

# ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА И НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ

## № 1, 2009

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.),  
З. А. Майдан (отв. секр.),  
Н. П. Алешин, А. И. Бондаренко,  
В. Л. Венгринович, А. А. Грузд,  
М. Л. Казакевич, О. М. Карпаш,  
В. В. Клюев, А. А. Лебедев,  
Л. М. Лобанов, Г. Г. Луценко,  
З. Т. Назарчук, Н. В. Новиков,  
Г. И. Прокопенко,  
В. А. Стороженко, В. А. Стрижало,  
В. Г. Тихий, В. Н. Учанин,  
С. К. Фомичев, Н. Г. Чаусов,  
В. Е. Щербинин

### 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. С. Дмитрук

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

НОВОСТИ ..... 3

### ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА

*ЛОБАНОВ Л. М., НЕДОСЕКА А. Я., НЕДОСЕКА С. А., ГРУЗД А. А., ХАРЧЕНКО Л. Ф.* Исследование АЭ характеристик материалов при высоких температурах. Сообщение 1. Элементы методики и испытательный стенд ..... 5  
*ГУЦА О. И., СМІЛЕНКО В. Н., КОТ В. Г., БРОДОВОЙ В. А., КЛОЧКОВ И. Н.* Контроль напряжений на основе использования подповерхностных акустических волн ..... 11  
*БАРВИНКО А. Ю., БАРВИНКО Ю. П.* Требования к оценке эксплуатационной надежности цилиндрических резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов после выполнения их капитального ремонта ..... 14

### НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ

*БОНДАРЕНКО А. И.* Исследование механизмов взаимодействия низкочастотных направленных волн с несплошностями трубопроводных систем ..... 18  
*ДЯДИН В. П., ДАВЫДОВ Е. А.* Инженерная оценка роста низкотемпературных слоистых водородных расслоений в случае их канального слияния ..... 26  
*ХОХЛОВА Ю. А., КЛОЧКОВ И. Н., ГРИНЮК А. А., ХОХЛОВ М. А.* Верификация определения модуля юнга с помощью микронзондовой системы «Микрон-гамма» ..... 30  
*СТОРОЖЕНКО В. А., МАЛИК С. Б.* Температурная диагностика машин и механизмов на основе статистического подхода ..... 33  
*КАРПАШ О. М., ДОЦЕНКО Є. Р., КАРПАШ М. О., ВАСИЛИК А. В.* Питомий електричний опір як інформативний параметр визначення фактичних фізико-механічних характеристик матеріалів металоконструкцій довготривалої експлуатації ..... 36

### СЕРТИФИКАЦИЯ И СТАНДАРТИЗАЦИЯ

*БОНДАРЕНКО Ю. К., АРТЮХ К. О.* Проблемы обеспечения конкурентоспособности технических услуг при монтаже и диагностике сварных конструкций ..... 42

### ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ РАЗДЕЛ

*БЕЗЛЮДЬКО Г. Я., ЕЛКИНА Е. И., СОЛОМАХА Р. Н.* Контроль усталости металла неразрушающим магнитным (коэрцитиметрическим) методом как объективная первооснова диагностики оборудования и конструкций ..... 49

### ХРОНИКА И ИНФОРМАЦИЯ

90 лет Национальной академии наук Украины  
(О юбилейной сессии Общего собрания НАН Украины) ..... 51  
Наши поздравления! ..... 52  
Международная конференция «Сварка и родственные технологии — в третье тысячелетие» ..... 53  
17-я Всемирная конференция по НК в Шанхае (Китай) ..... 54  
8-я Международная конференция стран Центральной и Восточной Европы ..... 55  
Про проведення засідання ТК № 78 «ТДІНК» ..... 58  
Вітаємо з 60-річчям! ..... 61  
Календар конференцій и выставок по НК на I полугодие 2009 г. .... 62  
20-лет журналу «Техническая диагностика и неразрушающий контроль» ..... 63  
Издательство ИЭС им. Е. О. ПАТОНА НАНУ ..... 63

### ИЗДАНИЕ ЖУРНАЛА ПОДДЕРЖИВАЮТ:

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



Украинское общество неразрушающего контроля и технической диагностики

# TECHNICAL DIAGNOSTICS and NON-DESTRUCTIVE TESTING

## № 1, 2009

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.),  
N. P. Aleshin, A. I. Bondarenko,  
V. L. Vengrinovich, A. A. Gruzd,  
M. L. Kazakevich, O. M. Karpash,  
V. V. Klyuev, A. A. Lebedev,  
L. M. Lobanov, G. G. Lutsenko,  
Z. T. Nazarchuk, N. V. Novikov,  
G. I. Prokopenko,  
V. A. Storozhenko, V. A. Strizhalo,  
V. G. Tikhy, V. N. Uchanin,  
S. K. Fomichev, N. G. Chausov,  
V. E. Shcherbinin

### 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  
http://www.nas.gov.ua/pwj

### Scientific editors:

N. G. Bely, A. A. Gruzd

### Electron galley:

I. S. Dmitryk,  
L. N. Gerasimenko

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

NEWS .....	3
<b>TECHNICAL DIAGNOSTICS</b>	
<i>LOBANOV L. M., NEDOSEKA A. Ya., NEDOSEKA S. A., GRUZD A. A., KHARCHENKO L. F.</i> Investigation of AE characteristics of materials at high temperatures. Information 1. Basic procedures and testing bench .....	5
<i>GUSHCHA O. I., SMILENKO V. N., KOT V. G., BRODOVOJ V. A., KLOCHKOV I. N.</i> Control of stresses based on application of subsurface acoustic waves .....	11
<i>BARVINKO A. Yu., BARVINKO Yu. P.</i> Requirements to assessment of service reliability of cylindrical tanks for storage of oil and petroleum products after their overhauling .....	14
<b>NON-DESTRUCTIVE TESTING</b>	
<i>BONDARENKO A. I.</i> Investigation of the mechanisms of interaction of low-frequency directional waves with discontinuities of pipeline systems .....	18
<i>DYADIN V. P., DAVYDOV E. A.</i> Engineering evaluation of the growth of low-temperature lamellar hydrogen-induced delaminations in the case of their channel coalescence .....	26
<i>KHOKHLOVA Yu. A., KLOCHKOV I. N., GRINYUK A. A., KHOKHLOV M. A.</i> Verification of Young's modulus determination using «Mikron-gamma» microprobe system .....	30
<i>STOROZHENKO V. A., MALIK S. B.</i> Temperature diagnostics of machines and mechanisms based on a statistical approach .....	33
<i>KARPASH O. M., DOTSENKO E. R., KARPASH M. O., VASILIK A. V.</i> Specific electric resistance as an informative parameter for determination of the actual physico-mechanical characteristics of materials of metal structures in long-term operation .....	36
<b>PERSONNEL CERTIFICATION</b>	
<i>BONDARENKO Yu. K., ARTYUKH K. O.</i> Problems of ensuring the competitiveness of technical services in mounting and diagnostics of welded structures .....	42
<b>INDUSTRIAL</b>	
<i>BEZLYUDKO G. Ya., ELKINA E. I., SOLOMAKHA R. N.</i> Control of metal fatigue by a non-destructive magnetic (coercimetric) method as an objective basis for diagnostics of equipment and structures .....	49
<b>NEWS AND INFORMATION</b>	
90 <sup>th</sup> anniversary of the National Academy of Sciences of Ukraine (about jubilee session of the General Meeting of the NAS of Ukraine) .....	51
Our congratulations! .....	52
International Conference «Welding and Allied Technologies — Into The Third Millennium» .....	53
17 <sup>th</sup> World Conference on NDT in Shanghai (China) .....	54
8 <sup>th</sup> International Conference of Central and East European countries .....	55
On the meeting of TC №78 «TDandNDT» .....	58
Congratulations for the 60 <sup>th</sup> anniversary .....	61
Schedule of conferences and exhibitions on TDandNDT for the 1 <sup>st</sup> half of 2009 .....	62
20 years of «Technical Diagnostics I Nerazhrushajushchii Kontrol» journal .....	63
Publishing House of the E. O. Paton Electric Welding Institute .....	63

JOURNAL PUBLICATION IS SUPPORTED BY:

Technical Committee on standardization «Technical Diagnostics and Non-Destructive Testing» TCU-78



Ukrainian Society for Non-Destructive Testing and Technical Diagnostics



# ИССЛЕДОВАНИЕ АЭ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛОВ ПРИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ.

## Сообщение 1. ЭЛЕМЕНТЫ МЕТОДИКИ И ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ СТЕНД

Л. М. ЛОБАНОВ, А. Я. НЕДОСЕКА, С. А. НЕДОСЕКА, А. А. ГРУЗД, Л. Ф. ХАРЧЕНКО

*Рассмотрены отдельные элементы методики испытания материалов конструкций при высоких температурах, связанные с особенностями технологии, основанной на применении метода акустической эмиссии (АЭ). С учетом этих особенностей на базе разрывной машины Р-20 изготовлен специальный испытательный стенд, включающий оригинальные средства нагрева и его контроля, средства регистрации АЭ, нагрузок и температур. Разработанные методика и стенд позволяют проводить испытания материалов тепловых и электрических станций, элементов конструкций атомной энергетики, оборудования химических и металлургических производств, работающих в диапазоне температур от 20 до 560°С с получением и анализом АЭ характеристик материалов. Приведена конструкция испытательного стенда.*

*Individual elements of the procedure of testing structure materials at high temperatures are described, which are related to the features of the technology based on application of the acoustic emission method (AE). Allowing for these special features a special testing facility was manufactured on the basis of R20 tensile testing machine, including ingenious means of heating and its control, means of recording AE, loads and temperatures. The developed procedure and facility allow testing materials of thermal and electric power stations, structural elements for nuclear power engineering, equipment of chemical and metallurgical productions, operating in the temperature range from 20 to 560°С with derivation and analysis of AE characteristics of materials. Testing facility design is given.*

Область использования метода АЭ постоянно расширяется. В частности, системами периодического и непрерывного АЭ контроля оснащают промышленные производства, на которых условия эксплуатации конструкций и технологического оборудования чрезвычайно разнообразны [1, 2, 6–10]. Это относится к химическим производствам и производствам энергетического профиля, где температуры могут изменяться в диапазоне от криогенных до весьма высоких, составляющих сотни градусов Цельсия, а иногда и выше.

Опыт ИЭС им Е. О. Патона НАН Украины в применении АЭ для определения состояния объектов, работающих при низких и нормальных температурах, показал, что методические трудности, связанные с установкой датчиков АЭ, проведением измерений и оценкой их результатов, могут быть эффективно преодолены. В частности, об этом свидетельствует позитивный опыт многолетней работы систем непрерывного АЭ мониторинга на изотермических резервуарах для хранения жидкого аммиака [3].

Металлические материалы в условиях работы при низких температурах более склонны к хрупкому разрушению [4], акустические сигналы в них распространяются достаточно хорошо, уровень их затухания незначителен, что позволяет охватывать большие площади контролируемой поверхности с использованием нескольких датчиков АЭ [3, 5].

Известно, что высокие температуры по-разному влияют на прочностные свойства различных металлов [2, 4], соответственно, АЭ при нагружении этих металлов также может существенно отличаться. Исследование в лабораторных условиях АЭ характеристик материалов при высоких температурах является необходимым этапом при переходе к периодическому, а затем непрерывному мониторингу объектов химических производств, поскольку на его основе создается методика контроля и нормативные материалы, передаваемые затем предприятиям, которые будут ее применять.

Результаты, полученные при высокотемпературных испытаниях материалов, могут также быть полезны при АЭ исследованиях процесса сварки. Учитывая разнообразие объектов, которые работают при высоких температурах в цехах химических производств, следовало выбрать ряд модельных материалов, наиболее часто используемых в конструкции предполагаемых объектов контроля, и испытать их в условиях нормальных и высоких температур с целью определения особенности их повреждаемости и формирования источников АЭ.

Одной из задач данного этапа исследований была разработка и изготовление стенда, а также методики АЭ испытаний образцов конструкционных материалов при высоких (до 560°С) температурах. При этом необходимо обеспечить измерение и текущий контроль температур с невысокой ошибкой (не более  $\pm 5^\circ\text{C}$ ) во время испытаний ука-

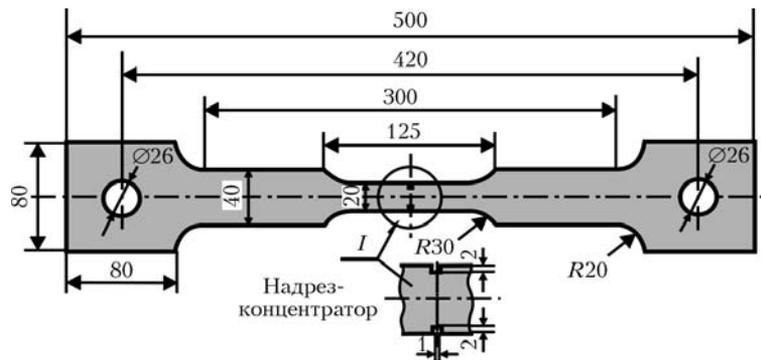


Рис. 1. Образец АЭ-01Р

занных образцов. Это позволит в дальнейшем исследовать зависимость и влияние высокотемпературного фактора на информационные АЭ параметры, по которым принимается решение относительно влияния развивающихся дефектов и оценка остаточного ресурса сварных конструкций. Указанные погрешности обеспечивались путем приварки термпар к поверхности испытываемого образца в месте концентратора.

В лабораторных условиях был разработан, изготовлен и смонтирован специальный испытательный стенд, в состав которого входят:

- разрывная машина Р-20;
- средства нагрева до температур вплоть до 560... 600 °С: специальное устройство электронагрева; нагрев при помощи стабилизированного пламени горелки, потребляющей природный газ и кислород;
- средства контроля температур: высокотемпературный (до 600 ±2°С) термометр; термопары; прибор «Triple-Display, Auto-Ranging M-3890D» (фирма «METEX» (Корея));
- контрольно-диагностический акустико-эмиссионный комплекс типа ЕМА-З, укомплектованный высокотемпературными и стандартными датчиками АЭ.

Для высокотемпературных испытаний материалов в качестве базовой была принята конструкция образца в соответствии с ДСТУ 4227-2003 с концентраторами в виде двух прорезей размером 1×2 мм (рис. 1). Для учета высокотемпературного

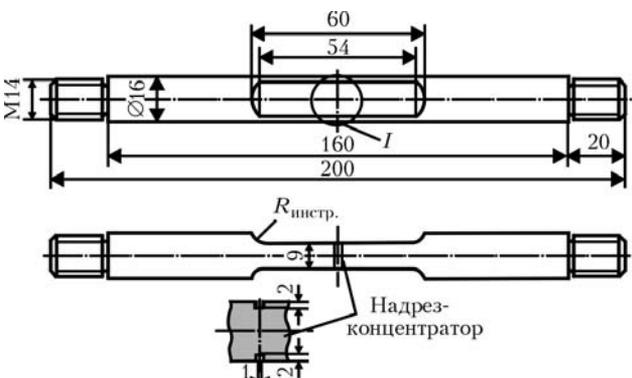


Рис. 2. Круглый образец с головкой диаметром 14 мм

фактора в средней части образца предусмотрена активная зона размером 125×20 мм.

Кроме того, использовали стандартные круглые образцы на статическое растяжение с такой же конфигурацией зоны контроля и концентраторами, аналогичными показанным на рис. 1. Использование данного типа образца (рис. 2) позволило выносить датчики АЭ на специально разработанные захваты, снижая температуру металла под датчиком при нагреве образца. В результате удалось достичь уровня температуры захватов порядка 60... 80 °С и использовать при измерении АЭ стандартные, а не высокотемпературные датчики.

С целью проверки соответствия конструкций образцов специфике проводимых испытаний, выбора мест установки АЭ датчиков, анализа распределения рабочих напряжений в активных зонах и определения зон кластеризации импульсов АЭ в различные моменты нагружения были проведены специальные исследования, предусматривающие периодические измерения продольной составляющей рабочих напряжений  $\sigma_x$  прод. в процессе нагружения образца из стали 09Г2С ( $\sigma_{0,2} = 320$  МПа).

