения и лекарственных средств; усилить контроль торговли на рынках, разработать более действенные методы влияния на недобросовестных продавцов, шире использовать средства массовой информации с целью освещения некачественных и фальсифицированных товаров; инициировать разработку законопроекта относительно уголовной ответственности за изготовление и реализацию фальсифицированных товаров; усилить контроль за соблюдением Закона Украины «Об обращении граждан» местными органами самоуправления, в особенности относительно коммунальных услуг. Одновременно была отмечена приоритетность удовлетворения запросов потребителей в безопасной и качественной продукции по отношению к защите прав, что предусматривает их нарушение. В связи с этим поддержку делегатов получил проект «Кодекс чести добропорядочного производителя Украины», предложенный УАК и одобренный Советом Клуба лидеров качества Украины.

Относительно безопасности продукции (услуг) делегаты сочли необходимым определить общечеловеческие ценности, на которые может отрицательно влиять опасная продукция, и установить перечень показателей (индикаторов) для оценивания, планирования и улучшения состояния технической безопасности в стране; на их основе обеспечить постоянный системный мониторинг безопасности в стране, обобщение и анализ информации о следствиях и причинах поставки на рынок опасной продукции, принятии адекватных решений относительно улучшения ситуации; систематически делать достоянием гласности информацию о состоянии безопасности в стране и корректирующие мероприятия. Также признано необходимым ускорить усовершенствование системы технического регулирования в соответствии с социально-экономическими потребностями Украины и международной практики; активизировать разработку Закона Украины «О государственном рыночном надзоре», создать систему оповещения о выявленной продукции, являющейся опасной для жизни и здоровья людей, имущества и окружаюшей среды.

Что касается соответствия нормам стандартов качества продукции (услуг), то здесь нужно, прежде всего, провести анализ причин высокого уровня несоблюдения стандартов (до 80 %), который выявляется при наличии государственного надзора, и разработать мероприятия по улучшению ситуации в этой сфере, а также проанализировать причины и разработать мероприятия по ликвидации критического отставания в гармонизации национальных стандартов с международными.

Учитывая, что конкурентная борьба в мире в условиях перенасыщенного рынка и глобализации уже давно ведется над нормами стандартов, делегаты существенное внимание уделили вопросам превышение норм стандартов, преобразования отечественных предприятий и организаций в социально направленные и обеспечения их делового совершенства. Признано целесо-



образным определить дальнейшее развитие национального движения за качество и совершенство и его интеграцию в общеевропейское движение как одино из приоритетных общегосударственных направлений. Съезд поддержал деятельность УАК, которая признана Европейской организацией качества одним из лидеров движения за качество и совершенство в Центральной и Восточной Европе. Рекомендовано нормативно закрепить основы государственной поддержки движения за качество и совершенство в стране; актуализировать концепцию государственной политики в сфере управления качеством продукции (товаров, работ, услуг) и план мероприятий по его реализации; разработать национальную программу создания механизмов и условий содействия улучшению качества и повышению совершенства отечественных предприятий. Во всех областях и на всех уровнях экономики целесообразно разработать и внедрить программы улучшения качества продукции (товаров, работ, услуг) и усовершенствования систем управления на основе стандартов, концепций ТОМ и Модели EFQM.

Также признано необходимым осуществление мероприятий по практическому применению механизмов государственного поощрения предприятий к усовершенствованиям; усилить информирование международного сообщества о предприятиях, которые достигли признания совершенства на европейском уровне; одобрить Комплексную систему оценивания и признания уровней совершенства предприятий и организаций Украины (разработанное УАК в соответствии со Схемой признания уровней совершенства EFQM); поддержать

проект УАК и УСПП «Всеукраинский деловой марафон «Восхождение к вершинам европейского совершенства». Представлены рекомендации по вопросам улучшения подготовки и сертификации специалистов, распространения лучшей международной практики усовершенствования компаний, а также опыта отечественных предприятий — членов Клуба лидеров качества Украины, получивших признание на европейском уровне, привлечения средств массовой информации и т. п.

Участники Съезда обратились к Президенту, Верховному Совету и Правительству с предложением объявить 2008 год в Украине годом качества, совершенства и конкурентоспособности; учесть Резолюцию Съезда при реализации государственных и национальных программ, дать соответствующие поручения по их использованию органам исполнительной власти; ввести в практику награждение государственными наградами руководителей и коллективов организаций, которые достигли признания совершенства на европейском и межгосударственном уровнях, а также предусмотреть ознакомление ответственных работников секретариатов Президента, Верховного Совета и Кабинета Министров с современными знаниями в сфере управления качеством, совершенства и конкурентоспособности как факторами повышения качества государственного управления.

Секретариату Всеукраинского съезда качества поручено обеспечить сопровождение Резолюции и мониторинг ее практической реализации.



ІВАНО-ФРАНКІВСЬКОМУ НАЦІОНАЛЬНОМУ ТЕХНІЧНОМУ УНІВЕРСИТЕТУ НАФТИ І ГАЗУ — 40 РОКІВ

<u>21 вересня</u>, який за рішенням Вченої ради визнано Днем університету, відбулися урочистості, присвячені 40-річчю з дня його заснування.

В урочистостях взяли участь перший заступник голови Секретаріату Президента України І. Васюник, заступник міністра освіти і науки В. Шинкарук, представники Верховної Ради України народні депутати В. Зайчук, М. Круць, Д. Шлемко, голова облдержадміністрації Р. Ткач, міський голова В. Анушкевичус, ректори вищих навчальних закладів, керівники науководослідних інститутів, вітчизняних та закордонних нафтогазових та інших компаній, представники профспілок, випускники університету, духовенство, преса. Усього на святкування прибуло понад 200 гостей з багатьох міст України і зарубіжжя.

Розпочалося свято на центральній площі університету. Після молитви під керівництвом ректора професора Є. Крижанівського відбулася урочиста посвята першокурсників у студенти, яка супроводжувалася виступами гостей і творчих колективів — народних ансамблів танцю «Самоцвіти», «Ритм», «Шарм», «Експромт», народного вокального тріо «Водограй» та інших.