На рис. 3 представлен в относительных единицах график распределения напряжений  $\sigma_x$  в различных сечениях активной зоны одного из подготовленных к испытаниям образцов. Измерения

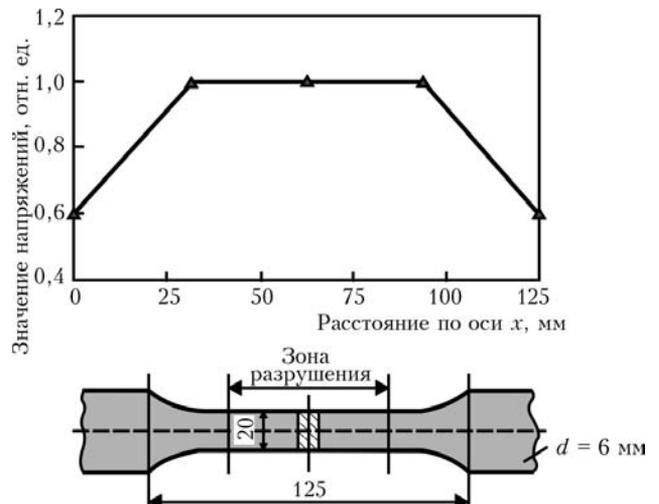


Рис. 3. Распределение продольных напряжений в активной зоне образца АЭ-01Р

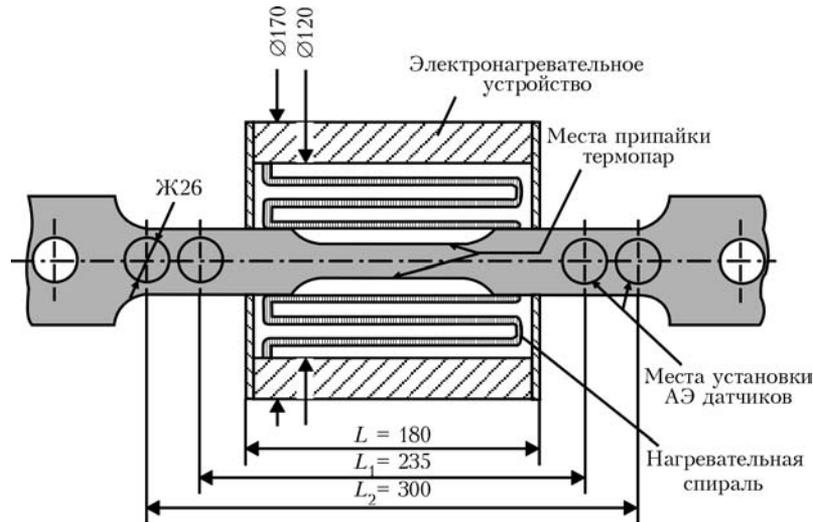


Рис. 4. Схема высокотемпературных АЭ испытаний образцов с использованием электронагревательного устройства

проводили при нагрузке  $P = 40 \cdot 10^3 \text{ Н}$  (4000 кгс). В нижней части рисунка представлен чертеж образца и обозначена зона, в пределах которой происходит разрушение.

При создании испытательного стенда отработывали различные способы нагрева рабочей части образцов. Следовало добиться равномерного распределения температур в рабочей части образцов и минимального нагрева мест установки датчиков АЭ.

На рис. 4 представлена одна из отработываемых схем высокотемпературных АЭ испытаний образцов, а именно схема с использованием специально изготовленного электронагревательного устройства. Предварительно изготавливали нормированные применительно к АЭ испытаниям стандартные образцы АЭ-01Р с размерами, указанными на рис. 1, с утоненной рабочей частью. В средней рабочей части образца монтировали нагревательное устройство и приваривали две термопары. Термопары тарировали в специальном устройстве с использованием высокотемпературного (до  $600^\circ\text{C}$ ) термометра. График тарировки представлен на рис. 5.

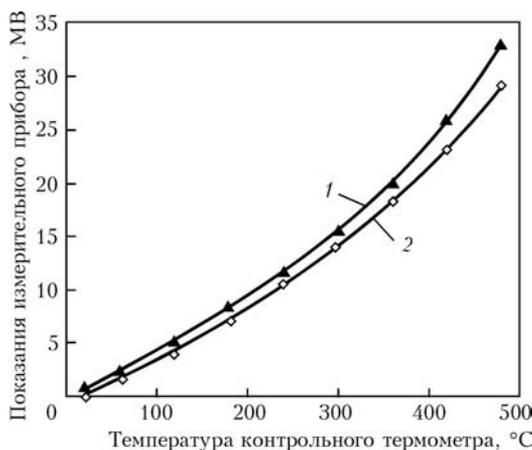


Рис. 5. Графики тарирования и измерения температуры: 1 — показания термопары, приваренной в образцу; 2 — тарировочный график термопары

АЭ датчики — по два с каждой стороны от рабочей части образца устанавливали в районе захватов разрывной машины (рис. 1). При испытании температуру в рабочей части образца поддерживали в диапазоне  $540 \dots 560^\circ\text{C}$ .

Испытания образцов по приведенной схеме показали, что температура нагрева АЭ датчиков верхнего захвата разрывной машины в течение длительного времени превышает  $120^\circ\text{C}$ , что ограничивает возможности данной схемы испытаний и работоспособность АЭ датчиков, особенно в условиях невысоких (до 500 кгс/мин) скоростей нагружения.

Кроме того, в этой схеме сдерживающим условием явилась необходимость поддерживать относительно постоянную высокую температуру в активной зоне образца. Измерения показали понижение этой температуры в процессе нагружения из-за необходимости отключения электропитания перед разрушением образца (рис. 6).

Недостатки использования разработанного электронагревательного устройства для термоис-

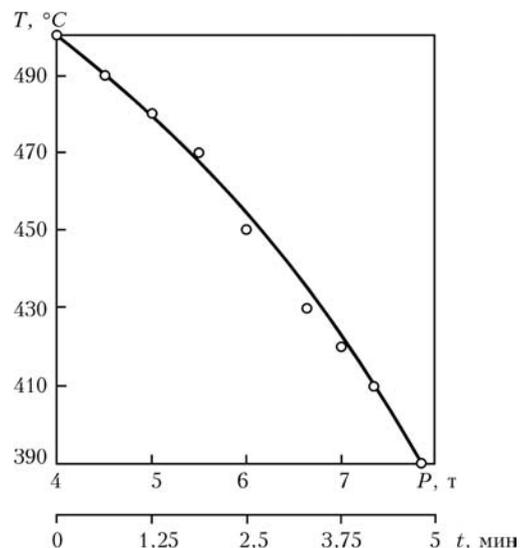


Рис. 6. График снижения температуры образца в процессе испытаний

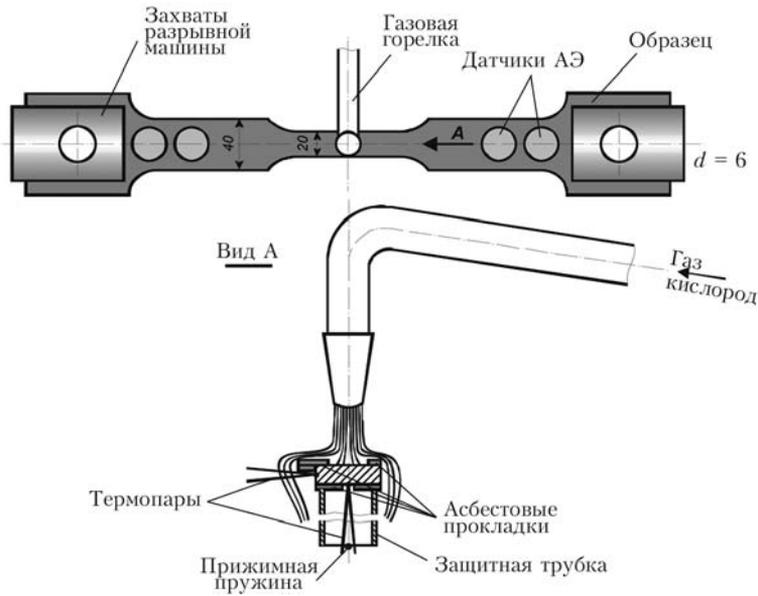


Рис. 7. Высокотемпературные АЭ испытания образцов точечным нагревом с использованием специальной газовой горелки

пытаний послужили основанием для разработки более эффективной методики нагрева образцов.

Схема испытаний с использованием точечного нагрева в центре рабочей зоны образца, выполняемого специализированной горелкой (рис. 7), показала большую эффективность.

Распределение температуры по длине образца (от его центра до датчиков), как показали специ-

ально проведенные измерения (рис. 8), позволяет оптимизировать места установки АЭ датчиков, т. е. вынести их в зону допустимых для их нормальной работы температур и не ограничивать скорость нагружения образцов. Кроме того, данная схема обеспечивает поддержание постоянной температуры в зоне точечного нагрева на протяжении всего процесса нагружения образцов.

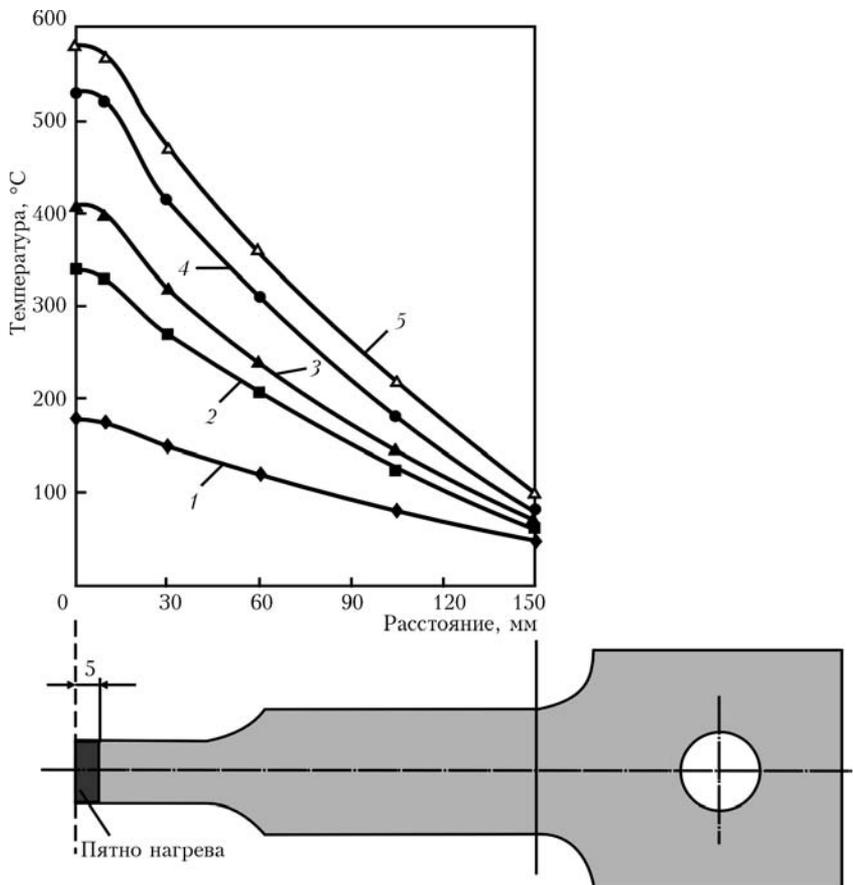


Рис. 8. Распределение температур по длине образца в зависимости от температуры пятна нагрева в его центральной части, °C: 1 – 180; 2 – 340; 3 – 410; 4 – 530; 5 – 580

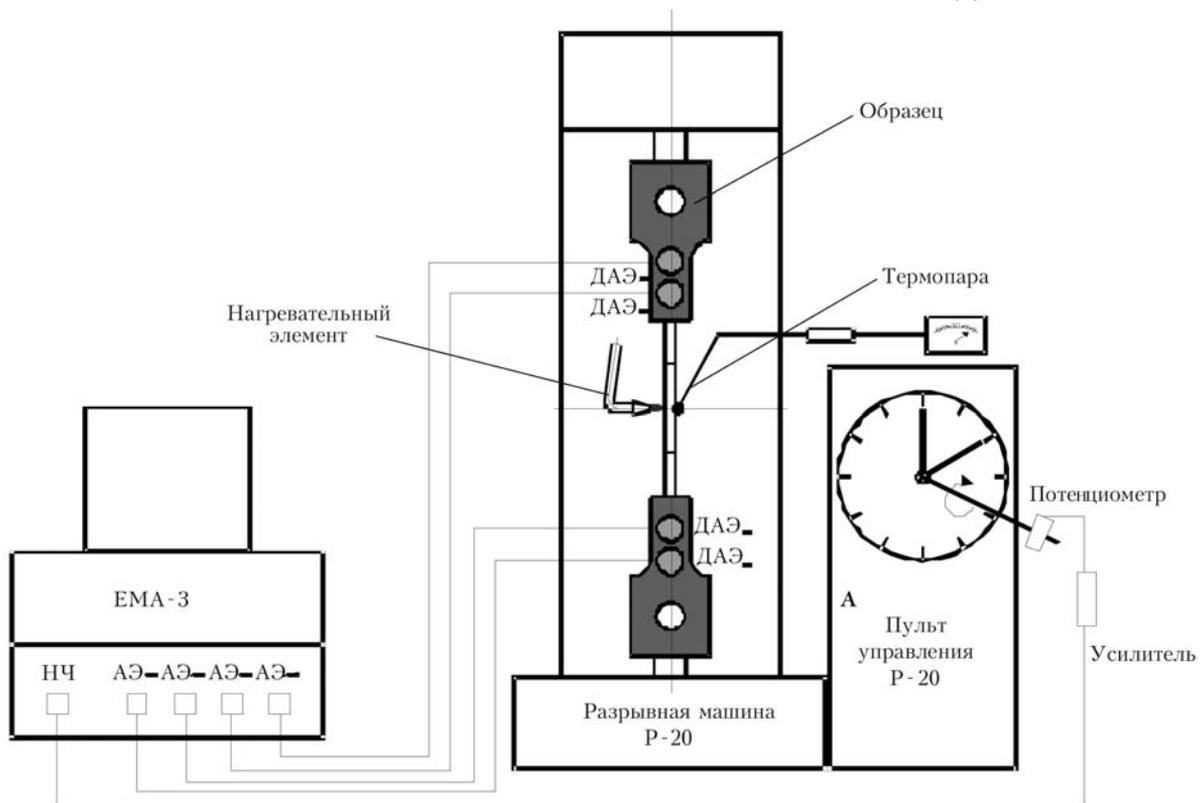


Рис. 9. Окончательная конструкция стенда для испытания образцов при высоких температурах

Следует также отметить то преимущество, что данная схема нагрева обеспечивает открытый доступ ко всей поверхности образца, приваренным термопарам и кабельным соединениям датчиков в течение всего процесса испытаний, что обеспечивает визуальный контроль и возможность корректировать процесс испытаний без их остановки.

Схема испытаний с использованием точечного нагрева позволяет также достаточно легко варьировать линейные размеры и сечение используемых образцов, а подвижность горелки позволяет исследовать акустические свойства испытуемых материалов при нагреве в области основного металла образца, зоны сварного шва или размещения концентратора.

Таким образом, достигнута необходимая универсальность, что позволяет в перспективе испытывать как различные материалы и элементы конструкций в условиях высокотемпературного стенда, так и оценивать влияние различных конструктивных особенностей на акустические свойства.

Испытательный стенд и схему высокотемпературных испытаний с использованием точечного нагрева в центре рабочей зоны образца (рис. 9) можно предварительно признать оптимальными для проведения опытных исследований конструктивных материалов с синхронной записью как параметров нагружения, так и параметров АЭ.

Результаты выполненных экспериментов и исследований позволили продолжить работы по специальной программе с целью набора статистических данных, отработки алгоритмов и програм-

многo обеспечения диагностических и мониторинговых АЭ систем, контролирующих объекты, которые работают в условиях высоких температур.

### Выводы

Выбран оптимальный способ нагрева рабочей части образцов для проведения высокотемпературных АЭ испытаний. На его основе создан специальный испытательный стенд, отработаны конструкции образцов и методика регистрации параметров испытаний.

Проведены предварительные анализы параметров нагружения образцов и распространения АЭ в условиях высоких температур, в том числе при наличии их градиента.

Выполненные работы и полученные результаты исследований позволяют начать испытания образцов и конструктивных элементов с целью набора экспериментальных данных по АЭ свойствам различных металлических материалов, работающих в условиях высоких температур.