Закінчилося дійство урочистими зборами колективу, які пройшли в обласному музично-драматичному те-



Перший заступник голови Секретаріату Президента України І. Васюник вручає державну нагороду професору О. Адаменку





Вручення нагороди переможниці конкурсу «Королева нафти»

атрі ім. І. Франка. На зборах підведені підсумки навчальної, наукової, спортивної, культурної діяльності університету. За 40 років роботи університетом досягнуто значних успіхів у підготовці спеціалістів для нафтогазової та інших галузей народного господарства, професорсько-викладацький склад успішно виконує основні положення Болонської декларації. Зміцнилася матеріально-технічна база, створено належні умови для навчання, проживання та відпочинку студентів. Виконується значний обсяг наукових досліджень для підприємств нафтогазової галузі, створено наукові школи, галузеві лабораторії, отримано диплом на наукове відкриття, багато патентів на винаходи і корисні моделі. Опубліковано багато наукових монографій, підручників, навчальних посібників, постійно проходить захист кандидатських та докторських дисертацій. За високі результати 240 працівників університету відмічені нагородами, званнями, медалями, грамотами, нагрудними знаками, подяками, подарунками різних установ.

Так, державними нагородами відзначені завідувач кафедри професор М. Середюк — «Орденом княгині Ольги» ІІІ ступеня, професор О. Адаменко — орденом «За заслуги» ІІІ ступеня, перший проректор, завідувач кафедри професор В. Векерик — званням «Заслужений діяч науки і техніки України», перший проректор, завідувач кафедри професор Ф. Козак — званням «Зас-



Виступ самодіяльного ансамблю

лужений працівник освіти України», декан, завідувач кафедри професор Я. Коцкулич — «Орденом князя Ярослава Мудрого» V ступеня.

Почесними грамотами Кабінету Міністрів нагороджені професор О. Дзьоба, професор В. Кісіль, доцент Б. Сверида, подяки отримали професори Я. Грудз і Я. Семчук, доцент В. Чорноус. Почесними грамотами Верховної Ради України нагороджені проректор з наукової роботи, завідувач кафедри професор О. Карпаш, проректор з науково-педагогічної роботи, завідувач кафедри професор С. Чеховський, грамотами — професори М. Дранчук та Ю. Петрина. Нагрудними знаками «Петро Могила» Міністерство освіти і науки України нагородило 9 працівників, нагрудними знаками «За наукові досягнення» — 4, Почесними грамотами — 8.

Крім того, наших працівників відзначили НАК «Нафтогаз України» і його структурні підрозділи, Івано-Франківські ОДА і обласна Рада, міська Рада, Державна геологічна служба, Спілка геологів України, Головне управління державної служби України, профспілкові організації галузі і області.

Свято організовано на високому рівні і пройшло з великим піднесенням.

Інформаційне повідомлення підготував І. Короп, завідувач відділу охорони інтелектуальної власності і інформаційних технологій ІФНТУНГ



15-Я МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И СРЕДСТВА НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ»

С <u>1 по 5 октября</u> 2007 г. в Ялте проходила 15-я Юбилейная международная конференция и выставка «Современные методы и средства неразрушающего контроля и технической диагностики», организованная Украинским информационным центром «НАУКА. ТЕХНИКА. ТЕХНОЛОГИЯ» (г. Киев) и НПП «Машиностроение» (г. Днепропетровск) при поддержке Обществ неразрушающего контроля и технической диагностики Украины, России и Белоруссии, а также Днепропетровского национального университета.

Генеральный спонсор конференции — МЧТПП «Онико» (г. Киев), спонсор — «Компания «Сперанца» (г. Желтые Воды).

Информационную поддержку конференции оказали журналы «В мире НК» (г. Санкт-Петербург), «Техническая диагностика и неразрушающий контроль» (г. Киев), «Автоматическая сварка» (г. Киев), Информационный бюллетень УО НКТД «НК-информ».

В работе конференции приняли участие более 240 специалистов: из Украины (более 190), России (34), Бе-





Открытие конференции

ларуси (5), Германии (4), Чехии (3), Латвии (2), Казахстана (1) и Словакии (1). Следует отметить, что 110 участников конференции представляли промышленные предприятия, 48 — НИИ, КБ и ВУЗы, 61 — независимые научно-производственные фирм, 22 — представители экспертных и диагностических центров.

Открыл конференцию академик НАН Украины, заместитель директора ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины академик НАН Украины **Л. М. Лобанов**.

Участников конференции приветствовали от Европейской федерации НК и Германского общества НК госпожа X. Вессель, от Российского общества НКТД — проф. О. Н. Будадин, от Белорусской ассоциации НКТД — Н. Г. Медведевских, от Чешского общества НК — докт. В. Макаров, от Латвийского общества НК — проф. В. В. Кожаринов.

Оргкомитет конференции от имени всех ее участников поздравил коллектив ученых и специалистов, удостоенных Государственной премии Украины в области науки и техники за разработку и внедрение средств неразрушающего контроля и технологий технической диагностики машиностроительного и нефтегазового оборудования длительной эксплуатации. Лауреатами премии стали проф. В.А. Троицкий, проф. А. Я. Недосека, проф. О.М. Карпаш, канд. техн. наук Я. М. Зинчак, канд. техн. наук В. А. Пивторак, д-р техн. наук Л. Н. Девин, д-р физ.-мат. наук Д. Б. Куриляк, П. Я. Криничный. Оргкомитет вручил памятный подарок представителю творческого коллектива Я. М. Зинчаку.

Теплые слова прозвучали в адрес юбиляров, известных специалистов в области неразрушающего контроля, — И. П. Белокура, З. А. Берника, Ю. К. Бондаренко, которым под аплодисменты заполненного зала были вручены памятные подарки.

О работе Украинского общества НКТД в 2007 г. и о планах на 2008 г. доложил заместитель председателя А. В. Мозговой.

На конференции были заслушаны 11 пленарных, 55 секционных и 45 стендовых докладов о последних результатах исследований и разработок по широкому спектру проблем НК, диагностирования и прогнозирования остаточного ресурса конструкций; определению физико-механических характеристик материалов, подготовке и сертификации специалистов по НК, разработке новых и совершенствованию существующих



Ведущие специалисты Украины по НК

нормативных документов НКТД и другим актуальным вопросам.

Академик НАН Украины Л. М. Лобанов (г. Киев) в своем докладе сообщил об исследованиях в области НКТД, выполненных за последние три года в рамках целевой комплексной программы НАН Украины «Проблемы ресурса и безопасности эксплуатации конструкций, сооружений и машин». Целью программы являлась разработка методологических основ прогнозирования остаточного ресурса конструкций, создания методов, технических средств и технологий для оценки технического состояния и продления срока эксплуатации техногенно и экологически опасных объектов.