1. Патон Б. Е. Современные направления исследований и разработок в области сварки и прочности конструкций // Автомат. сварка. — 2003. — № 10/11. — С. 7–13.
2. Патон Б. Е., Лобанов Л. М., Недосека А. Я. Техническая диагностика: вчера, сегодня и завтра // Техн. диагностика и неразруш. контроль. — 2003. — № 4. — С. 6–10.
3. Применение АЭ технологии при непрерывном мониторинге оборудования Одесского припортового завода / А. Я. Недосека, С. А. Недосека, М. А. Яременко и др. // Там же. — 2008. — № 3. — С. 85–95.
4. Сопротивление материалов деформированию и разрушению: Справ. пособие / В. Т. Трощенко, А. Я. Красовс-



- кий, В. В. Покровский и др. — Т. 1. — Киев: Наук. думка, 1993. — 287 с.
5. Недосека А. Я., Недосека С. А. Акустическая эмиссия и ресурс конструкций // Техн. диагностика и неразруш. контроль. — 2008. — № 2. — С. 3–11.
  6. Недосека А. Я. Основы расчета и диагностики сварных конструкций / Под ред. Б. Е. Патона. — Киев: Инд-пром, 2008. — 812 с.
  7. Механические свойства металлов и сплавов. Справочник / В. А. Тихонов, В. А. Кононенко, Г. И. Прокопенко, В. А. Рафаловский. — Киев: Наук. думка, 1986. — 567 с.
  8. Экспериментальные методы исследования деформаций и напряжений. Справ. пособие / Б. С. Касаткин, А. Б. Кудрин, Л. М. Лобанов и др. — Киев: Наук. думка, 1981. — 583 с.
  9. Barna B. A., Johnson J. A., Allemeier R. T. Determination of acoustic-emission sites using a digital nondestructive-evaluation workstation // Exper. Mech. — 1988. — 28. — P. 210–213.
  10. Nunez L. R., Nishino H., Yoshida K. Acoustic emission waveform analysis of gas leakage on pipe with various types of artificial defects // 6th Intern. conf. on Acoustic Emission, 28 Oct.–2 Nov., 2007: Harveys Resort&Casino: South Lake Tahoe, Nevada, USA.

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

Поступила в редакцию 14.01.2009

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ  
«ОКБ ИНСТИТУТА ЭЛЕКТРОСВАРКИ им. Е.О. ПАТОНА НАН УКРАИНЫ»**

Продолжает плодотворное сотрудничество с крупнейшим в Европе производителем магистральных труб и железнодорожных колес ОАО «Выксунским металлургическим заводом» (Россия).



ОКБ ИЭС им. Е.О. Патона разработаны установки автоматического ультразвукового контроля (АУЗК) НК360-362 для неразрушающего контроля сварных швов и концевых участков труб диаметром от 508 до 1420 мм и толщиной стенки от 7 до 50 мм. Партию из шести таких установок ОКБ ИЭС поставило заводу в 2004–2005 гг. Они прошли зарубежную инспекцию по нормам DNVI, разрешившей участие ОАО «ВМЗ» в тендере на поставку труб для нефтепровода «Nord stream», в том числе по дну Балтийского моря.

Высокий рейтинг оборудования АУЗК позволил ОКБ ИЭС им Е.О. Патона вновь победить в международном тендере и получить заказ на поставку ОАО «ВМЗ»

в 2007 г. двух станций АУЗК железнодорожных колес, выпуск которых на заводе составляет почти треть мирового производства.

В июле 2008 г. две станции НК364 АУЗК ж/д колес (см. фото на обложке журнала) изготовлены и отправлены заказчику. Они предназначены для выявления нарушений сплошности типа флокенов, расслоений, завернувшихся и утонувших корочек, газовых пузырей, скоплений неметаллических включений, ликваций и других внутренних дефектов широкой номенклатуры колес, используемых на железных дорогах всего мира. Положительной особенностью является то, что контроль ведется одновременно по двадцати каналам на всех элементах колеса: ободу в осевом и радиальном направлениях, ступице, диске и гребне.

Станции НК364 зарегистрированы в Государственном реестре средств измерений под № 38738-08 и допущены к применению в Российской Федерации, Сертификат UA.E.27.011.A № 32944, а также зарегистрированы в Реестре средств измерений, допущенных к применению в ОАО «Российские железные дороги». Свидетельство о регистрации № МТ 003.2009.





# КОНТРОЛЬ НАПРЯЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОДПОВЕРХНОСТНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН

О. И. ГУЩА, В. Н. СМИЛЕНКО, В. Г. КОТ, В. А. БРОДОВОЙ, И. Н. КЛОЧКОВ

*На основе исследования акустоупругости в границах потенциала Мурнагана установлены теоретические закономерности распространения подповерхностных продольных акустических волн в твердой среде с напряжениями. Теоретические зависимости подтверждены экспериментально на образцах из стали 10ХСНД и алюминиевого сплава Д16.*

*Theoretical regularities of propagation of subsurface longitudinal acoustic waves in a solid medium with stresses were established proceeding from acoustoelasticity studies within Murnagan potential limits. Theoretical dependencies were confirmed experimentally on samples of 10KhSND steel and D16 aluminium alloy.*

Успехи в нелинейной акустике и нелинейной теории упругости сделали возможным исследование физико-механических свойств твердых тел и их влияние на состояние этих тел. Одно из проявлений нелинейных свойств твердых тел, как известно, это эффект акустоупругости — зависимость скорости распространения акустических волн в теле от напряжений. На основе этого эффекта разработан и используется метод определения напряжений с использованием объемных акустических волн, который позволяет оценить некоторые физико-механические характеристики (ФМХ) материала, а также определить в нем одно-, двух- и трехосные напряжения [1]. При этом напряжения и упругие свойства объекта исследования принимаются однородными по его толщине. При неоднородном распределении их по толщине возникает проблема оценки напряжений. В этой связи значительный интерес приобретает развитие акустического метода с использованием иных акустических колебаний, в частности, подповерхностных акустических волн.

Ниже представлены результаты исследования закономерности распространения подповерхностных акустических волн в конструкционных материалах с напряжениями с целью обоснования методики контроля напряжений.

В качестве подповерхностных волн в технике дефектоскопии используют подповерхностные продольные акустические волны [2, 3], которые получают путем преломления на границе перехода изделия — верхняя среда. Исследования показали, что максимальное значение амплитуда подповерхностной продольной волны приобретает, если угол ввода (падения) продольной акустической волны равен первому критическому углу. Напряжения в такой волне на поверхности твердого тела равны нулю. Поэтому она не реагирует на неровности или иные дефекты на поверхности объекта конт-

роля. С увеличением расстояния от поверхности амплитуда механических напряжений в подповерхностной волне возрастает. Экспериментальные исследования показали, что максимального значения эти напряжения достигают на некотором расстоянии от поверхности вдоль луча, составляющего угол с поверхностью порядка  $12^\circ$  [4].

Теоретические исследования в области акустоупругости, выполненные в ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины и Институте им. С. П. Тимошенко НАН Украины, дают основания для формирования связи скорости распространения подповерхностной продольной волны в твердом теле от напряжений в нем [1].

Если изотропное тело нагружено в трех взаимно перпендикулярных направлениях, совпадающих с направлениями декартовой системы координат, теория акустоупругости дает уравнения для определения скорости распространения упругих акустических волн в произвольном направлении. Для случая, когда волны распространяются в направлении  $OX_1$ , известны три уравнения, определяющие скорости распространения объемных волн в этом направлении. Квадраты скоростей определяются выражениями:

$$\begin{aligned} \rho V_{LX1}^2 &= \lambda_1^4 \alpha_{11} + \sigma_{11}^0 \lambda_1^2, \\ \rho V_{SX2}^2 &= \lambda_1^2 \lambda_2^2 G_{12} + \sigma_{11}^0 \lambda_1^2, \\ \rho V_{SX3}^2 &= \lambda_1^2 \lambda_3^2 G_{13} + \sigma_{11}^0 \lambda_1^2, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $\rho$  — плотность материала;  $V_{LX1}$  — скорость продольной волны;  $V_{SX2}$ ,  $V_{SX3}$  — скорости поперечных (сдвиговых) волн;  $\lambda_i$  — начальные деформации или удлинения ( $i = 1...3$ );  $G_{12}$ ,  $G_{13}$  — величины, зависящие от упругих свойств и напряженного состояния материала;  $\sigma_{11}^0$  — начальные напряжения, действующие вдоль оси  $OX_1$ .



Учитывая основные акустические соотношения для потенциала Мурнагана и ограничения линейного приближения, а также выполнив соответствующие замены, можно получить выражения для квадрата скорости распространения подповерхностных продольных акустических волн. При этом принимаем во внимание, что скорость распространения подповерхностных продольных волн равна скорости объемных продольных волн [3–5]. Для упрощения выкладок ограничимся случаем линейного напряженного состояния, когда волна распространяется в направлении действующего напряжения:  $\sigma_{11} \neq 0$ ;  $\sigma_{22} = \sigma_{33} = 0$ .

В данном случае получим следующее выражение для квадрата скорости подповерхностных продольных волн:

$$\rho V_{LX1}^2 = (\lambda + 2\mu) + \left[ \frac{2(\lambda + \mu)(2b + c + \lambda + 2\mu)}{3k\mu} + \frac{2(a + b)}{3k} + 1 \right] \sigma_{11}, \quad (2)$$

где  $\rho$  — плотность материала;  $\mu$ ,  $\lambda$  — константы Ламэ;  $k$  — коэффициент объемной упругости, который определяется из выражения:  $k = \lambda + (2/3)\mu$ ;  $a$ ,  $b$ ,  $c$  — константы упругости третьего порядка.

Как известно, изменение скорости распространения акустических волн в зависимости от напряжений в металлических материалах незначительны и составляют доли процента [1]. С учетом сказанного выше, а также принимая во внимание известные соотношения между скоростью ультразвука и упругими константами в ненагруженном твердом теле, преобразуем выражение (2) следующим образом:

$$\frac{V_{LX1} - V_{L0}}{V_{L0}} = \frac{1}{\lambda + 2\mu} \times \left[ \frac{2(\lambda + \mu)}{3k\mu} (2b + c + \lambda + 2\mu) + \frac{2(a + b)}{3k} + 1 \right] \sigma_{11}, \quad (3)$$

где  $V_{L0}$  — скорость волны в ненагруженном теле.

Приведенный анализ показывает, что скорость распространения подповерхностных продольных акустических волн в направлении действия одноосных напряжений однозначно от них зависит.

Ввиду необходимости контроля напряжений формулу (3) можно переписать в виде:

$$\sigma_{11} = \frac{V_{LX1} - V_{L0}}{V_{L0}} R. \quad (4)$$

$$\text{Здесь } R = \frac{3k\mu(\lambda + 2\mu)}{2(\lambda + \mu)(2b + c + \lambda + 2\mu) + 2\mu(a + b) + 3k\mu}.$$

Таким образом, для определения напряжений достаточно измерить приращение скорости распространения подповерхностной продольной ультразвуковой волны и умножить его на коэффициент пропорциональности  $R$ , который может быть определен расчетом по константам упругости второго

и третьего порядков материала или экспериментально с использованием выражения (4).

Экспериментальные исследования зависимости скорости распространения подповерхностных продольных ультразвуковых волн от напряжений проведены на опытных образцах из низколегированной стали 10ХСНД и алюминиевого сплава Д16. Основные механические характеристики материалов приведены в таблице.

Механические характеристики стали 10ХСНД и Д16

Марка материала	Плотность $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	К-т Пуассона $\nu$	Модуль Юнга $E$ , МПа	$\sigma_T$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа
10ХСНД	7,804	0,2821	216000	400	520
Д16	2,638	0,3186	72200	350	430

Исследовали зависимость скорости подповерхностной ультразвуковой волны от одноосных напряжений. Прямоугольные образцы нагружали одноосным сжатием на гидравлическом прессе ПСУ-50. Образцы нагружали ступенчато до уровня  $(0,7 \dots 0,8)\sigma_T$ . Исследования проводили при распространении ультразвуковой волны в плоскости действия нагрузки. До нагружения образца и на каждой ступени нагружения измеряли время прохождения ультразвуковой подповерхностной волной базисного пути. Для этого использовали ультразвуковой прибор контроля напряжений (УПКН), несколько модифицированный в соответствии с условиями возбуждения и приема подповерхностных ультразвуковых волн [6].

Результаты экспериментов приведены в виде графиков зависимости скорости распространения подповерхностных продольных ультразвуковых

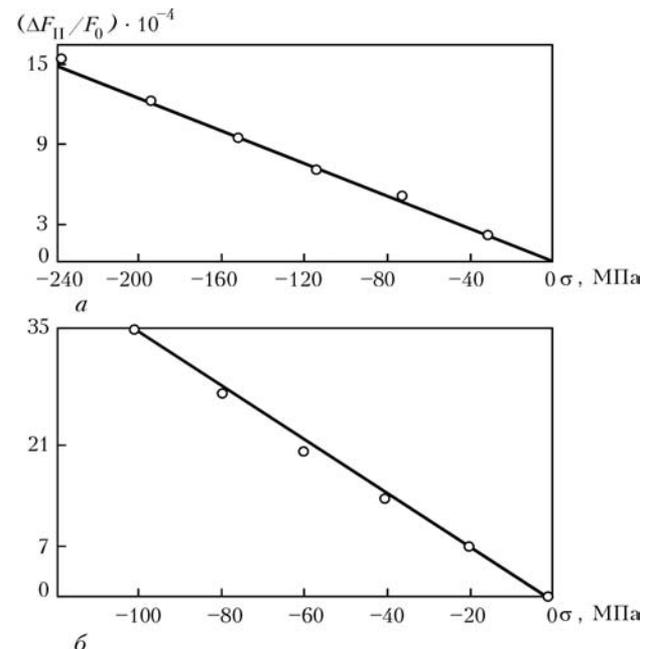


График зависимости скорости распространения подповерхностных продольных ультразвуковых волн от напряжений для стали 10ХСНД (а) и сплава Д16 (б)



волн от напряжений для стали 10ХСНД и сплава Д16 (рисунок).

Приведенные материалы свидетельствуют, что скорость распространения подповерхностных продольных ультразвуковых волн как в стальном образце, так и в алюминиевом сплаве изменяется пропорционально приложенным напряжениям.

### Выводы

Результаты теоретических исследований эффекта акустоупругости, полученные в рамках потенциала Мурнагана, раскрывают закономерности распространения подповерхностных продольных акустических волн в твердом теле с напряжениями. Сформулированы расчетные выражения для определения напряжений в приповерхностных слоях материалов на основе измерения скорости распространения подповерхностных продольных волн.

Экспериментально подтверждена эффективность применения установленных закономерностей распространения подповерхностных продольных ультразвуковых волн для контроля напряжений в конструкционных материалах.

1. Гузь А. Н., Махорт Ф. Г., Гуца О. И. Введение в акустоупругость. — Киев: Наук. думка, 1977. — 152 с.
2. Разыграев Н. П. Головные волны в неразрушающем контроле металлоконструкций // В мире неразруш. контроля. — 2003. — № 4. — С. 12–14.
3. Ермолов И. Н., Разыграев Н. П., Щербинский В. Г. Использование акустических волн головного типа для ультразвукового контроля // Дефектоскопия. — 1978. — № 1. — С. 33–40.
4. Ермолов И. Н., Н. П. Алешин, Потапов А. И. Неразрушающий контроль. Кн. 2. Акустические методы контроля. Практ. пос. / Под ред. В. В. Сухорукова. — М.: Высш. шк., 1991. — 283 с.
5. Королев М. В. Безэталонные ультразвуковые толщинометры. — М.: Машиностроение, 1985. — 80 с.
6. Пат. UA 71637 C2 / В. М. Сміленко, О. Й. Гуца, В. О. Бродовий та ін. Пристрій контролю механічних напружень та деформацій в твердих середовищах. — Опубл. 15.12.2004.

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

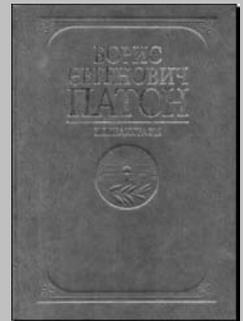
Поступила в редакцию  
15.09.2008

## НОВЫЕ КНИГИ

**Б. Е. Патон:** Избранные труды. — Киев: Изд. Ин-та электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, 2008. — 894 с.

Сборник посвящен 90-летию со дня рождения академика НАН Украины Б. Е. Патона — выдающегося украинского ученого в области сварки, специальной электрометаллургии и материаловедения. Сборник состоит из семи разделов, охватывающих такие направления научной деятельности Б. Е. Патона, как сварка плавлением, сварка давлением, металлургия дуговой сварки, специальная электрометаллургия, сварные конструкции, космические технологии, а также применение сварки в медицине. Каждый раздел включает обзор работ, библиографию и подборку наиболее важных публикаций, в которых приведены результаты работ, выполненных впервые в мировой практике и внесших революционизирующее влияние на развитие ведущих отраслей промышленности.

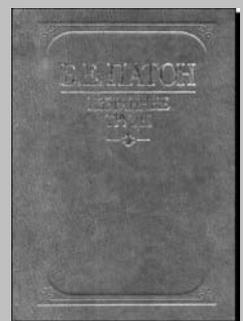
Для научных и инженерно-технических работников, преподавателей, аспирантов и студентов вузов.



**Борис Евгенович Патон** / Втсуп. ст. Н. К. Походня, В. К. Лебедєв; Укладачі Л. В. Беляєва, Т. Б. Корольова, О. М. Лавріненко та ін. — К.: Наук. думка, 2008. — 620 с.

В книге освещены основные этапы жизни, научной, научно-организационной и общественной деятельности выдающегося украинского ученого в области сварки, металлургии и технологии металлов, материаловедения, выдающегося общественного деятеля и талантливого организатора науки, академика Национальной академии наук Украины, Академии наук СССР, Российской академии наук, профессора, заслуженного деятеля науки и техники УССР, дважды Героя Социалистического Труда СССР, Героя Украины, участника Великой Отечественной войны, ликвидатора аварии на ЧАЭС Бориса Евгеньевича Патона.

Указатель печатных работ знакомит читателя с научными трудами ученого. Для научных работников и всех, кто интересуется историей отечественной науки, техники.





# ТРЕБОВАНИЯ К ОЦЕНКЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ РЕЗЕРВУАРОВ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ ПОСЛЕ ВЫПОЛНЕНИЯ ИХ КАПИТАЛЬНОГО РЕМОНТА

А. Ю. БАРВИНКО, Ю. П. БАРВИНКО

*Приведен анализ оценки работоспособности резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов в процессе их диагностики по действующим нормативным документам. Показана необходимость разработки нового норматива Украины и даны конкретные предложения относительно его содержания.*

*The paper analyzes evaluation of performance of tanks for storage of oil and petroleum products during their diagnostics in keeping with the codes currently in force. A need to develop a new code of Ukraine is shown and specific proposals on its content are given.*

Техническое диагностирование резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов (полное или частичное) является одним из главных составляющих правил технической эксплуатации резервуаров. На основании анализа материалов технического отчета по диагностированию составляются выводы и рекомендации о возможности и условиях дальнейшей эксплуатации обследованных емкостей.

Оценивая технический уровень карт с учетом действующих в настоящее время норм [3, 4] и качество ремонтов резервуаров, выполненных с учетом карт, можно констатировать, что предлагаемые в них технические решения явно не соответствуют требованиям действующих на сегодня норм. Рассмотрим некоторые из них.

1. Приведена технология замены нижней части первого пояса стенки (карта 4.3.21). Рекомендуется последовательно вырезать поврежденный участок стенки сначала по границе с днищем, а затем горизонтальным швом на 100 мм выше границы повреждений. Участки реза зачистить, с внутренней стороны подогнать внахлест к стенке новую накладку и приварить ее горизонтальными швами. Первым выполняется нижний шов, а затем внахлест верхний. Участки накладки свариваются между собой вертикальным швом встык, а со стенкой — внахлест.

В соответствии с требованиями действующих норм [3, 4] все соединения стенки должны быть выполнены двусторонней сваркой встык. Учитывая наличие в узле примыкания стенки к днищу напряжений изгиба, горизонтальный шов надо располагать от днища на расстоянии не менее 300 мм, а для резервуаров вместимостью 20 и 50 тыс. м<sup>3</sup> — 500 мм. Все стыковые швы подлежат радиографическому контролю.

2. Замена днища резервуаров (карты 4.2.13) [1]. Новое днище предлагается укладывать на слой

гидрофобного грунта, уложенного на существующее днище. В этом случае выступающая часть днища не имеет опоры, что увеличивает деформативность узла сопряжения стенки с днищем. Изменяется расчетная схема узла сопряжения стенки с днищем. Под новым днищем образуется герметичное пространство, что способствует при нарушении герметичности днища накоплению в нем подтоварной воды и продукта хранения. Создаются благоприятные условия для развития активной коррозии днища снизу. Кроме того, металл старого днища имеет определенную стоимость и его нерационально оставлять в емкости. С учетом выполнения ремонта с гарантированным сроком работоспособности необходимо, чтобы конструкция днища после ремонта соответствовала требованиям норм [3–5]. Для резервуаров вместимостью 20...50 тыс. м<sup>3</sup> в проектной документации на полную замену днища необходимо предусматривать устройство нового двойного днища с контролем герметичности межслойного пространства (п.6.14. [3]).

3. Особо отметим предложения по удалению дефектного участка стенки и вваривания вместо него новой вставки (карта 4.3.3 и др. [1]). Представленная технология и чертеж вваривания новой вставки на полную высоту пояса не учитывают того, что вваривание вставки необходимо выполнять в условиях «жесткого» контура, т. е. необходимо заранее обеспечивать компенсацию поперечных и продольных сварочных деформаций геометрии вставки или дополнительными конструктивными решениями. Без их учета компенсация будет происходить за счет перехода участка стенки на меньший радиус, что приведет к образованию недопустимых вмятин. Решения по замене вертикального монтажного стыка стенки на нескольких поясах или по всей ее высоте с использованием укрупненных карт совсем не рассматриваются.



Приведенный краткий анализ технических решений карт [1] показывает, что ремонт по предложенным в них решениям не обеспечивает долговременную надежную эксплуатацию резервуаров. На большинстве действующих резервуаров после каждого полного обследования требовался ремонт различного объема с применением сварочных работ. Во многих случаях понижался и уровень налива продукта хранения. В лучшем случае интервалы между капитальными ремонтами достигали 10 лет. Такое положение могло быть приемлемо при низкой стоимости рабочей силы и стального листового проката.

С переходом экономики Украины в 1994–1996 гг. на рыночные отношения с учетом реальной стоимости рабочей силы и материалов, полностью поменялось и отношение к капитальным ремонтам резервуаров. Уже в 1997 г. предприятие «Приднепровские магистральные нефтепроводы» (ПДМН) (г. Кременчуг) требовало в задании на разработку проектной документации, чтобы после выполнения капитального ремонта была гарантирована работоспособность резервуаров сроком не менее 20 лет. Такой срок гарантируется нормами [3, 4] при строительстве новых резервуаров с соблюдением их требований. Аналогичный подход к капитальному ремонту содержится и в нормах АК «Транснефть» (Россия) [5]. Предприятия Украины, на которых эксплуатируются резервуары для нефти и нефтепродуктов, выработали общий подход к ремонту резервуаров. В соответствии с ним в состав проектной документации на ремонт резервуаров должны входить проекты КМ и ППР, а ремонтные работы выполняться под авторским надзором проектной организации.

Стало очевидным, что существующие технологии ремонта днища, стенки и крыши резервуаров не могут обеспечить новые требования к их качеству после капитального ремонта. Такое положение характерно для всех резервуаров вместимостью 20 и 50 тыс. м<sup>3</sup>, которые строились с применением рулонных заготовок. В этих условиях ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины при активной финансовой поддержке предприятия ПДМН начал комплекс работ по разработке новых технологий ремонта резервуаров, соответствующих новым требованиям. В короткие сроки был разработан новый способ подъема резервуаров без приварки к стенке каких-либо вспомогательных элементов. Новый способ успешно опробован при исправлении кренов резервуаров РВС-5000 на ЛПДС «Глинско-Розбышевская». Высота подъема достигала 370 мм. В настоящее время предложенный способ широко применяется при ремонте резервуаров вместимостью до 20 тыс. м<sup>3</sup> включительно.

Проектировщиками и технологами-сварщиками в ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины разработан принципиально новая технология полной или частичной замены днища и нижней части первого

пояса стенки резервуаров вместимостью 2...50 тыс. м<sup>3</sup>. Новые днища резервуаров вместимостью 2...5 тыс. м<sup>3</sup> предложено выполнять с окрайками, а центральную часть монтировать не из отдельных листов, а мерными полосами, которые отрезаются требуемой длины по месту в емкости из подаваемой в резервуар бесконечной полосы. Полоса сваривается из отдельных листов на специальном стенде, расположенном возле резервуара. Поперечные швы сварки листов полосы выполняются встык односторонней сваркой на флюсо-медной подкладке с принудительным формированием обратного усиления шва. После сварки швы проходят контроль на непроницаемость капиллярным методом (проба мел на керосин). Все швы на днище выполняются не менее чем в два прохода. Применение мерных полос позволило получать ровные продольные кромки, что создавало хорошие условия для сварки продольных нахлесточных швов автоматизированной сваркой в среде защитных газов и существенно сократило сроки ремонта. Мерные полосы успешно применяются и для замены центральной части днища (ЦЧД) плавающей крыши резервуаров РВС вместимостью 50 тыс. м<sup>3</sup>. При этом полоса при помощи отводных роликов сразу подается на подмости, выставленные с учетом проектного положения ЦЧД.

Самой сложной оказалась разработка технологии замены отдельных листов стенки и частичная или полная замена вертикального монтажного стыка стенки резервуаров вместимостью 5...50 тыс. м<sup>3</sup>, построенных с применением рулонных заготовок. Для разработки требуемой технологии необходимо было решить ряд задач:

- определить фактические величины поперечных усадок вертикальных швов при толщинах листов 17...8 мм, соответствующие применяемым способам сварки;
- определить критические значения толщин стенки, при которых происходит местная потеря устойчивости при действии продольных усадок кольцевых швов с учетом кривизны стенки;
- определить способ компенсации, в условиях «жесткого» контура поперечных и продольных остаточных деформаций сварных швов при вваривании вставок;
- на основании выполненных исследований разработать конструкцию нового вертикального монтажного стыка и технологию его выполнения с учетом требований новых норм [3].

ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины успешно справился с поставленной задачей и первая полная замена вертикального монтажного стыка стенки резервуара по новой технологии выполнена на РВС вместимостью 20 тыс. м<sup>3</sup> НПС «Августовка», нефтепровода Кременчуг–Одесса в 1999 г. К 2002 г. новая технология успешно была опробована на НПС «Лисичанск» при замене пяти монтажных стыков на резервуаре РВС вместимостью 50 тыс. м<sup>3</sup>, стенка которого выполнена с применением высококоп-



рочной стали 16Г2АФ. Отличительной особенностью новых технологий выполнения капитального ремонта являются:

- применение увеличенного объема УЗ и РГ контроля качества вертикальных заводских и монтажных швов стенки (на всей длине нижних 5–6 поясов);

- применение способа сварки и разделки кромок, обеспечивающих минимальный объем наплавленного металла;

- учет, по возможности, всех требований новых норм [3];

- применение новой высокопрочной марки стали, имеющей более высокие пластические свойства, малую величину углеродного эквивалента, что позволяет выполнять сварку без предварительного подогрева;

- выполнение монтажной организацией всех работ в строгом соответствии с проектами КМ и ППР под авторским надзором.

Такой подход к выполнению капитального ремонта позволяет разработчикам проекта назначать гарантированный срок службы резервуара не менее 20 лет при максимальном, технически возможно, уровне налива продукта хранения, что соответствует п. 2.4 [3]. Это означает, что фактически после капитального ремонта заказчик получает резервуар с ресурсом работоспособности, равным новому [3].

Аналогичные требования к ремонту и работоспособности резервуаров после ремонта приведены в нормативном документе [6]. В частности, в них отмечена необходимость разработки проектов КМ и ППР. В проекте КМ необходимо обеспечить требование новых действующих норм и гарантийный срок эксплуатации после ремонта 20 лет (п. 1.5 [6]) при гарантированной пригодности антикоррозионной защиты внутренней и внешней поверхности не менее 10 лет.

Качественные изменения, которые произошли за последние годы в подходе к ремонту резервуаров (включая разработку проектной документации), должны, по нашему мнению, найти отражение в разрабатываемом новом нормативном документе Украины по техническому диагностированию, ремонту и реконструкции резервуаров. Необходимо резервуары, прошедшие капитальный ремонт и имеющие гарантированный срок эксплуатации не менее 20 лет, рассматривать как новые, а не как резервуары после 25 лет эксплуатации. Ежегодное обследование (частичное или полное) резервуаров с гарантийным сроком работоспособности 20 лет (табл. 13 [2] и табл. 2.1.1 [1]) не только финансово неоправданно, но и в определенной степени дискредитирует саму идею ремонта резервуаров с гарантией. В новом нормативном документе России по диагностированию и ремонту резервуаров [6] при назначении периодичности частичного или полного обследования нет деления на резервуары, находящиеся в эксплуатации менее

и более 25 лет. Указывается, что частота диагностирования устанавливается экспертной организацией с учетом конструкции и условий эксплуатации резервуаров. Интервалы между диагностированиями должны гарантировать, что остаточный ресурс не будет исчерпан. Однако указывается, что интервал этот не должен превышать 10 лет. Для вновь построенных резервуаров первое частичное обследование должно проводиться через три года, так как в первые годы эксплуатации происходит стабилизация основания и геометрической формы стенки днища и крыши. Считаем, что такой подход необходимо внести и в новый нормативный документ Украины.

Резервуары, находившиеся длительное время в эксплуатации, можно разделить на две группы. Первая группа — это резервуары, находящиеся в эксплуатации 10 и более лет. Нивелировка контура днища при частичных и полных обследованиях показывает, что основание под стенкой стабилизировалось. Вторая группа — это резервуары, в которых нет стабилизации основания и необходимо периодическое наблюдение за его просадкой или принятие специальных технических решений для стабилизации основания под стенкой в вертикальной плоскости.

Для резервуаров со стабилизированным основанием после капитального ремонта с гарантией 20 лет нет прямой необходимости ежегодно проводить их обследование. Если при обследовании емкостей выявлены в отдельных элементах резервуара дефекты, требующие постоянного наблюдения, это необходимо отразить в журнале ежедневного осмотра и служба эксплуатации обязана их выполнять.

В резервуарах, основание которых в течение эксплуатации не имеет стабилизации, необходимо, в соответствии с указаниями экспертной организации, приведенными в отчете по обследованию, определить характер и величины осадки основания в зоне стенки и днища. Экспертная организация должна указать также периодичность нивелировки контура днища или установить специальные маяки для визуального наблюдения.

С уточнением интервала диагностирования необходимо уточнить и объемы работ, выполняемых при частичных обследованиях. Если необходимость выполнения нивелировки контура днища и центральной части не вызывает сомнения, то необходимость измерений с шагом не менее 6 м всех образующих стенки вызывает возражение. При одинаковых с предыдущим обследованием результатов нивелирования контура днища изменения отклонения образующих фактически исключаются. Может произойти только локальное отклонение под действием каких-либо особых обстоятельств — воздействие ураганного ветра, особое механическое воздействие на стенку, при переливе продукта хранения или вследствие возникновения недопустимого вакуума. Однако такие воздействия всегда фиксируются службой эксплуатации и принимаются необходимые меры.



В то же время полученные при частичном обследовании результаты замеров отклонений, как правило, не с чем сравнивать. При частичном обследовании резервуар остается в эксплуатации и уровень налива продукта хранения при замере отклонений образующих принимается такой, какой есть на момент замеров. В большинстве случаев он существенно отличается от уровней при предыдущих обследованиях. Если сравнивать с нормами, то в них и для новых резервуаров и для тех, что были в эксплуатации, критерии даются только для пустого резервуара. При таком положении достаточно контролировать только 25...30 % образующих с наибольшими отклонениями по предыдущим замерам как при частичном, так и при полном обследовании. Относительная оценка с нормами и предыдущими замерами позволит в достаточной мере оценить геометрическую форму стенки.

В разрабатываемых «Правилах технического диагностирования...» необходимо рассмотреть отдельно расчеты на прочность резервуаров, построенных до ввода в действие норм Украины [3] и после их ввода в 1994 г. Указать, что механические характеристики листового проката необходимо принимать по ГОСТам, которые действовали при разработке проекта резервуара. Отдельно надо выписать расчет узла врезки патрубков в стенку. Учитывая, что на многих резервуарах, построенных до 1994 г., не выдерживается требование п. 4.44 [3] о равенстве площади сечения вырезанного отверстия в стенке и сечения накладки усиления, достаточность существующего усиления на них надо дополнительно проверять и с учетом рекомендаций п. 3.7.2.2 и 3.7.2.3 норм [7]. При таком подходе оценка работоспособности существующего усиления достаточна для большинства резервуаров.