О содержании работы, получившей Государственную премию Украины, рассказал Я. М. Зинчак (г. Ивано-Франковск) в своем докладе «Этапы развития технических средств и технологий НКТД объектов нефтегазового комплекса (1960–2000 гг.)».

О новой работе, выполненной в Институте неразрушающего контроля Фраунгоферовского общества, рассказала Карина Эйшхорн (г. Саарбрюкен, Германия) — «Инновационный метод ультразвукового рассеивания и его применение для контроля глубины закаленного слоя в металлообрабатывающей и автомобильной промышленности», результаты которой и для украинских предприятий представляют несомненный интерес.

Гансгеорг Тиле (г. Берлин, Германия) в докладе «Обзор европейских стандартов в области неразруша-



Стенд Института электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины



ющего контроля» на конкретных примерах продемонстрировал взаимосвязь и отличия стандартов, системность подхода при их разработке в Европе.

Современным достижениям теории и практики теплового неразрушающего контроля, за которые была присуждена Государственная премия Российской Федерации, посвящен доклад одного из лауреатов этой премии О. Н Будадина (г. Москва) — «Тепловой контроль и мониторинг технического состояния потенциально опасных объектов в условиях ограниченного доступа».

В связи с все более увеличивающимся объемом НК оборудования, находящегося в эксплуатации и, как правило, исчерпавшего свой ресурс, И. А. Заплотинский (г. Киев) в своем докладе «Об оптимизации объемов контроля при проведении технического диагностирования котлов и трубопроводов» аргументированно обосновал пути снижения расходов на контроль качества, выполняемый квалифицированным персоналом с использованием современных приборов и эффективных методик.

Предложенная Ю. К Бондаренко (г. Киев) в докладе «Проблемы применения стандартов в области надежности, безопасности и риска при эксплуатации сварных конструкций с целью улучшения обеспечения управления качеством в сварочном производстве» модель оценки рисков конструкций, используемую в промышленно развитых странах Европы, для Украины еще является новой.

Об использовании дифракционного метода сделал интересное сообщение А. Л. Ремезов (г. Москва) в докладе «Измерение размеров дефектов при ультразвуковом контроле».

Особый интерес у участников конференции вызвали презентации фирм, участвовавших в выставке:

МЧТПП «ОНИКО» (г. Киев), Компания «Сперанца» (г. Желтые Воды), НПП «Машиностроение» (г. Днепропетровск), Ассоциация «ОКО» (г. Киев), НПФ «Ультракон-Сервис» (г. Киев), НПФ «Промприлад» (г. Киев), НПФ «Ультракон» (г. Киев), НПФ «Диагностические приборы» (г. Киев), НПГ «Алтек» (г. Санкт-Петербург), ООО «Карл Цейсс» (г. Киев), Компания «Нординкрафт» (г. Череповец), НПП «Интрон-Сэт» (г. Донецк), ООО «Шерл» (г. Киев), ООО «Олимпас-Москва» (г. Москва), ООО «ДДАП-Ракс» (г. Днепродзержинск), фирма ATG s.p.o. (г. Прага), НПП «Интерприбор» (г. Челябинск), ЗАО «Синтез НДТ» (г. Санкт-Петербург), ООО «Диагностика М» (г. Москва), ОАО «АвтоВАЗ» (г. Тольятти), НТК «Солар-1» (Харьков), ЗАО НУЦ «Сварка и контроль» (г. Москва), ЦСКБ «Прогресс» (г. Самара), Институт «ВЕМО» (г. Москва), ЗАО МНПО «СПЕКТР» (г. Москва), фирма VZLU (г. Прага), Fraunhofer IZFP (г. Саарбрюкен), ФГУП НИТИ им. Снегирева (г. Железнодорожный), Национальный авиационный .университет (г. Киев), ОАО «Северсталь» (г. Череповец) и др.

Много интересных докладов прозвучало на секционных заседаниях. Проф. О. Н. Будадин (г. Москва) детально проанализировал применение теплового контроля в диагностировании зданий, сооружений, силовых электроцепей, электрооборудования, сосудов и аппара-

тов химического производства и т. д. Канд. техн. наук В. Н. Учанин (г. Львов) рассказал о новых направлениях в вихретоковом контроле; В. Л. Перевертайло (г. Харьков) — о новых материалах для монолитных рентгеновских детекторов; Е. В. Дубовой и А. В. Опанасенко — о новых разработках в ЗАО «УкрНИИНК» и НПФ «Промприлад» и т. д.

Актуальной проблеме подготовки, аттестации и сертификации специалистов НКТД, аккредитации испытательных лабораторий была посвящена работа секции, которой руководил Радько В. И. В работе секции приняли участие представители девяти органов по сертификации из Украины, России, Беларуси, Словакии и Германии. Состоялся обмен опытом между заинтересованными преподавателями и экзаменаторами учебных и аттестационных центров разных стран. О том, что «Центр сертификации при УО НКТД» успешно прошел процедуру аккредитации в Национальном агентстве аккредитации Украины на соответствие требованиям ДСТУ ISO/IEC 17024-2003 и ДСТУ EN 473-2001 как независимый по сертификации персонала в области НК, сообщил в своем докладе канд. техн. наук Н. Г. Белый (г. Киев).

Работа секции «Нормативные документы по вопросам обследования и оценки технического состояния и паспортизация жилых, общественных и производственных зданий и сооружений» прошла под руководством А. Д. Есипенко, директора НИЦ по вопросам проектирования, строительства и эксплуатации зданий и сооружений (г. Киев) и В. А. Гаврилова — главного метролога НПП «Интерприбор» (г.Челябинск), ведущего разработчика и изготовителя средств НКТД строительных конструкций.

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».

По единодушному мнению конференция прошла успешно. Оргкомитет сделал все возможное для того, чтобы ее участники смогли интенсивно, с пользой для себя, поработать, обменяться мнениями, информацией, узнать новое. Конференция имеет свое лицо, в чем-то неповторимое, свои традиции. При этом каждый год в ней что-то меняется. Например, в этот раз целый день был выделен на подробные презентации разработчиков новых средств, методов, технологий НКТД. Эффективность конференции обеспечивается возможностью общения ее участников практически все время, не только на секциях, но и после них.

Благодаря спонсорам была впервые обеспечена возможность участникам неформально познакомиться до начала работы конференции на фуршете, а яркое солнце, теплое Черное море и прекрасная крымская природа способствовали укреплению дружеских и научных отношений.