Учитывая, что требования по обеспечению после ремонта гарантированной работоспособности не менее 20 лет становится у заказчиков правилом, желательно в новые «Правила...» ввести отдельный раздел по ремонту и реконструкции резервуаров. В данном разделе привести общие схемы замены всего днища или только крайков, части нижнего пояса стенки, отдельных листов стенки и вертикальных монтажных сварных соединений [8]. Показать схемы исправления крена и устройства под стенкой железобетонного кольца. В опре-

деленной мере за основу можно принять раздел 6 [6] с учетом указаний [8]. После раздела по ремонту резервуаров желательно дать конкретные указания по объемам и методам контроля сварных соединений, выполненных в процессе ремонта. Требования к контролю остальных сварных соединений были приведены выше.

В ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины в течение многих лет выполняются работы по технической диагностике и разработке проектной документации на восстановление работоспособности резервуаров для хранения нефти. Надеемся, что материал данной статьи будет полезен как для эксплуатационников резервуаров, так и для разработчиков новых нормативных документов по их диагностике и ремонту.

### Выводы

На сегодня в Украине имеется апробированный положительный опыт технического диагностирования и выполнения капитального ремонта резервуаров для хранения нефти, позволяющий разработать новый нормативный документ на обследование и дефектоскопию рассматриваемых резервуаров.

В составе новых нормативных документов желательно наличие отдельного раздела по ремонту и реконструкции резервуаров, в котором привести способы и основные технические решения по восстановлению их работоспособности с гарантированным сроком последующей эксплуатации.

1. *Правила* технической эксплуатации резервуаров и инструкции по их ремонту. — М.: Недра, 1988. — 268 с.
2. *РД* 39-0147103-385-87. Правила технической эксплуатации резервуаров магистральных нефтепроводов. — 1988. — 303 с.
3. *ВБН* В.2.-58.2-94. Резервуары вертикальные стальные для хранения нефти и нефтепродуктов. — Киев, 1994.
4. *ПБ* 03-605-03. Правила устройства вертикальных цилиндрических стальных резервуаров для нефти и нефтепродуктов. — М., 2003.
5. *РД* 16.01-60.30.00-КТН-026-1-04. Нормы проектирования стальных резервуаров для хранения нефти объемом 1000-50000 куб. м. — М.: Транснефть, 2004. — 71 с.
6. *СТО* 0030-2004. Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для хранения нефти и нефтепродуктов. Правила технического диагностирования, ремонта и реконструкции. — М., 2004.
7. *API* СТАНДАРТ 650. Сварочные стальные резервуары для хранения нефтепродуктов. — 9-я ред., 1993.
8. *User's guide to inspection, maintenance and repair of aboveground vertical cylindrical steel storage tanks* (3<sup>rd</sup> edition). Publication № 159: 2003. EEMUA. — London, 2005. — vol. 1, 2.



# ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НИЗКОЧАСТОТНЫХ НАПРАВЛЕННЫХ ВОЛН С НЕСПЛОШНОСТЯМИ ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ

А. И. БОНДАРЕНКО

*Рассмотрены основные особенности возбуждения и закономерности распространения низкочастотных направленных волн продольной и крутильной мод в протяженных трубопроводных системах. Исследованы механизмы отражения и прохождения направленных волн на границе изменения сечения трубы и выявления несплошностей различного рода в трубопроводах.*

*The paper deals with the main features of excitation and regularities of propagation of low-frequency directional waves of the longitudinal and torsional modes in extended pipeline systems. The mechanisms of reflection and propagation of directional waves on the boundary of the pipe cross-section change and detection of various discontinuities in pipelines have been studied.*

Трубопроводные системы (трубопроводы) являются одними из самых распространенных видов сварных конструкций и находят широкое применение в различных отраслях промышленности. Проблема определения технического состояния трубопроводов остро стоит во всех странах мира. Обеспечение работоспособности и безопасности эксплуатации протяженных трубопроводов является одной из главных задач технической диагностики с использованием средств неразрушающего контроля (НК). Однако возможности контроля и диагностики таких конструкций обычными средствами весьма ограничены. В то же время следует периодически проводить мониторинг технического состояния протяженных трубопроводов для выявления критических дефектов, к которым в трубопроводах относятся прежде всего деформации формы сварных швов и нарушения сплошности стенок труб, вызванных коррозией. Коррозия может возникать как на внутренней поверхности трубы, так и на наружной. Из-за большого количества находящихся в эксплуатации трубопроводных систем различного назначения использование обычных средств НК весьма ограничено.

Для решения проблемы контроля и диагностики технического состояния труб и трубопроводов путем обнаружения дефектов коррозии и других дефектов потери металла в течение более десяти последних лет развиваются технологии и технические средства, основанные на методе дальнего действия низкочастотного ультразвукового контроля (НЧ УЗК) направленными волнами [1–3]. Особенности распространения НЧ УЗ направленных волн, обзор систем НЧ ультразвукового контроля трубопроводов на основе использования различных видов преобразователей приведен в работе [4].

**Особенности возбуждения направленных волн в трубопроводах.** В процессе возбуждения в про-

тяженном трубопроводе направленных волн последний действует как бесконечный волновод. При использовании в системах НЧ УЗК пьезопреобразователей возбуждение направленных волн осуществляется от кольца преобразователей, закрепленных равномерно вокруг трубы. Так как в таких системах используют низкие частоты в диапазоне выше слышимых частот, то нет необходимости в применении контактной жидкости между преобразователями и поверхностью трубы, а хороший ультразвуковой контакт обеспечивается с помощью приложения механического или пневматического постоянного давления к задней стенке поверхности преобразователей для поддержания контакта с поверхностью трубы. Расположение датчиков на равном расстоянии по окружности трубы позволяет вырабатывать направленные волны, которые распространяются симметрично вокруг оси трубы и обеспечивают равномерное распределение колебаний по всему ее сечению. Визуально распространение направленных волн можно представить в виде кольцевой волны, которая проходит вдоль трубы по всему сечению и взаимодействует с поперечным сечением трубы в каждой точке. Это и позволяет технологии НЧ УЗК быть чувствительной к различного рода несплошностям в трубопроводных системах.

Для контроля технического состояния трубопроводных систем НЧ УЗК направленными волнами используют две моды волн: продольную и крутильную. Существенной особенностью этих волн является минимальная дисперсия их групповых скоростей в определенных диапазонах частот ультразвуковых волн. Исходя из приведенных в работе [2] диаграмм зависимостей групповых скоростей направленных волн, для реализации технологии контроля протяженных трубопроводов целесообразно использование симметричной продольной моды нулевого порядка  $L(0,1)$  или  $L(0,2)$  в



области минимальной дисперсии скорости либо недисперсионной нулевой крутильной моды  $T(0,1)$ . При этом затухание продольной моды направленных волн невелико и обусловлено только внутренними потерями в материале трубы, а затухание крутильной волны вообще отсутствует. Так, затухание направленной волны продольной моды, обусловленное внутренними потерями в металле на низкой частоте, составляет  $\delta = 0,008$  1/м, что обеспечивает возможность обнаружения дефектов на больших расстояниях [5]. Благодаря волновым свойствам протяженных трубопроводов (намного больше длины волны), в них возникают качественно иные закономерности распространения НЧ УЗ направленных волн и механизмы их взаимодействия с несплошностями различного рода, реальные размеры которых часто меньше длин излучаемых волн. Механизмы взаимодействия НЧ УЗК направленных волн с несплошностями труб обусловлены процессами отражения и прохождения волн на границе изменений поперечного сечения трубы, которые возникают вследствие наличия в трубопроводах сварных соединений, коррозионных поражений и т. п. симметричных и асимметричных отражателей.

**Основные закономерности распространения направленных волн в трубопроводах.** При рассмотрении закономерностей распространения продольной и крутильной мод направленных волн по сечению трубы будем считать, что ее материал является однородной изотропной средой. Если на трубу действует внешнее воздействие в виде продольных или крутильных колебаний, изменяющихся во времени, то в ней возникает волновое движение, в результате которого возмущение (деформация) передается от одних участков трубы к другим с конечной скоростью.

При распространении по сечению трубы направленной волны продольной моды  $L(0,1)$  и  $L(0,2)$  в области минимальной дисперсии вызывает продольные деформации труб, которые являются однородными по ее сечению и представляют собой простые растяжения и сжатия в виде смещения частиц среды в каждой произвольной точке внутри стенки трубы вдоль ее продольной оси  $z$  и небольшими поперечными смещениями. В этом случае уравнение продольных колебаний трубы может быть записано в виде уравнения плоской волны, так как волновые поверхности продольных деформаций трубы в виде растяжения и сжатия частиц среды представляют собой совокупность плоскостей, параллельных друг другу. Представление о распределении продольных деформаций в виде сдвига частиц среды трубы при распространении направленной волны продольной моды приведено в работе [4].

Уравнение продольных колебаний для плоской волны можно записать дифференциальным уравнением в частных производных вида [6]

$$\frac{\partial^2 u_z}{\partial z^2} - \frac{1}{C_0^2} \frac{\partial^2 u_z}{\partial t^2} = 0, \quad (1)$$

где  $u_z$  — величина смещения частиц среды трубы по оси  $z$ ;  $C_0$  — скорость распространения продольной волны в трубе.

Скорость продольной волны определяется по выражению

$$C_0 = \sqrt{E/\rho}, \quad (2)$$

где  $E$  — модуль Юнга;  $\rho$  — плотность среды (материала трубы).

Решением волнового уравнения (1) в случае гармонических волн с круговой частотой  $\omega$  будет [7]

$$u(z,t) = A \cos(kz - \omega t + \varphi_1) + B \cos(kz + \omega t + \varphi_2), \quad (3)$$

где  $A, B$  — амплитуды волн;  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  — начальные фазы волн;  $z$  — текущее значение продольной координаты трубопровода;  $t$  — время;  $k$  — волновое число ( $k = 2\pi/\lambda$ , где  $\lambda = 2\pi C_0/\omega = TC_0$  — длина волны,  $T$  — период волны).

Первый член уравнения (3) описывает волну, распространяющуюся в сторону положительных  $z$ , второй — в обратном направлении.

При распространении по сечению трубы направленной волны крутильной моды  $T(0,1)$ , которая является аналогом поперечной волны в пластинах, вызывает только одну азимутальную компоненту смещения частиц среды трубы относительно ее продольной оси, т. е. представляет собой поворот поперечного сечения трубы как целого на некоторый угол. Представление о распределении крутильных колебаний в виде азимутальной компоненты смещения частиц трубы при распространении направленной волны крутильной моды приведено в работе [4].

Уравнение движения трубы, совершающей крутильные колебания, может быть записано дифференциальным уравнением в частных производных вида [6]

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} - \frac{1}{C_T^2} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} = 0, \quad (4)$$

где  $\varphi$  — угол поворота сечения трубы вокруг ее оси инерции;  $C_T$  — скорость распространения крутильной волны в трубе.

Волновое уравнение (4) для крутильных колебаний совпадает с уравнением (1) для продольных колебаний с той только разницей, что роль продольного смещения в уравнении (4) играет угол  $\varphi$  поворота сечения при кручении, а вместо модуля  $E$  нужно ввести модуль сдвига  $\mu$  с новым значением скорости  $C_T$  распространения волны.

Известно [6], что скорость крутильной волны  $C_T$  определяется крутильной жесткостью  $D$ , моментом инерции  $I$  и плотностью среды  $\rho$

$$C_T = \sqrt{\frac{D}{\rho I}}. \quad (5)$$

Крутильная жесткость  $D$  определяется по формуле

$$D = \mu I_K, \quad (6)$$

где  $I_K$  — момент инерции при кручении (или условный момент инерции);  $\mu$  — модуль сдвига.

Тогда с учетом выражений (5) и (6) формула для определения скорости крутильной волны  $C_T$  будет иметь вид:

$$C_T = \sqrt{\frac{D}{\rho I}} = \sqrt{\frac{\mu I_K}{\rho I}}. \quad (7)$$

Для трубы круглого сечения при отсутствии дефекта момент инерции сечения  $I$  и момент инерции при кручении  $I_K$  равны и выражаются формулой

$$I = I_K = \pi (r_H^4 - r_B^4) / 2, \quad (8)$$

где  $r_H, r_B$  — соответственно наружный и внутренний радиусы трубы.

При этом скорость крутильной волны максимальна и равна скорости поперечной волны  $C_t$

$$C_T = \sqrt{\frac{D}{\rho I}} = \sqrt{\frac{\mu I_K}{\rho I}} = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} = C_t. \quad (9)$$

Наличие в трубе малого дефекта типа утонения стенки приводит к уменьшению крутильной жесткости  $D$ , при этом изменение момента инерции  $I$  сечения незначительно и его можно принять  $I = \text{const}$ . Поэтому скорость крутильной волны  $C_T$  может быть найдена по формуле

$$C_T = \sqrt{\frac{\mu I_K}{\rho I}} = C_t \sqrt{\frac{I_K}{I}}. \quad (10)$$

Для определения крутильной жесткости  $D$  трубы, находящейся под действием крутящего момента, с дефектом типа утонения (уменьшения толщины) стенки трубы со стороны ее внутренней поверхности воспользуемся геометрической моделью крутильной жесткости трубы, приведенной

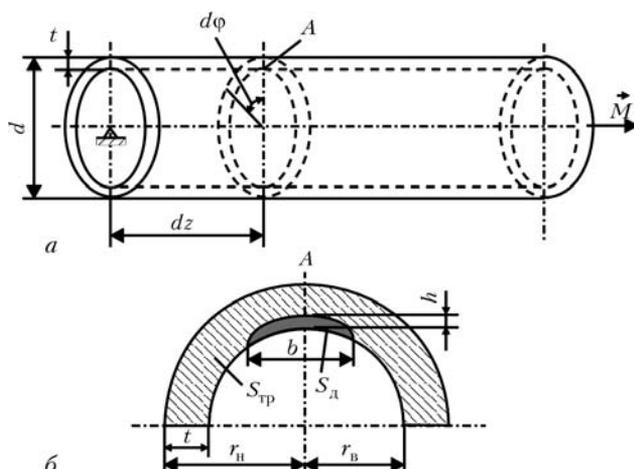


Рис. 1. Геометрическая модель для расчета крутильной жесткости сечения трубы (а) с дефектом типа утонения стенки (б)

на рис. 1, а. Фрагмент дефекта типа утонения стенки трубы показан на рис. 1, б.

Модель представляет собой закрепленную с одного конца трубу диаметром  $d$ , толщиной стенки  $t$  с дефектом шириной  $b$  вдоль образующей трубы и глубиной  $h$  поражения стенки трубы (модельный дефект). Под действием крутящего момента  $M$  труба поворачивается на относительный угол кручения  $\tau$ , который для произвольного сечения определяется как отношение угла поворота сечения при кручении  $d\phi$  к расстоянию  $dz$  между этим сечением и закрепленным концом трубы

$$\tau = \frac{d\phi}{dz}. \quad (11)$$

Крутильная жесткость  $D$  выражает связь между крутящим моментом  $M$  и относительным углом кручения  $\tau$

$$D = \frac{M}{\tau} = \frac{M dz}{d\phi}. \quad (12)$$

При расчете крутильной жесткости  $D$  дополнительно необходимо задавать упругие свойства материала трубы (плотность  $\rho$ , модуль Юнга  $E$  и коэффициент Пуассона  $\nu$ ).

Практический интерес при использовании направленной волны крутильной моды  $T_0$  может представлять зависимость скорости  $C_T$  от глубины  $h$  поражения стенки вдоль образующей трубы. Наличие больших коррозионных поражений уменьшает момент инерции трубы при кручении  $I_K$ , что может привести к значительному уменьшению скорости распространения направленной волны крутильной моды.

**Механизм отражения и прохождения направленных волн.** Механизм отражения и прохождения НЧ направленной волны в протяженном трубопроводе базируется на принципе взаимодействия падающей ультразвуковой волны с участком изменения поперечного сечения трубы вследствие наличия в трубопроводе разного рода несплошностей.

Проанализируем в общем виде процессы отражения и прохождения направленных волн на границе перехода одного волновода сечения  $S_1$  к достаточно длинному второму волноводу сечения  $S_2$ . Будем считать границу перехода волноводов как неразъемный абсолютно жесткий контакт двух труб с различными материальными постоянными  $\rho_1, E_1$  и  $\rho_2, E_2$  для направленной волны продольной моды и материальными постоянными  $\rho_1, \mu_1$  и  $\rho_2, \mu_2$  для крутильной моды. Принцип отражения и прохождения направленных волн на границе волноводов с разными сечениями показан на фрагменте трубопровода с разными внутренними диаметрами труб, который приведен на рис. 2, где  $t_1, r_{B1}$  и  $t_2, r_{B2}$  — толщины стенок и внутренние радиусы первой и второй трубы соответственно;  $r_H$  — наружный радиус труб.



При распространении направленной волны по участку трубопровода с площадью поперечного сечения  $S_1$  падающая ультразвуковая волна амплитуды  $A_1$  встречает на своем пути другой трубопровод, площадь поперечного сечения которого составляет  $S_2$ . При этом падающая волна преобразуется в отраженную, амплитуда  $B_1$  которой зависит от степени изменения поперечного сечения трубы, и в прошедшую с амплитудой  $A_2$ , которая распространяется дальше по сечению трубы.

Процессы отражения и прохождения волн зависят от свойств границы, т. е. от граничных условий. Предполагая, что граница перехода сечений расположена при  $z = z_0$ , граничными условиями для направленной волны продольной моды будет равенство справа и слева от границы смещений и сил (напряжений)  $F$ :

$$u_1 \Big|_{z=z_0} = u_2 \Big|_{z=z_0}; \quad F_1 \Big|_{z=z_0} = S_1 E_1 \frac{\partial u_1}{\partial z} \Big|_{z=z_0} = F_2 \Big|_{z=z_0} = S_2 E_2 \frac{\partial u_2}{\partial z} \Big|_{z=z_0}, \quad (13)$$

а для крутильной моды — равенство углов поворота сечений и крутильных моментов  $M$ :

$$\varphi_1 \Big|_{z=z_0} = \varphi_2 \Big|_{z=z_0}; \quad M_1 \Big|_{z=z_0} = \mu_1 I_{к1} \frac{\partial \varphi_1}{\partial z} \Big|_{z=z_0} = M_2 \Big|_{z=z_0} = \mu_2 I_{к2} \frac{\partial \varphi_2}{\partial z} \Big|_{z=z_0}. \quad (14)$$

Так как образование отраженной волны происходит на участке изменения площади поперечного сечения трубы, то при рассмотрении процессов распространения акустических волн в волноводах пользуются понятием акустического импеданса  $Z$ , зависящего как от параметров волновода (площади его сечения  $S$ ), так и от свойств среды — скорости звука  $C$  и плотности  $\rho$ . Акустический импеданс по сути показывает степень сопротивления трубы распространению ультразвуковых направленных волн. На рис. 2 показан простейший случай перехода от первой трубы с акустическим импедансом  $Z_1 = \rho_1 C_1 S_1$  к достаточно длинной трубе с акустическим импедансом  $Z_2 = \rho_2 C_2 S_2$ .

Коэффициент отражения  $R$  по амплитуде от скачка акустического импеданса будет определяться по формуле, которая аналогична формуле Рэлея [8] для плоской волны, отраженной при нормальном падении от границы раздела двух полубесконечных сред с различными акустическими импедансами (акустическими сопротивлениями) при отсутствии затухания:

$$R = \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} = \frac{\rho_1 C_1 S_1 - \rho_2 C_2 S_2}{\rho_1 C_1 S_1 + \rho_2 C_2 S_2} = \frac{S_1 \sqrt{\rho_1 E_1} - S_2 \sqrt{\rho_2 E_2}}{S_1 \sqrt{\rho_1 E_1} + S_2 \sqrt{\rho_2 E_2}}. \quad (15)$$

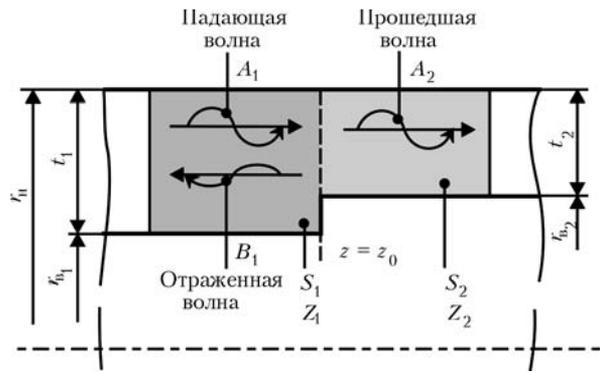


Рис. 2. Принцип отражения и прохождения направленных волн на границе изменения сечения трубы

Коэффициент прохождения  $W$  по амплитуде от скачка акустического импеданса будет определяться по формуле [7]

$$W = \frac{2S_1 \sqrt{\rho_1 E_1}}{S_1 \sqrt{\rho_1 E_1} + S_2 \sqrt{\rho_2 E_2}}. \quad (16)$$

Таким образом, в соответствии с закономерностями распространения акустических волн в волноводах в основу механизма выявления дефектов в трубопроводах можно положить процесс отражения падающей волны от дефектного участка трубы, связанный с изменением акустического импеданса трубы  $Z = \rho CS$ . Это позволяет использовать выражение (15) для определения коэффициента отражения направленной волны от дефектов в трубопроводе.

Так как распространение направленной волны согласно рис. 2 происходит в направлении уменьшения поперечного сечения трубы ( $S_2 < S_1$ ), то наблюдается смена фазы отраженного эхо-сигнала, что аналогично случаю нормального отражения плоской волны от плоской границы раздела сред при переходе от акустически более жесткой среды к акустически более мягкой ( $\rho_2 C_2 < \rho_1 C_1$ ) [8]. При этом частоты падающей и отраженной волны равны во всех случаях, что значительно облегчает решение задач об отражении направленной волны. Из рис. 2 также следует, что если отраженные волны образуются на участке изменения площади поперечного сечения трубы, то скачок поперечного сечения трубы можно обнаружить независимо от его расположения (со стороны внутренней или наружной поверхности трубы).

**Особенности механизма отражения и прохождения волн от несплошностей в трубопроводе.** Отражение волн является следствием реакции на динамические нагрузки, возникающие при распространении направленной волны. Такими динамическими нагрузками в протяженных трубопроводах являются сварные соединения труб, различные фланцы и т. п. симметричные отражатели, а также дефекты типа коррозионного поражения стенки трубы, которые являются асимметричными отражателями. Если при движении волна доходит до изменения толщины стенки трубы, связанной



как с уменьшением сечения при наличии коррозии, так и с увеличением сечения при наличии усиления сварного шва, определенная часть энергии волны отражается назад к преобразователям. Амплитуды отраженного сигнала определяются размером дефекта, т. е. площадью пораженного дефектом поперечного сечения трубы. Принцип соответствия амплитуды эхо-сигнала величине дефекта положен в основу создания систем УЗК трубопроводов низкочастотными направленными волнами. Кроме того, ширина эхо-сигнала также соответствует величине дефекта. С увеличением размеров дефекта увеличивается длительность (ширина) эхо-сигнала.

Учитывая выражения (15) и (16), рассмотрим возможность их применения для определения коэффициентов отражения  $R$  и прохождения  $W$  в трубопроводах на границе перехода к достаточно длинному поражению стенки трубы вдоль ее образующей и незначительному поражению по толщине стенки трубы вдоль ее окружности.

При использовании направленной волны продольной моды  $L(0,1)$  и  $L(0,2)$  наличие в стенке трубы незначительного коррозионного поражения, приводящего к утонению ее стенки, в общем случае не приводит к изменению плотности  $\rho$  металла и скорости  $C$  распространения ультразвуковой волны, т. е. свойства материала трубы не меняются и произведение  $\rho C = \text{const}$ . Поэтому при использовании для контроля трубы направленной волны продольной моды появление подобных дефектов не приводит соответственно к изменению скорости  $C_0$  при ее распространении в трубе. В этом случае коэффициенты отражения  $R$  и прохождения  $W$  волны на дефектном участке стенки трубы будут зависеть только от перепада поперечного сечения трубы, приводящего к потере некоторой части металла.

Приравнявая в выражениях (15) и (16)  $\rho_1 E_1 = \rho_2 E_2$ , получаем формулы для определения коэффициента отражения

$$R = \frac{S_1 - S_2}{S_1 + S_2} \quad (17)$$

и коэффициента прохождения

$$W = \frac{2S_1}{S_1 + S_2} \quad (18)$$

для направленной волны продольной моды при наличии дефектов в протяженных трубопроводах.

Выражение (17) аналогично выражению для определения коэффициента отражения для случая перехода плоской волны из волновода сечения  $S_1$ , в волновод сечения  $S_2$  при незначительном различии сечений волноводов [9], что подтверждает возможность выявления направленными волнами незначительных коррозионных поражений стенки трубы.

При проведении контроля трубопроводов с использованием направленной волны крутильной моды ее поведение при распространении будет отличаться от поведения волны продольной моды. Наличие начальной стадии дефектов типа утонения стенки в трубах не приводит к изменению плотности  $\rho$  металла, а также практически не меняет площадь поперечного сечения  $S$  трубы. В то же время это может привести к изменению скорости  $C_T$  крутильной моды направленной волны. Тогда для этого случая формула (15) для определения коэффициента  $R$  отражения имеет вид:

$$R = \frac{C_1 - C_2}{C_1 + C_2}. \quad (19)$$

Если принять во внимание, что при использовании направленной волны крутильной моды отражение от дефекта, сопровождающееся изменением поперечного сечения трубы с  $S_1$  на  $S_2$ , происходит как вследствие уменьшения поперечного сечения трубы, так и уменьшения скорости ее распространения, то коэффициент  $R$  отражения от дефектного участка трубы может быть рассчитан по формуле

$$R = \frac{S_1 C_1 - S_2 C_2}{S_1 C_1 + S_2 C_2}. \quad (20)$$

Однако, несмотря на зависимость скорости крутильной моды направленной волны от параметров дефектов трубы, при прочих равных условиях крутильная волна отличается более высокой чувствительностью к дефектам, чем продольная волна, и не является дисперсной. Если учитывать положение, что направленные волны продольной и крутильной мод используются для выявления дефектов, которые находятся в начальной стадии их зарождения (до 10 % потери металла в поперечном сечении трубы), то можно не учитывать уменьшение скорости распространения волны крутильной моды. Это позволяет применять выражение (17) для определения коэффициента отражения  $R$  при выявлении дефектов направленными волнами продольной и крутильной мод.

**Механизм отражения сигналов от дефектов ограниченной длины.** Приведенный выше анализ особенностей механизма отражения и прохождения волн в трубопроводах позволяет определять в общем виде коэффициенты отражения  $R$  и прохождения  $W$  направленной волны продольной и крутильной моды при условии изменения поперечного сечения трубы без учета протяженности дефектов вдоль оси трубопровода. Однако как симметричные отражатели, которыми являются сварные соединения, так и асимметричные отражатели в виде коррозионных дефектов имеют обычно ограниченную длину вдоль образующей трубы. Рассмотрим механизмы выявления дефектов, которые имеют ограниченную длину  $l$  в направлении оси (образующей) трубы. Для этого воспользуемся

моделью участка трубы, приведенной на рис. 3, где  $l$  — длина пораженного дефектом участка трубы с площадью поперечного сечения  $S_2$ ,  $h$  — глубина поражения дефектом сечения трубы (утонения стенки трубы).

Если изменение сечения трубы происходит на ограниченной длине трубопровода, что имеет место в большинстве случаев коррозионных дефектов, то скачок акустического импеданса трубопровода на ограниченной длине может быть смоделирован формулами коэффициента отражения и передачи энергии из одного волновода в другой при наличии промежуточного волновода длиной  $l$  [10]. Коэффициент отражения при наличии промежуточного волновода длиной  $l$  может быть найден по аналогии с коэффициентом отражения для плоского тонкого слоя толщиной  $l$ , где вместо волновых сопротивлений сред необходимо подставить эквивалентные им для случая протяженного волновода акустические импедансы дефектного и бездефектного волновода [10]. Тогда коэффициент отражения по амплитуде для скачка акустического импеданса от дефекта ограниченной длины в трубопроводе можно определить по выражению

$$R = \frac{(Z_1^2 - Z_2^2) \sin(\omega l / C)}{\sqrt{4Z_1^2 Z_2^2 + (Z_1^2 - Z_2^2)^2 \sin^2(\omega l / C)}}, \quad (21)$$

где  $\omega = 2\pi f$  — круговая частота волны;  $C$  — скорость используемой направленной волны.

Так как акустическое сопротивление  $\rho C$  трубопровода не меняется, то скачок поперечного сечения трубы с  $S_1$  на  $S_2$  на ограниченной длине  $l$  может быть выражен следующей формулой для коэффициента отражения по амплитуде:

$$R = \frac{(S_1^2 - S_2^2) \sin(\omega l / C)}{\sqrt{4S_1^2 S_2^2 + (S_1^2 - S_2^2)^2 \sin^2(\omega l / C)}}. \quad (22)$$

Анализ формулы (22) показывает, что коэффициент отражения  $R$  по амплитуде является гармонической функцией параметра  $\omega l / C$ . Так как скорости продольной и крутильной мод для выбранного материала трубы являются фиксированными, то максимум коэффициента отражения будет при значении  $\sin(\omega l / C) = 1$ . Условию максимума коэффициента отражения будет соответствовать пораженный дефектом участок трубы длиной  $l = (2n - 1)\frac{\lambda}{4}$ , где  $\lambda$  — длина волны в материале трубы;  $n = 1, 2, 3, \dots$ . Минимум коэффициента отражения будет иметь место при длине пораженного участка трубы  $l = n\frac{\lambda}{2}$ ,  $n = 1, 2, 3, \dots$ . Это значит, что длинные дефекты в трубах низкочастотными направленными волнами не могут быть выявлены. При значении  $l = n\frac{\lambda}{2}$  отражение будет равно нулю. Строго говоря, выражение (22) спра-

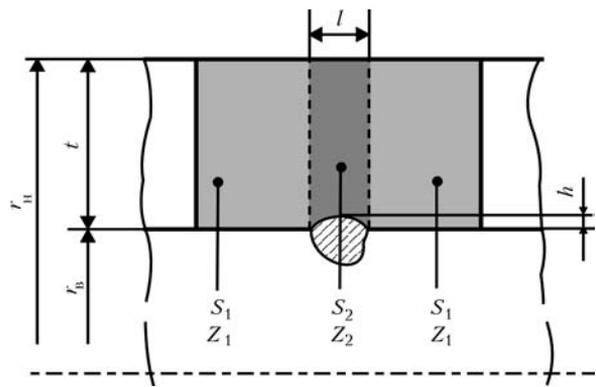


Рис. 3. Модель пораженного дефектом участка вдоль оси трубы

ведливо при возбуждении в трубе синусоидальных колебаний и позволяет вычислять амплитуды отраженных сигналов от дефектов длиной  $l$ . При возбуждении импульсных сигналов направленной волны с несущей частотой синусоидального сигнала формула  $R(\omega)$  будет представлять собой передаточную амплитудно-частотную функцию процесса отражения эхо-сигналов от дефектов. Для расчета импульса отраженной волны во временной области может быть использован метод интеграла Фурье. Поэтому, исходя из задачи выявления дефектов направленными волнами, длина  $l$  протяженных дефектов в обоих случаях должна быть не более  $l = \frac{\lambda}{4}$ . Такие несплошности труб как

симметричные отражатели типа сварных соединений и асимметричные типа коррозионных поражений стенки трубы, как правило, имеют протяженность  $l < \lambda/4$ . В таблице приведены значения  $l = \frac{\lambda}{4}$  в зависимости от частоты продольной и крутильной мод направленной волны, при которых коэффициент отражения  $R$  будет достигать максимума.

В работе [11] приведены результаты расчета коэффициента отражения  $R$  от протяженности несплошности длиной  $l$  в виде сегментного паза площадью  $20 \text{ мм}^2$  в стальном прутке диаметром  $19 \text{ мм}$  для нулевой продольной моды в гармоническом и импульсном режиме возбуждения направленных волн частотой  $32 \text{ кГц}$ . Результаты расчета показали, что в диапазоне изменения длины паза  $0 < l \leq \frac{\lambda}{4}$  коэффициент отражения  $R$  изменяется

по линейному закону, однако при  $l = \frac{\lambda}{4}$  значение коэффициента отражения  $R$  при использовании импульсного режима возбуждения зондирующего сигнала примерно на  $15\%$  меньше гармонического режима возбуждения сигнала.