Ждем вас в начале октября 2008 года на 16-й конференции!

Информационное сообщение подготовлено 3. Ю. Главацкой, А. В. Мозговым, Ю. Н. Посыпайко



НОВОСТИ

МЕТОДИКИ АКУСТИКО-ЕМІСІЙНОЇ ОЦІНКИ ВОДНЕВО-КОРОЗІЙНОГО РОЗТРІСКУВАННЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ СТАЛЕЙ

Фізико-механічний ін-т ім. Г. В. Карпенка НАН України

Дослідження спрямовані на створення теоретико-експериментальних засад оцінки воднево-корозійного руйнування конструкційних сталей, які працюють під впливом відповідного середовища з одночасною дією механічного навантаження. Об'єктом дослідження є процеси зародження та розвитку мікро- та макротріщин в конструкційних сталях під дією вказаних фізикохімічних чинників і пружні динамічні поля, які при цьому виникають у твердому тілі.

Для ефективного виявлення цих процесів розроблено науково обгрунтовані підходи щодо акустико-емісійного діагностування тріщиноподібних дефектів з позицій механіки руйнування. В їх основу покладена акустико-емісійна модель оцінки виникнення та докритичного розвитку корозійно-водневих тріщин в металічних тілах, яка грунтується на фізико-хімічних процесах, що протікають у металі (в тому числі і у вершині тріщин) під час електролітичного переносу водню та наводнення з газової фази з урахуванням домінуючої дії механізму водневого окрихчення.

Показано, що ранні стадії зародження та розвитку тріщиноподібних дефектів корозійно-водневого походження супроводжуються дискретними сигналами акустичної емісії, за допомогою яких можна ефективно визначати механізми водневого чи корозійного розтріскування сталей, ступінь їх об'ємної пошкодженості.

ПРИЛАД ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ФІЗИКО-МЕХА-НІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТАЛЕЙ ФМХ-1 Івано-Франківський нац. техн. ун-т нафти і газу



Науково-дослідною лаборатирією НК та ТД об'єктів науфтогазового комплексу розроблено та впроваджено в експлуатацію прилад для визначення фізикомеханічних характеристик ФМХ-1.

Основні технічні характеристики

1. Визначення механічних характеристик сталей: границі текучості (200...800 МПа), границі міцності (400...1000 МПа). 2. Похибка визначення механічних характеристик сталей — не більше 10 %. 3. Роздільна здатність визначення механічних характеристик сталей — 5 МПа. 4. Для визначення механічних характеристик

використовуються їх залежності від твердості та теплопровідності. **5.** Вбудований алгоритм обробки вимірювальної інформації — на базі штучних нейронних мереж. **6.** Передбачена можливість визначення структури сталі. **7.** Прилад може працювати під керуванням з ПК та автономно. **8.** Розроблене спеціалізоване програмне забезпечення для синхронізації приладу з ПК.

ПРИСТРІЙ КОНТРОЛЮ ІЗОЛЯЦІЇ ПКІ-1 Івано-Франківський нац. техн. ун-т нафти і газу

ПКІ-1 призначений для знаходження безконтактним і контактним способом місць наскрізних пошкоджень в ізоляційному покритті металевих трубопроводів, що будуються чи експлуатуються, укладених під різними



видами дорожніх покриттів, без розкриття грунту, для визначення безконтактним способом місця розташування і глибини залягання трубопроводу. За призначенням і експлуатацією ПКІ-1 аналогічний АНПИ-А, проте має вищу завадозахищеність і селективність.

Технічні характеристики

1. Дальність обстеження (максимальна віддаль еід генератора в залежності від стану ізоляційного покриття — 3 км. 2. Похибка визначення місця розміщення дефекту в ізоляційному покритті, не більше 0,2 м. 3. Мінімальний розмір дефекту, що визначається, в ізоляції на фоні суцільного ізоляційного покриття, не більше 3 мм². 4. Послаблення завади з частотою 50 Гц по відношенню до сигналу з частотою 1000 Гц, не менше 65 Дб. 5. Індикація показів приймача здійснюється стрілочним приладом і головними телефонами. 6. Максимальна вихідна потужність генератора в режимі неперервної генерації, не менше 40 Вт. 7. Напруга живлення генератора 12 В (від автомобільного акумулятора).

СИСТЕМА ДИАГНОСТИКИ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ НИЗКОСКОРОСТ-НОГО УДАРА

Национальный авиационный университет

Данная система представляет собой программно-аппаратный комплекс, позволяющий осуществлять диагностику композиционных материалов и пластиков методом низкоскоростного удара. Используемый метод основан на взаимосвязи параметров низкоэнергетического ударного воздействия с механическими характеристиками объекта диагностики. Основные преимущества системы: возможность обнаружения локальных повреждений и зон с аномальными физико-механичес-



кими характеристиками в композиционных материалах; высокая чувствительность и разрешающая способность (минимальный диаметр обнаруживаемой дефектной зоны — 2 мм); анализ временных и спектральных характеристик импульсов ударного взаимодействия; обработка результатов и принятие диагностического решения в реальном масштабе времени; накопление и статическая обработка данных.

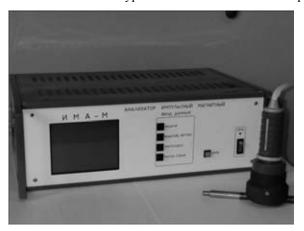
Система предназначена для разработки методик диагностирования и для проведения диагностики изделий в лабораторных и производственных условиях. Программное обеспечение системы представляет собой независимый интерфейс, обеспечивающий контроль и управление процессами сбора, обработки, сохранения и интерпретации информации об объекте диагностирования, обучения и принятия диагностического решения. Автономная работа интерфейса осуществляется в среде MS DOS и не требует установки дополнительных программ или библиотек.

ИМПУЛЬСНЫЙ МАГНИТНЫЙ МНОГОПАРА-МЕТРОВЫЙ АНАЛИЗАТОР ИМА-М

Ин-т прикладной физики Национальной академии наук Беларуси

Разработан прибор для неразрушающего контроля качества термической обработки (закалка, отпуск, отжиг) изделий из ферромагнитных материалов — импульсный магнитный анализатор многопараметровый ИМА-М. Он позволяет локально намагничивать и перемагничивать контролируемое изделие пятью сериями импульсов, амплитуды импульсов в первой, третьей и пятой сериях возрастают с заданным шагом от нуля до заранее установленной величины, а во второй и четвертой сериях убывают с тем же шагом от установленной величины до нуля. Такой режим локального импульсного намагничивания позволяет получить аномальную петлю магнитного гистерезиса в режиме импульсного перемагничивания, шесть параметров которой используют для поиска оптимального уравнения корреляционной связи между измеряемыми магнитными параметрами и контролируемыми механическими.

Набор и обработку статистических данных для поиска оптимального уравнения множественной кор-



реляции осуществляют с помощью ПЭВМ, для подключения которой в приборе ИМА-М имеется специальный выход. Оптимальное уравнение корреляции и оптимальный режим намагничивания заносят в память прибора для конкретного контролируемого изделия, в результате чего оператор при контроле таких изделий считывает с индикатора непосредственно величину контролируемой величины (например, твердости).

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УЛЬТРА-ЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ КОНЦЕВЫХ УЧАСТ-КОВ ТРУБ САУЗК «УНИСКАН-ЛУЧ КТ-7»

Украинский научно-исследовательский Институт неразрушающего контроля

Разработана система автоматизированного ультразвукового контроля (САУЗК) на базе многоканального ультразвукового дефектоскопа «Унискан-ЛуЧ» СА-УЗК «Унискан-ЛуЧ КТ-7», предназначенная для ультразвукового контроля концевых участков труб диаметром от 406 до 1422 мм с толщиной стенки от 6,3 до 40,7 мм и длиной до 12,5 мм на наличие плоскостных дефектов типа расслоений и продольно-ориентированных трещин.

Система автоматизированного ультразвукового контроля концов труб «Унискан-ЛуЧ» позволяет одновременно проводить комплексный 100%-ный ультразвуковой контроль по всей толщине стенки трубы на наличие продольно-ориентированных трещин и плоскостных дефектов типа расслоений с ограничением зоны контроля по ближней и дальней «мертвым зонам».

Система обеспечивает выявление:

дефектов, эквивалентных по своей отражающей способности контрольному отражателю в виде плоскодонного сверления диаметром 3 мм, расположенного на любом участке контролируемой зоны, в пределах мертвых зон по толщине стенки трубы — 2 мм от поверхности ввода ультразвуковых колебаний и 2 мм от внутренней поверхности трубы;

дефектов, эквивалентных по своей отражающей способности контрольному отражателю продольной ориентации, относительно оси трубы, в виде прямоугольного паза шириной не более 1 мм, глубиной 5 % от номинальной толщины стенки трубы и протяженностью 15 мм, выполненного на наружной и внутренней поверхностях трубы.

Контроль концов труб на наличие расслоений проводится с использованием прямых раздельно-совмещенных ультразвуковых преобразователей с рабочей частотой 5 МГц, контроль на наличие продольных дефектов — наклонными совмещенными ультразвуковыми преобразователями с углом ввода 450 и рабочими частотами 2,5 и 5 МГц.

Для обеспечения постоянного и качественного акустического контакта между поверхностью сканирования ультразвукового датчика и внешней поверхностью контролируемой трубы предусмотрено использование в конструкции рабочего сканера специальных высокопрочных корпусов-рамок, в которых непосредственно закреплены датчики.

ВИХРЕТОКОВЫЙ АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ДЕФЕКТОСКОП ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПОДШИПНИКОВ НПФ «Промприлад»

Разработан и создан дефектоскоп ВД-131 НДПЕ «Инспектор». Прибор предназначен для выявления выходящих на поверхность трещин протяженностью более 3 мм, раскрытием более 2 мкм, глубиной более 0,1 мм в цилиндрических роликах диаметром 32 мм и длиной 52 мм из состава подшипников качения № 2726, используемых в буксовых узлах вагонов.

В основу работы дефектоскопа ВД-131 «Инспектор» положен модуляционный метод вихретокового контроля. Он заключается в том, что при взаимном перемещении объекта контроля и вихретокового преобразователя пространственное изменение свойств объектов

контроля влечет за собой изменение параметров сигнала ВТП во времени. После усиления и детектирования сигнала вихретокового преобразователя полученная огибающая высокочастотных колебаний несет информацию о наличии и величине дефекта.

Дефектоскоп предназначен для эксплуатации в лабораторных и цеховых условиях вагоноремонтных заводов.

На базе вагонных депо «Дарница» ВЧД-5 и «Киев-Пассажирский» специалистами НПФ «Промприлад» совместно со специалистами депо были проведены эксплуатационные испытания вихретокового дефектоскопа дефектоскопа ВД-131 по выявлению поверхностных дефектов в стальных цилиндрических роликах из состава подшипников качения, используемых в буксовых узлах грузовых и пассажирских вагонов.



ПАТЕНТЫ В ОБЛАСТИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ И НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ*

№ 2305854 (2007.09.10). Устройство пространственной обработки широкополосных сигналов.

Изобретение относится к области приборостроения и может быть использовано для эхолокации подводных объектов при задачах ультразвукового неразрушающего контроля и ультразвуковой медицинской диагностики внутренних органов. Техническим результатом изобретения является расширение технических возможностей устройства. Устройство содержит кольцевую антенную решетку, блок усилителей, задающий генератор, синхронизатор, коммутатор, антенную решетку, блок приемных усилителей, коммутатор дальности и коммутатор направления. Дополнительно введены акустоэлектронный процессор и приемный акустоэлектронный процессор. Антенная решетка выполнена в виде вогнутой дуговой антенной решетки. Акустоэлектронный процессор содержит элементы переизлучающей решетки, выполненной в виде вогнутой дуги, и дуговые считывающие решетки, каждая из которых содержит элементы, расположенные по дугам окружностей с радиусом, определяемым дальностью до объекта в ближней зоне, а число считывающих решеток определяется числом элементов разрешения по дальности устройства в ближней зоне.

№ 2305848 (2007.09.10). Способ дистанционной диагностики многоэлементной изолирующей конструкции.