**Механизм отражения сигналов от сварных швов.** Кольцевые сварные швы, представляющие собой односторонние стыковые соединения кромок труб одинаковой толщины, являются основными симметричными отражателями в протяженных трубопроводах. Стыковой шов должен гарантиро-

Предельные значения  $l = \frac{\lambda}{4}$  в зависимости от частоты сигналов для продольной и крутильной мод направленной волны

Мода волны	Скорость распространения волны, м/с	Частота несущего сигнала $f$ , кГц	Длина волны $\lambda$ , мм	Предельные значения $l = \frac{\lambda}{4}$ , мм
Продольная ( $L_0$ )	5000	20	250,0	62,5
		40	125,0	31,25
		60	83,3	20,82
		80	62,5	15,62
		100	50,0	12,5
Крутильная ( $T_0$ )	3250	20	162,5	40,62
		40	81,25	20,3
		60	54,17	13,54
		80	40,62	10,16
		100	32,5	8,125

вать провар металла трубы по всей ее толщине. Поэтому сварка швов трубопроводов чаще всего выполняется в несколько проходов (два и более) в зависимости от толщины стенок свариваемых труб. Первый проход является ключевым для обеспечения качественного провара корня шва, для чего осуществляется подготовка кромок в виде V-образной разделки. Вторым и последующие проходы используются для формирования остальной части сварного шва.

Рассмотрим механизм отражения сигналов направленной волны от кольцевых сварных швов.

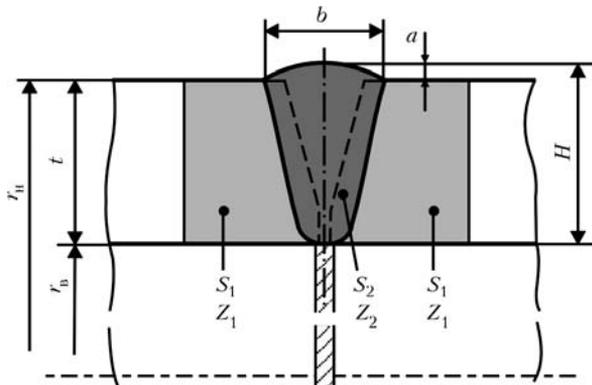


Рис. 4. Модель участка трубы с кольцевым сварным швом:  $a$  – усиление сварного шва;  $b$  – ширина;  $H$  – высота сварного шва

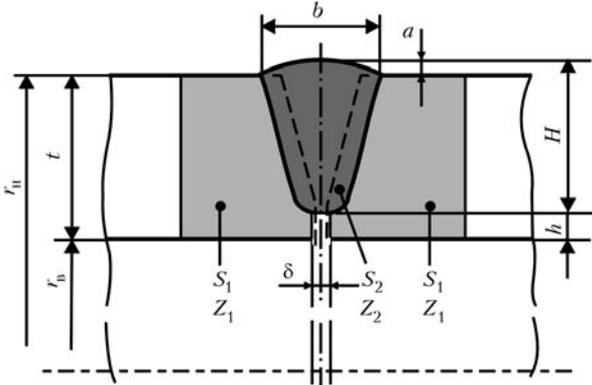


Рис. 5. Модель участка трубы с неполным проваром ее поперечного сечения:  $\delta$  – зазор между кромками труб

На рис. 4 приведена модель участка трубы с кольцевым сварным швом.

Так как сварной шов имеет особую форму сечения и усиления с плавным переходом от шва к основному металлу трубы, то его площадь поперечного сечения  $S_2$  будет отличаться от площади поперечного сечения  $S_1$  трубы. При этом в силу другой структуры металла шва постоянные  $\rho_2$  и  $E_2$  будут отличаться от постоянных  $\rho_1$  и  $E_1$  материала трубы. В этом случае коэффициент отражения  $R$  по амплитуде от сварного шва можно определить из выражения (15) по следующей формуле:

$$R = \frac{S_1 \sqrt{\rho_1 E_1} - S_2 \sqrt{\rho_2 E_2}}{S_1 \sqrt{\rho_1 E_1} + S_2 \sqrt{\rho_2 E_2}} \quad (23)$$

Из опыта использования направленных волн в системах низкочастотного УЗК для диагностики протяженных трубопроводов известно [3], что пока кольцевой сварной шов имеет обычный профиль верхнего и корневого проходов, отражение от него является менее интенсивным, чем отражение от конца трубы. Это положение хорошо подтверждается на практике, пока существуют небольшие отклонения размеров шва к шву. При наличии в трубопроводе большого количества нормально сваренных швов эхо-сигналы от кольцевых швов будут постепенно затухать с расстоянием. Поэтому эхо-сигналы от кольцевых сварных швов на трубопроводе, которые постепенно затухают с расстоянием, являются идеальными отражателями для задания кривой корректировки «расстояние–амплитуда», с которой можно сравнивать сигналы от несплошностей в системах низкочастотного УЗК направленными волнами.

Рассмотрим случай неполного провара сечения трубы, модель которого приведена на рис. 5.

Если согласно рис. 5 сварные швы будут сформированы с разной глубиной проплавления стенок соединяемых труб, это будет свидетельствовать об отклонении площади поперечного сечения шва к шву. Чем меньше площадь поперечного сечения шва, тем больше будет отражение сигнала направленной волны от такого шва. При этом будет наблюдаться неравномерное затухание эхо-сигналов от сварных швов с расстоянием в тех случаях, когда сварные швы трубопровода сформированы с разной глубиной провара кромок по сечению трубы. Поэтому по отраженным от сварных швов сигналам можно судить о качестве выполнения сварных соединений труб в трубопроводах. Коэффициент отражения по амплитуде при неполном проваре шва будет также определяться по выражению (23).

**Выводы**

Обоснованы основные закономерности распространения низкочастотных ультразвуковых направленных волн продольной и крутильной мод в протяженном трубопроводе как бесконечном волноводе.



На основании исследования общего механизма отражения и прохождения падающей направленной волны на границе изменения поперечного сечения трубы обоснованы механизмы отражения и прохождения ультразвуковой волны при ее взаимодействии с несплошностями типа кольцевых сварных швов и коррозионных поражений стенки трубы. Получены выражения для определения коэффициентов отражения и прохождения волны по амплитуде.

1. *Mudge P. J., Lank A. M., Allyne D. N.* A long range method of the detection of corrosion under insulation in process pipework. — Thermic Project: OG474/94, 5 th European Union Hydrocarbons Symposium, Edinburg, 26–28 Nov., 1996.
2. *Report.* Long Lange Ultrasonic testing technique — performance details / Document reference: TTP/01. May 2001. — 20 с.
3. *Long Lange Ultrasonic test system.* Section 1. System Overview and Principles of Operation. — Sept., 2004. — 6 с.

4. *Патон Б. Е., Троицкий В. А., Бондаренко А. И.* Метод низкочастотного ультразвукового контроля протяженных трубопроводов направленными волнами // Техн. диагностика и неразруш. контроль. — 2008. — № 2. — С. 20–30.
5. *Буденков Г. А., Нездвицкая О. В., Далати М.* О возможностях акустической дистанционной дефектоскопии протяженных объектов // Дефектоскопия. — 2003. — № 11. — С. 29–33.
6. *Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М.* Теория упругости. — М.: Наука, 1965. — 204 с.
7. *Бреховских Л. М., Гончаров В. В.* Введение в механику сплошных сред (в приложении к теории волн). — М.: Наука, 1982. — 335 с.
8. *Бергман Л.* Ультразвук и его применение в науке и технике. — М.: Изд-во иностр. лит., 1957. — 727 с.
9. *Скучик Е.* Основы акустики / Пер. с англ. — М.: Мир, 1976. — Т. 1. — 520 с.
10. *Бреховских Л. М.* Волны в слоистых средах. — М.: Наука, 1973. — 344 с.
11. *Буденков Г. А., Нездвицкая О. В.* Основные закономерности взаимодействия волн Похгаммера с дефектами // Дефектоскопия. — 2004. — № 2. — С. 33–46.

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

Поступила в редакцию  
15.09.2008

**8-12 June 2009**  
**Sozopol**

**NDT Days 2009**

**Болгарское общество по НК**  
**Институт механики Болгарской академии наук**  
**Научно-технический союз инженеров-механиков**

приглашает специалистов по неразрушающему контролю  
принять участие в Форуме

**NDT Days 2009**

который состоится **8-12 июня 2009 г. в Созополе, Болгария**

**В рамках Форума будут проходить:**

- 24-я Национальная конференция «Дефектоскопия '08»
- Болгарско-российский семинар «Диагностика электроэнергетических систем»
- Национальный семинар «Задачи и проблемы НК объектов железнодорожного транспорта»
- Выставка средств для НК и ТД
- Учебный семинар для экзаменаторов органов по сертификации персонала по НК и др. мероприятиям

**Важные даты:**

- до 01.04 — заявки на участие
- до 20.04 — тезисы докладов
- до 10.05 — полные тексты докладов и бронирование гостиницы

**Рабочие языки конференции:** болгарский, русский, английский

Стоимость участия в конференции — 120 Евро  
(после 20.04 — 132 Евро)

Старинный город Созополь расположен в 30 км к югу от Бургаса и является одним из лучших курортов на Черном море с постройками в средневековом стиле.

**Оргкомитет:**

*Проф. Митко Миховски, Александр Алексиев*  
*Институт механики БАН*  
*ул. Акад. Г.Бончев, 4*  
*1113, София, Болгария*  
*Факс: (+359 2) 870 74 98*  
*E-mail: nntdd@imbm.bas.bg, nntdd@abv.bg*



## ИНЖЕНЕРНАЯ ОЦЕНКА РОСТА НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СЛОИСТЫХ ВОДОРОДНЫХ РАССЛОЕНИЙ В СЛУЧАЕ ИХ КАНАЛЬНОГО СЛИЯНИЯ

В. П. ДЯДИН, Е. А. ДАВЫДОВ

*На основе силового критерия механики разрушения получены упрощенные инженерные зависимости для оценки величины возможного роста низкотемпературных слоистых водородных несплошностей в случае их «канального» слияния. Несплошности, нагруженные различным внутренним давлением, моделируются как дискообразные трещины, расположенные в средней части условных сечений параллельно поверхности проката. Рассмотрен пример расчета роста дефекта для случая изотропии свойств в направлении толщины. Представлен типичный пример канального слияния низкотемпературных слоистых водородных расслоений по результатам ультразвукового компьютеризованного контроля системой P-Scan обечайки теплообменника толщиной 16 мм.*

*Simplified engineering dependencies were derived on the basis of the force criterion of fracture mechanics for evaluation of the extent of possible growth of low-temperature lamellar hydrogen discontinuities in the case of their «tunnel» coalescence. Discontinuities loaded by different inner pressures, are modeled as disk-shaped cracks located in the middle part of conditional sections in parallel to the rolling surface. An example of calculation of defect growth is considered for the case of isotropy of properties in the direction of the thickness. A typical example of «tunnel» coalescence of low-temperature lamellar hydrogen delaminations is given, based on the results of ultrasonic computerized control by P-Scan system of a heat exchanger shell of 16 mm thickness.*

Низкотемпературное водородное растрескивание нефтехимического оборудования (и не только) является довольно частым явлением. В ранее опубликованных работах [1, 2] отмечалось, что при оценке дальнейшей работоспособности аппаратов, подвергнутых слоистому водородному растрескиванию, принято вычитать весь поврежденный слой металла или, в случае локального повреждения стенки, рассматривать как ослабление выемкой поврежденного металла. Такой подход не учитывает местного внутреннего давления в растрескавшихся коррозионных полостях, которое в зависимости от глубины залегания дефекта, его размера и толщины стенки может играть в ряде случаев существенное значение.

Определение фактического давления и скорости притока молекулярного водорода при постоянном росте несплошности в общей постановке является довольно сложной задачей [3, 4]. В первую очередь, это связано с определением скорости развития слоистого растрескивания и наводороживания металла как в плоскости проката, так и в направлении его толщины. Необходимо также учитывать, что данный процесс растрескивания зависит от взаимного влияния несплошностей, глубины их залегания и вязкости разрушения металла  $K_{1c}^z$ . Кроме того, он может развиваться неравномерно как с пластическим деформированием наиболее тонкого слоя, так и без него.

Сбалансированный рост слоистого низкотемпературного расслоения с постоянной скоростью [4]

на практике встречается довольно редко. Многочисленные исследования подобных повреждений, которые проводили авторы, при диагностировании нефтехимического оборудования показывают, что увеличение дефектов происходит неравномерно и, в основном, связано с их взаимным слиянием.

На рис. 1 представлен результат ультразвукового (УЗ) сканирования типичного низкотемпературного водородного растрескивания обечайки теплообменника. Как видно из данного рисунка, в металле находится множество дефектов, взаимодействующих друг с другом. В силу разницы своих размеров они имеют различные внутренние давления в полостях  $p_i$ .

В данной статье рассмотрен вариант слоистого растрескивания без пластического деформирования слоя. В этом случае несущую способность можно оценить, исходя из силовых критериев механики разрушения и результатов испытаний на ударную вязкость [5, 6].

Для упрощения будем интерпретировать дефект как круговую трещину с радиусом  $a$ . Коэффициент интенсивности напряжений  $K_{1c}^z$  при наличии внутреннего давления  $p$  в дефекте, расположенном в срединной плоскости бесконечного слоя (рис. 2), можно записать в виде [6]:

при  $\lambda \leq 2$

$$K_{1c}^z = p(12h)^{0,5}F(\lambda), \quad (1)$$

где  $F(\lambda) = (0,1267 + 0,6733\lambda^{-1} + 0,5\lambda^{-2} + C)$ ;  $C = (0,0104 - 0,1267\lambda^{-1} - 0,3367\lambda^{-2} - 0,1667\lambda^{-3})(0,6733 +$

Шкала соответствия  
"цвет-глубина залегания"

- 9.0 nm
- 10.9 nm
- 12.8 nm
- 14.7 nm

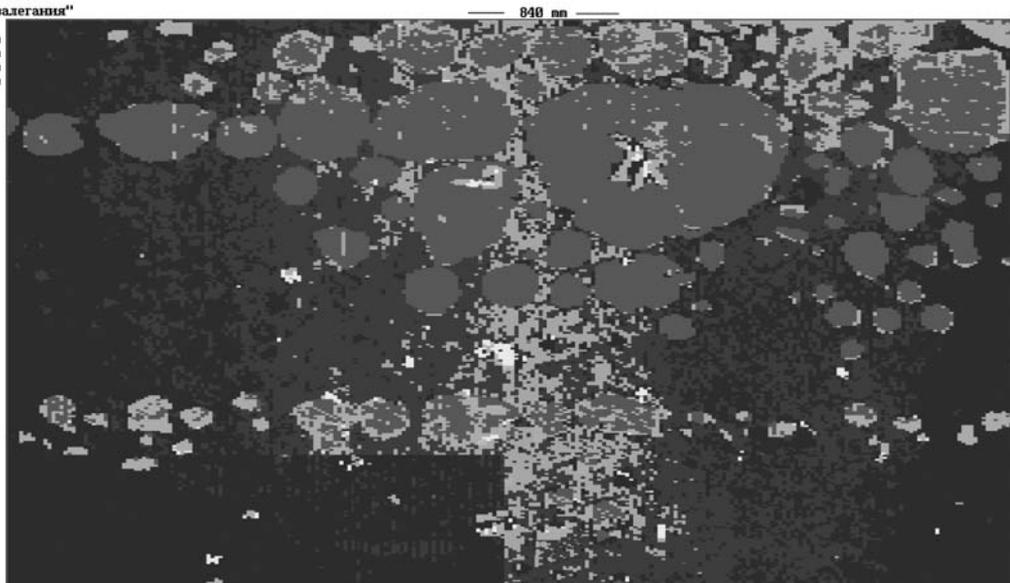


Рис. 1. Пример слоистого низкотемпературного водородного растрескивания при температуре 45 °С обечайки теплообменника, изготовленной из стали 16ГС толщиной 16 мм

+  $\lambda^{-1})^{-1}$ ;  $\lambda$  — относительная толщина слоя, равная  $h/a$  (относительная погрешность формулы (1) при  $\lambda \leq 2$  не превышает 1 %);  
при  $2 \leq \lambda < \infty$

$$K_{1c}^z = 2p(a/\pi)^{0.5} G(\lambda), \quad (2)$$

где  $G(\lambda) = (1 + C_0\lambda^{-3} + 9,6C_1\lambda^{-5} + (C_0)^2\lambda^{-6})$ ,  $C_0 = 0,906$ ;  $C_1 = -0,179$  (относительная погрешность формулы (2) при  $2 \leq \lambda < \infty$  также не превышает 1 %).

Пусть возник переток газа между двумя несплошностями, нагруженными внутренними давлениями  $p_1, p_2$  и имеющими круглую плоскую форму радиусов  $a_1$  и  $a_2$  в изотропном материале (рис. 3). В соответствии с подходами механики разрушения при образовании канала между двумя такими несплошностями должен произойти рост того дефекта, в котором до слияния давление было меньше.