Изобретение относится к электрическим измерениям и предназначено для выявления дефектной многоэлементной изолирующей конструкции. Технический результат: выявление дефектов на ранней стадии их возникновения. Регистрируют пространственное распределение интенсивности инфракрасного излучения многоэлементной высоковольтной изолирующей кон-

струкции, находящейся под переменным напряжением в установившемся температурном режиме. Регистрируют интенсивность излучения от поверхностных электрических разрядов. Состояние изоляции определяют по величинам среднего и среднеквадратического отклонения в зарегистрированном распределении инфракрасного излучения и величине интенсивности излучения поверхностных разрядов. Конструкция считается дефектной, если хотя бы одна из полученных величин превышает установленное для каждой из них пороговое значение. Пороговые значения определяются по результатам диагностики такой же конструкции с исправной изоляцией в аналогичных метеоусловиях.

№ 2006103480 (2007.08.20). Способ контроля и диагностики состояния трубопроводов сетей водопровода и канализации и устройство для его осуществления.

1. Способ контроля и диагностики технического состояния трубопроводов сетей водопровода и канализации, заключающийся в том, что на первом этапе производят запись изображения внутренней поверхности труб в виде электронных данных на носители информации, а на втором этапе осуществляют визуализацию записанного изображения внутренней поверхности труб и по изображению проводят идентификацию дефектов с определением их местоположения на трубе, отличающийся тем, что с целью повышения точности и надежности контрольно-диагностических работ, обеспечения высокой скорости проведения работ первого этапа, исключения зависимости качества работ первого этапа от квалификации человека-оператора, а также улучшения использования емкости носителей информации, запись изображения внутренней поверхности труб в виде электронных данных на носители информации осуществляют при помощи цифровых фотоаппаратов высокого разрешения, а визуализацию записанных изображений проводят с использованием прикладного программного обеспечения, обеспечива-

^{*} Рефераты российских патентных документов за 2007 г. http:// www.fips.ru/russite/



ющего возможность цифрового увеличения изображения в процессе анализа наличия дефектов труб.

2. Устройство для осуществления способа контроля и диагностики технического состояния трубопроводов сетей водопровода и канализации по п.1, состоящее из приборов, производящих запись изображений внутренней поверхности трубы в виде электронных данных на носители информации, и приспособления для транспортирования приборов внутри трубопровода, отличающееся тем, что с целью повышения точности и надежности контрольно-диагностических работ, обеспечения высокой скорости проведения работ первого этапа, исключения зависимости качества работ первого этапа от квалификации человека-оператора, а также улучшения использования емкости носителей информации, в качестве приборов используют цифровые фотоаппараты высокого разрешения.

№ 2304837 (2007.08.20). Способ контроля технического состояния электрической машины.

Использование: для диагностики электрических машин, преимущественно турбо- и гидрогенераторов электростанций. **Технический результат** заключается в повышении достоверности диагностирования виброударных дефектов статора на работающем генераторе. Согласно способу на работающей электрической машине измеряют параметры собственных колебаний конструктивных элементов на частотах, не обладающих свойством кратности по отношению к частотам основных вынуждающих сил, и по их наличию судят о появлении дефектов и их виде. Для повышения достоверности диагностирования и распознавания дефектов измерения проводят в различных режимах нагрузки.

№ 2304279 (2007.07.10). Устройство для намагничивания стенок труб действующих трубопроводов.

Изобретение относится к области неразрушающего контроля и может быть использовано в составе внутритрубных дефектоскопов. Сущность: устройство содержит ярмо магнитопровода, группу постоянных магнитов и соответствующее число полюсных наконечников, состоящих из основания, подвижных пластин и выталкивающих пружин. Пружины выполнены как отрезки троса, зафиксированные своими концами в основании полюсного наконечника. На каждый из отрезков троса нанизаны своими отверстиями плоские пластины, которые вставлены плоской частью в пазы, выполненные в теле основания каждого полюсного наконечника. Пазы ориентированы вдоль направления движения дефектоскопа. Пластины имеют возможность перемещаться в пазах. Технический результат: неизменность силы трения, постоянство характера движения дефектоскопа внутри трубопровода, стабильность промагничивания стенки трубы, отсутствие остановок дефектоскопа при прохождении толстостенных элементов конструкции газопровода, сокращение времени диагностики.

№ 2006105373 (2007.09.20). Устройство намагничивания для средств неразрушающего контроля.

1. Устройство намагничивания для средств неразрушающего контроля, содержащее полый корпус из немагнитного материала, выполненный в форме железнодорожного колеса, внутри которого установлен магнит в виде диска, отличающееся тем, что устройство снабжено дополнительным магнитом, имеющим форму и размеры первого магнита, при этом оба диска магнитов установлены соосно с ребордой колеса, обращены друг к другу одноименными полюсами и образуют между собой равномерный зазор.

2. Устройство намагничивания для средств неразрушающего контроля по п.1, отличающееся тем, что магнит выполнен в виде электромагнита. Устройство акустико-эмиссионного контроля изделий с несколькими
фарфоровыми изоляторами, содержащее блок отображения информации, по меньшей мере, два измерительных канала, в каждом из которых последовательно
включены акустический преобразователь, блок фильтрации, детектор огибающей, пороговый элемент, счетчик импульсов и регистр, выход которого через последовательно включенные блок запуска и таймер подключен к тактовым входам счетчика импульсов и регистра, и блок принятия решения, к входам которого подключены выходы измерительных каналов, а к выходу
— вход блока отображения информации.

№ 2306553 (2007.09.20). Термоэлектроимпульсное устройство для контроля неоднородности поверхностного слоя металлов и сплавов.

Изобретение относится к средствам неразрушающего контроля. Термоэлектроимпульсное устройство содержит остроконечный зонд, источник импульсного тока, создаваемого разрядом конденсатора через электрод разряда, измеритель термоЭДС и переключатель знака термоЭДС, измерительный электрод, соединенный с измерителем термоЭДС и подвижный электрод, замыкающий поочередно цепи разряда конденсатора и измерения. Технический результат: повышение точности определения неоднородности поверхностного слоя металлов и сплавов за счет уменьшения глубины прогрева поверхностного слоя.

№ 2305854 (2007.09.10). Устройство пространственной обработки широкополосных сигналов.

Изобретение относится к области приборостроения и может быть использовано для эхолокации подводных объектов при задачах ультразвукового неразрушающего контроля и ультразвуковой медицинской диагностики внутренних органов. Техническим результатом изобретения является расширение технических возможностей устройства. Устройство содержит кольцевую антенную решетку, блок усилителей, задающий генератор, синхронизатор, коммутатор, антенную решетку, блок приемных усилителей, коммутатор дальности и коммутатор направления. Дополнительно введены акустоэлектронный процессор и приемный акустоэлектронный процессор. Антенная решетка выполнена в виде вогнутой дуговой антенной решетки. Акустоэлектронный процессор содержит элементы переизлучающей решетки, выполненной в виде вогнутой дуги, и дуговые считывающие решетки, каждая из которых содержит элементы, расположенные по дугам окружностей с радиусом, определяемым дальностью до объекта в ближней зоне, а число считывающих решеток определяется числом элементов разрешения по дальности устройства в ближней зоне.



№ 2305268 (2007.08.27). Способ неразрушающего контроля и прогнозирования ресурса деталей машин.

Изобретение относится к области исследования физико-механических свойств деталей машин. Сущность: ресурс детали определяется по коэффициенту внутреннего рассеяния энергии исследуемого объекта, а он в свою очередь определяется по амплитудофазочастотной характеристике по ускорению некоторой характерной точки детали. Регистрируют значение амплитуды ускорения и сдвиг фазы между силовым воздействием от кварцевого генератора и ускорением. Определяют коэффициент внутреннего рассеяния энергии по формуле. Найденный коэффициент внутреннего рассеяния энергии сравнивается с данными экспериментальной кривой, определенной ранее для аналогичной детали со 100 %-ным ресурсом, и затем определяется остаточный ресурс исследуемой детали. Технический результат: сокращение времени испытаний, повышение достоверности результатов и качества решаемых задач.

№ 2304766 (2007.08.20). Способ неразрушающего контроля состояния объекта.

Использование: для неразрушающего контроля состояния объекта. Сущность: заключается в том, что объект просвечивают рентгеновским или гамма-излучением, регистрируют интенсивности прошедшего сквозь объект излучения с помощью детектора, который контактирует с частью объекта, обрабатывают результаты просвечивания и оценивают наличие дефектов в контактирующей с детектором части объекта, затем обнаруживают интенсивности, свидетельствующие о возможном наличии дефекта в части объекта, не контактирующей с детектором, после чего осуществляют контакт упомянутой части объекта с детектором путем изменения пространственного положения части последнего, повторно просвечивают объект, регистрируют интенсивность прошедшего сквозь объект излучения, обрабатывают результаты повторного просвечивания, оценивают наличие дефектов в части объекта, где был осуществлен контакт с детектором, и по результатам обоих просвечиваний судят о наличии или отсутствии дефектов в объекте. Технический результат: повышение достоверности результатов контроля.



ПО СТРАНИЦАМ ЖУРНАЛА «АКУСТИЧНИЙ ВІСНИК»* за 2006 г.



Азаренко Е. В. Акустическое обнаружение эмульгированных нефтепродуктов в восточной части Черного моря, № 1, С. 3-9.

Андрущенко В. А., Бондаренко А. А., Мелешко В. В., Никитенко В. Н. Определение упругих постоянных квадратных пъезокерамических пластин резонансным методом, № 4, С. 3-11.

Безымянный Ю. Г. Акустическое отображение материалов с развитой мезоструктурой, № 2, С. 3-16.

Безымянный Ю. Г., Козирацкий Е. А. Отображение свойств волокнистых материалов по скорости распространения упругих волн, \mathbb{N} 1, C. 15-20.

Бойчук Е. В., Жук Я. А., Сенченков И. К. Волны напряжении в цилиндре, возбуждаемые термическим импульсом на торце, $N ext{2}$ 3, C. 7-15.

Вовк И. В., Мацыпура В. Т., Сотникова Т. А. Об одном методе повышения эффективности шумоподавляющих барьеров, № 2, С. 17-26.

Гомилко А. М., Денисенко В. И. Асимптотическое решение задачи об излучении звука колеблющейся сферой в равномерно движущейся среде, № 4, С. 12-16.

Городецкая Н. С., Гринченко В. Т., Мелешко В. В. О принципе Сен-Венана для гармонических колебаний упругого полуслоя, № 1, С. 21-23.

Гринченко В. Т., Комиссарова Г. Л. Свойства локализованных вблизи границ волновых движений в заполненном жидкостью цилиндре, № 2, С. 33-55.

Гринченко В. Т., Комиссарова Г. Л. Свойства нормальных волн композитного упруго-жидкостного волновода, помещенного в жидкость, № 4, С. 17-34.

Дудзинский Ю. М. Кавитационная эрозия в условиях гидростатического давления, № 2, С. 56-62.

Дудзинский Ю. М. Динамика затопленной конической осесимметричной струйной оболочки, № 3, С. 27-35.

Дудзінський Ю. М. Акусто-гідродинамічний метод вимірювання порогу кавітації рідини, № 1, С. 34-39.

Запевалов А. С. Бимодальное угловое распределение энергии ветровых волн и его влияние на акустический шум, генерируемый морской поверхностью, $N ext{0}$ 1, С. 40-44.

Запевалов А. С. Влияние длинных поверхностных волн на резонансное рассеяние акустического излучения в обратном направлении, № 3, С. 36-41.

Воропаев Г. А., Загуменный Я. В. Нестационарное деформирование трехмерного вязкоупругого слоя переменной толщины, № 2, С. 27-36.

^{*} Издается Институтом гидромеханики НАН Украины.





ПОЗДРАВЛЯЕМ ЮБИЛЯРА!

В октябре исполнилось 70 лет талантливому конструктору, членукорреспонденту Академии инженерных наук Украины, заведующему отделом автоматизированных средств неразрушающего контроля ОКТБ Института электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины Владимиру Львовичу Найде.

Родился В. Л. Найда в Днепропетровске. В 1965 г. закончил Московский энергетический институт по специальности «Электрификация промышленных предприятий и установок». В ОКТБ Института электросварки им. Е. О. Патона

пришел в 1972 г. сформировавшимся специалистом в области автоматических систем управления оборудованием. Первые системы управления на бесконтактных элементах электроники, разработанные им, реализованы в станках-автоматах и автоматических линиях для наплавки клапанов автомобильных двигателей и успешно эксплуатируются на АвтоВАЗе, КамАзе, ЗИЛе и других предприятиях.

В 1984 г. он возглавил отдел автоматизированных средств неразрушающего контроля. Под его непосредственным руководством были созданы и успешно эксплуатировались автоматизированные системы ультразвукового контроля разных изделий на заводе «Южмаш» (Днепропетровск), на Выксунском металлургическом заводе и других предприятиях.

В последние годы были созданы отечественные системы для неразрушающего контроля сварных швов и металлоконструкций атомных электростанций России и Украины. Эта техника заменяет ручной контроль машинной компьютерной диагностикой экологически опасных объектов и успешно конкурирует с импортным оборудованием в поддержке безопасности ядерной энергетики и продлении ресурса ее дорогостоящих конструкций. К числу последних разработок, успешно воплощенных на АЭС России и Украины, относятся установки типа НК293, НК300 и НК321 для ультразвукового контроля объектов первого контура, манипулятор НК331 и зонды ВСЗ-10,8 для вихретокового контроля теплообменных труб и перемычек коллекторов парогенераторов реакторов ВВЭР-1000.

Успешная деятельность отдела В. Л. Найды в области неразрушающего контроля позволила получить в 2004—2005 гг. ответственный заказ от Выксунского металлургического завода на изготовление комплексов установок для ультразвукового контроля сварных швов и торцевых участков труб диаметром 508...1420 мм и толщине стенок 7...50 мм. В результате проведенного в два этапа тендера выполнение заказа было поручено коллективу В. Л. Найды. К настоящему времени шесть комплексов установок НК360, НК361 и НК362 приняты заказчиком и успешно эксплуатируются. Этот проект, выполненный в чрезвычайно сжатые сроки и объединяющий сверхсовременные элементы механики и электроники, лазерной и ультразвуковой техники, по уровню автоматизации и компьютерного программирования, бесспорно, относится к технике XXI века. В данный момент под руководством В. Л. Найды выполняется заказ по выигранному международному тендеру на разработку и изготовление двух установок АУЗК железнодорожных колес и еще

В. Л. Найда является автором 93 научных публикаций, среди них одна монография и 38 авторских свидетельств и патентов.

Сердечно поздравляем юбиляра, желаем крепкого здоровья, благополучия и больших творческих успехов!

двух установок для контроля концевых участков труб.

Дирекция и сотрудники Института электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины Редколлегия и редакция журнала «Техническая диагностика и неразрушающий контроль»





Украинский информационный Центр "НАУКА. ТЕХНИКА. ТЕХНОЛОГИЯ"

02094, г. Киев, ул. Минина, 3, к. 47 ⊠: 02094, г. Киев, ул. Минина, 3, к. 47, а/я 41 Тел./факс: +380(44) 573 30 40 с 8.00 до 14.00, Моб. +38-067 708 93 95, ген. директор Главацкая Зоя Юрьевна

E-mail: office@conference.kiev.ua, www.conference.kiev.ua

Уважаемые коллеги!

Приглашаем Вам принять участие в работе ежегодных научно-практических конференций, семинаров, круглых столов, выставок, организуемых Украинским информационным Центром «НАУКА. ТЕХНИКА. ТЕХНОЛОГИЯ».

Двадцать Восьмая ежегодная международная конференция и блиц-выставка «КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ» (СЛАВПОЛИКОМ)

Научное руководство: Министерство промышленной политики Украины, Национальное космическое агентство Украины, Российское космическое агентство, АНТК «Антонов», ГКБ «Южное», ЗМКБ «Прогресс», ФГУП «ОНПП «ТЕХНОЛОГИЯ», ФГУП НПО им С. А. Лавочкина, НПП «Полет», ОАО «НПО «КОМПОЗИТ», ГК НПЦ им. М. В. Хруничева, ГНУ «ИММС» НАН Беларуси, ОАО «УкрНИИТМ», ОАО «УкрНИИАТ»

Генеральный спонсор: НПП «ПОЛЕТ», г. Обнинск

Место и время проведения: г. Ялта, 26–30 мая 2008 г. Внимание! Участие 10 молодых ученых, представивших самые интересные и практические доклады, БЕСПЛАТНОЕ!!!

Шестнадцатая ежегодная международная конференция и выставка «СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И СРЕДСТВА НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ»

Научное руководство: Украинское и Российское общества неразрушающего контроля и технической диагностики, Белорусская ассоциация неразрушающего контроля и технической диагностики, Днепропетровский национальный университет, НПП «Машиностроение»

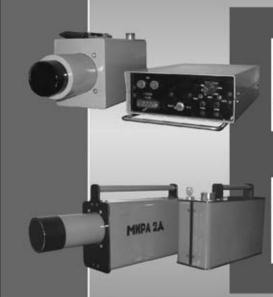
Спонсоры: МЧТПП «ОНИКО», Компания «СПЕРАНЦА».

Место и время проведения: г. Ялта, 6–10 октября 2008 г. Внимание! Участие 10 молодых ученых, представивших самые интересные и практические доклады, БЕСПЛАТНОЕ!!!





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



ООО Кварц выполняет ремонт:

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

Поставка:

- 1) рентгеновских аппаратов всех моделей
- 2) рентгеновских трубок всех типов к промышленным ренттеновским аппаратам и спектрометрам
- 3) 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,



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 – 2008 на журнал «Техническая диагностика и неразрушающий контроль»

Стоимость подписки через редакцию*

	Украина		Россия		Страны Дальнего зарубежья	
	на полугодие	на год	на полугодие	на год	на полугодие	на год
*	60 грн.	120 грн.	660 руб.	1320 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 Фамилия И. О.	200 г. по	200 г. включительно
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 (190×190 мм) — 570 \$
Вторая страница обложки (200×290 мм) — 400 \$
Третья страница обложки (200×290 мм) — 400 \$
Четвертая страница обложки (200×290 мм) — 460 \$

Обложка внутренняя, полноцветная

Первая страница обложки $(200\times290\text{ мм})$ — 400 \$ Вторая страница обложки $(200\times290\text{ мм})$ — 400 \$ Третья страница обложки $(200\times290\text{ мм})$ — 400 \$

Четвертая страница обложки (200×290 мм) — 400 \$

Внутренняя вставка

Полноцветная (200×290 мм) — 340 \$ Полноцветная (разворот А3) (400×290 мм) — 570 \$ Полноцветная (200×145 мм) — 200 \$

Реклама в разделе информации Полноцветная (80×120 мм) — 30 \$

Полноцветная (160×120 мм) — 50 \$
• Оплата в гривнях или рублях РФ по

- официальному курсу.
 Для организаций-резидентов Укра-
- ины 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 07.12.2007. Формат $60\times84/8$. Офсетная печать. Усл. печ. л. 8,2. Усл. кр.-отт. 8,9. Уч.-изд. л. 9,1 + 4 цв. вклейки. Цена договорная.

© Техническая диагностика и неразрушающий контроль, 2007