Если не учитывать влияние возможных температурных изменений, то в первом приближении внутреннее давление  $p_3$  в слившихся круглых заземленных полостях, залегающих на разных глубинах, после увеличения размера несплошности размера  $a_3$  должно составлять [7]:

$$\frac{p_1^2 a_1^3 \lambda_1^{-3} + p_2^2 a_2^3 \lambda_2^{-3}}{a_3^3 \lambda_3^{-3} + a_2^3 \lambda_2^{-3}} = p_3^2, \quad (3)$$

где

при  $p_2 > p_1$

$$\lambda_1 = h_1/a_1; \lambda_2 = h_2/a_2; \lambda_3 = h_1/a_3; \quad (3a)$$

при  $p_2 < p_1$

$$\lambda_1 = h_1/a_1; \lambda_2 = h_2/a_2; \lambda_3 = h_2/a_3. \quad (36)$$

Выражение (3) можно переписать в более удобном виде:

$$\frac{1 + \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^2 \left(\frac{a_2}{a_1}\right)^3 \left(\frac{\lambda_2}{\lambda_1}\right)^{-3}}{\left(\frac{a_3}{a_1}\right)^3 \left(\frac{\lambda_3}{\lambda_1}\right)^{-3} + \left(\frac{a_2}{a_1}\right)^3 \left(\frac{\lambda_2}{\lambda_1}\right)^{-3}} = \left(\frac{p_3}{p_1}\right)^2, \quad (4)$$

где относительная толщина слоя  $\lambda$  определяется из условий (3a) или (36).

Формула (4) содержит восемь неизвестных, из которых только четыре  $a_2, a_1, h_1, h_2$  могут быть непосредственно измерены при диагностическом обследовании оборудования без привлечения более сложных методов контроля. В то же время используя уравнения (1) или (2) можно существенно упростить выражение (4).

Для простоты дальнейших выводов рассмотрим наиболее распространенный случай подобных повреждений, когда относительные размеры несплошностей достаточно хорошо выявляемы обычными неразрушающими методами контроля, но и не столь велики, чтобы трактовать их как недопустимые по критериям [1, 2] (в данном случае это выражение (1)).

В случае постоянства характеристики вязкости  $K_{1c}$  в направлении толщины металла из асимпто-

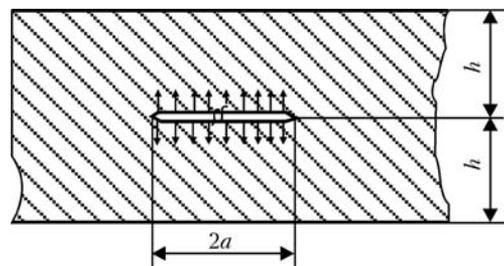


Рис. 2. Дiskoобразная трещина радиуса  $a$ , расположенная в срединной плоскости слоя и нагруженная внутренним давлением  $p$

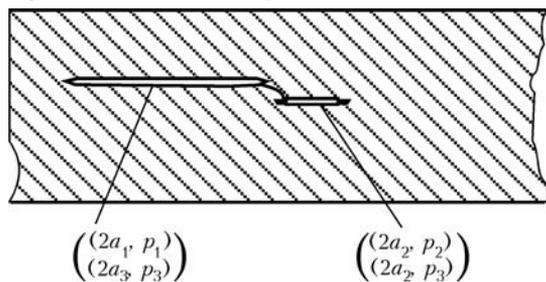


Рис. 3. Пример канального слияния двух несплошностей

тической зависимости (1) и при выполнении условия (3а) следует:

$$1 + \frac{\left(\frac{F(\lambda_1)}{F(\lambda_2)}\right)^2 \frac{h_1}{h_2} \left(\frac{a_2}{a_1}\right)^3 \left(\frac{\lambda_2}{\lambda_1}\right)^{-3}}{\left(\frac{a_3}{a_1}\right)^6 + \left(\frac{a_2}{a_1}\right)^3 \left(\frac{\lambda_2}{\lambda_1}\right)^{-3}} = \left(\frac{F(\lambda_1)}{F(\lambda_2)}\right)^2 \quad (5)$$

Полученное выражение (5) интересно тем, что при различной глубине залегания взаимодействующих между собой дефектов ожидаемый рост несплошности до значения  $a_3$  зависит только от начальных размеров  $a_1, a_2, h_1, h_2$ .

Характеристики  $a_1, a_2$  и  $h_1, h_2$  легко определяются методами НК, что позволяет использовать данное равенство для упрощенной инженерной оценки увеличения размера несплошности («скачка»), при условии отсутствия пластического деформирования прослойки.

В случае, когда происходит слияние более чем двух дефектов, предлагаемый подход к решению данной задачи практически не меняется. Кроме того, можно использовать принцип последовательного решения, когда на каждом последующем этапе происходит слияние с новым дефектом (если дефект не попадает в область распространения предыдущего). Поэтому данный подход может быть применен при анализе работоспособности реального оборудования и выработке прогностического решения (назначенный ресурс).

В предложенной постановке может быть получено общее решение данной задачи. Перед рассмотрением конкретного примера решения упро-

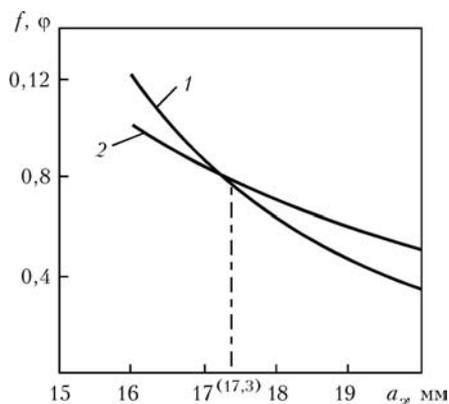


Рис. 4. Графическое решение уравнения (6): 1 –  $f(a_3)$ ; 2 –  $\varphi(a_3)$

щенной задачи следует еще раз отметить, что кажущаяся простота определения возможного скачка дефекта связана с рядом принятых здесь ограничений, значимость которых в каждом конкретном случае следует оценивать или, по крайней мере, качественно понимать:

- несплошность (дефект) рассматривается как круговая, залегающая в срединной плоскости и расположенная к ней параллельно; высота до срединной плоскости принимается равной минимальной толщине слоя в зоне несплошности;
- несплошность (образующие ее поверхности) рассматривается в упругой постановке для защемленной пластины, нагруженной равномерно распределенной нагрузкой;
- характеристика вязкости разрушения в направлении толщины  $K_{1c}$  принимается постоянной;
- затраты энергии на страгивание трещины не учитываются;
- взаимное влияние дефектов перед их фронтами не учитывается.

Как пример, рассмотрим случай, когда основная глубина залегания дефектов к более близкой поверхности составляет 8...9 мм. При «туннельном» слиянии двух дефектов с радиусами 16 и 12 мм и залегающими на глубинах 8 и 9 мм соответственно уравнение (5) будет иметь следующий вид:

$$\begin{aligned} & (1 + (2,3797/1,3391)^2(8/9)(12/16)^3(0,75/0,5)^{(-3)}) / \\ & / ((a_3/16)^6 + (12/16)^3(0,75/0,5)^{(-3)}) = \\ & = (2,3797)^2 / ((0,1267 + 0,6733(a_3/8) + 0,5(a_3/8)^2 + \\ & + (0,0104 - 0,1267(a_3/8) - 0,3367(a_3/8)^2 - \\ & - 0,1667(a_3/8)^3)(0,6733 + a_3/8)^{-1})^2. \quad (6) \end{aligned}$$

Условие (3а) при этом выполняется.

Для наглядности решим уравнение (6) в графическом виде.

Пусть

$$f(a_3) = (1 + (2,3797/1,3391)^2(8/9)(12/16)^3 \times (0,75/0,5)^{(-3)}) / ((a_3/16)^6 + (12/16)^3(0,75/0,5)^{(-3)}); \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \varphi(a_3) = & (2,3797)^2 / ((0,1267 + 0,6733(a_3/8) + \\ & + 0,5(a_3/8)^2 + (0,0104 - 0,1267(a_3/8) - \\ & - 0,3367(a_3/8)^2 - 0,1667(a_3/8)^3)(0,6733 + a_3/8)^{-1})^2. \quad (8) \end{aligned}$$

На рис. 4 представлены графики зависимостей (7) и (8).

Как следует из рис. 4, точка пересечения кривых  $f(a_3)$  и  $\varphi(a_3)$  дает искомое значение  $a_3$ , которое в данном случае составляет 17,3 мм. Таким образом, средний радиус несплошности  $a_1$  после слияния стал больше на 1,3 мм, что соответствует увеличению площади дефекта на 17 %.

Следует отметить, что на практике листовой прокат в направлении толщины может характеризоваться как значительной неоднородностью механических свойств, так и различной вязкостью разрушения  $K_{1c,i}^z$ , что необходимо учитывать при анализе возможного слияния подобных дефектов, залегающих на различных глубинах.



За время диагностического обследования оборудования неоднократно наблюдались случаи, когда меньшая несплошность, залегающая на большей глубине, при туннельном соединении с большей несплошностью, залегающей на меньшей глубине, провоцировала ее рост за счет более высокого давления. В каком-то смысле бóльшая несплошность становилась коллектором.

В этом случае зависимость (3) является более общей, позволяющей учитывать подобные отличия свойств в направлении толщины с учетом уравнений (1) и (2). В общем виде выражение (3) сводится к следующему:

$$1 + \frac{\left(\frac{K_{1c,2}^z}{K_{1c,1}^z}\right)^2 \left(\frac{F(\lambda_1)}{F(\lambda_2)}\right)^2 \frac{h_1}{h_2} \left(\frac{a_2}{a_1}\right)^3 \left(\frac{\lambda_2}{\lambda_1}\right)^{-3}}{\left(\frac{a_3}{a_1}\right)^3 \left(\frac{\lambda_3}{\lambda_1}\right)^{-3} + \left(\frac{a_2}{a_1}\right)^3 \left(\frac{\lambda_2}{\lambda_1}\right)^{-3}} = \left(\frac{K_{1c,3}^z}{K_{1c,1}^z}\right)^2 \left(\frac{F(\lambda_1)}{F(\lambda_3)}\right)^2 \frac{h_1}{h_3} \quad (9)$$

где при  $p_2 > p_1$ :

$$\lambda_1 = h_1/a_1; \lambda_2 = h_2/a_2; \lambda_3 = h_1/a_3; h_3 = h_1; K_{1c,3}^z = K_{1c,1}^z;$$

при  $p_2 < p_1$ :

$$\lambda_1 = h_1/a_1; \lambda_2 = h_2/a_2; \lambda_3 = h_2/a_3; h_3 = h_2; K_{1c,3}^z = K_{1c,2}^z.$$

Условие  $p_2 > p_1$  равносильно выражению

$$\left(K_{1c,2}^z/K_{1c,1}^z\right)^2 \left(F(\lambda_1)/F(\lambda_2)\right)^2 (h_1/h_2) > 1,$$

условие  $p_2 < p_1$  — выражению

$$\left(K_{1c,2}^z/K_{1c,1}^z\right)^2 \left(F(\lambda_1)/F(\lambda_2)\right)^2 (h_1/h_2) < 1.$$

Как видно, для решения уравнения (9), в отличие от (5), необходимо еще дополнительно знать

значения характеристик трещиностойкости  $K_{1c,1}^z$  и  $K_{1c,2}^z$  на соответствующих глубинах залегания дефектов, что является довольно трудоемкой задачей. Разработанные в ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины подходы к оценке характеристик вязкости разрушения  $K_{1c}$ ,  $\delta_{1c}$  по результатам стандартных механических испытаний [5, 7] позволяют несколько упростить данную задачу, но и в этом случае необходимо провести испытание методом разрушающего контроля.

### Выводы

Отмечена неравномерность развития низкотемпературного слоистого водородного растрескивания нефтехимического оборудования на стадии «туннельного» слияния несплошностей.

Получены упрощенные инженерные зависимости по оценке роста низкотемпературного слоистого водородного растрескивания при выравнивании внутренних давлений между двумя отдельными дефектами для изотропного и анизотропного состояний свойств материала в направлении толщины проката.

1. *Некоторые* результаты технической диагностики сосудов и трубопроводов в нефтехимической промышленности // В. С. Гиренко, М. Д. Рабкина, В. П. Дядин и др. // Техн. диагностика и неразруш. контроль. — 1998. — № 3. — С. 17–24.
2. *Гиренко В. С., Мутас В. В., Гиренко С. В.* Прочность трубопроводов и сосудов с коррозионными выемками // Там же. — 2001. — № 4. — С. 21–23.
3. *Балуева А. В., Дашевский И. Н.* Рост водородных отслоений в металле // Изв. РАН. МТТ. — 1999. — № 1. — С. 119–123.
4. *Балуева А. В., Дашевский И. Н.* Модель внутренней газонаполненной трещины в материале // Механика твердого тела. — 1994. — № 6. — С. 113–118.
5. *Гиренко В. С., Дядин В. П.* Зависимости между ударной вязкостью и критериями механики разрушения конструкционных материалов и их сварных соединений // Автомат. сварка. — 1986. — № 10. — С. 61–62.
6. *Механика разрушения и прочность материалов /* Справ. пособие. — Т. 2. — Киев: Наук. думка, 1968. — С. 616.
7. *Дядин В. П.* Сопоставление значений ударной вязкости образцов Шарпи и Менаже при вязком разрушении // Автомат. сварка. — 2004. — № 4. — С. 24–29.

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

Поступила в редакцию 10.10.2008

## ВЕРИФИКАЦИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МОДУЛЯ ЮНГА С ПОМОЩЬЮ МИКРОЗОНДОВОЙ СИСТЕМЫ «МИКРОН-ГАММА»

Ю. А. ХОХЛОВА, И. Н. КЛОЧКОВ, А. А. ГРИНЮК, М. А. ХОХЛОВ

*Модуль Юнга (модуль упругости) условно считается абсолютной характеристикой материала, поэтому для верификации значений, получаемых микротвердомером «Микрон-Гамма», была проведена серия сравнительных механических испытаний. Целесообразность такого сравнения обусловлена не только необходимостью корректировки получаемых значений при калибровке прибора, но и созданием статистической базы данных по механическим свойствам материалов и изготовлением калибровочных образцов.*

*Modulus of elasticity (Young) is conditionally regarded as the absolute characteristic of the material, so a series of comparative mechanical testing was conducted in order to verify the values obtained by «Mikron-Gamma» microhardness meter. The rationality of such a comparison is due not only to the need to correct the obtained values at instrument calibration, but also to create a statistical data base on the mechanical properties of the material and to prepare the calibration samples.*

Важной задачей при макро- и микромеханических испытаниях на современных компьютеризированных системах является корректное определение модуля Юнга — одной из главных механических характеристик материала. Модуль Юнга ( $E$ ) характеризует жесткость материала, т. е. интенсивность увеличения напряжения с ростом относительной деформации при упругом растяжении/сжатии. Численно он равен величине напряжения при достижении деформацией единицы. Совместно с другой независимой характеристикой материала (коэффициентом Пуассона), модуль Юнга отражает способность материала сопротивляться изме-

нению его формы и объема. В этой связи представляет интерес оценка достоверности определения величины  $E$  с помощью микромеханических испытаний методом непрерывного вдавливания индентора. Целесообразность такого исследования обусловлена не только необходимостью корректировки получаемых значений при калибровке прибора, но и созданием статистической базы данных по механическим свойствам материалов и изготовлением калибровочных образцов.

Целью данной работы является верификация значений модуля Юнга, получаемых при испытаниях микрозондовой системой «Микрон-Гамма», и сервогидравлической испытательной системой MTS 318.25 (Material Test System).

Для создания статистической основы такой верификации проведена серия испытаний на статическое одноосное растяжение образцов из конструкционных высокопрочных алюминиевых сплавов Д16, АМг6 (вдоль и поперек волокна), а также создание калибровочных образцов из этих материалов для последующих микромеханических испытаний индентором Берковича.

С целью определения механических свойств испытания на статическое одноосное растяжение проводили в лабораторных условиях на универсальной многоцелевой сервогидравлической машине MTS 318.25, разработанной компанией MTS Systems Corporation в США (рис. 1). Система позволяет при монотонном нагружении выполнять такие испытания, как растяжение, сжатие, а также испытания на ползучесть и изгиб. Все испытания могут быть выполнены при контроле нагрузки или деформации с использованием экстензометра, а также при контроле перемещения. Высокая скорость цилиндра, достигаемая сервогидравликой, позволяет выполнять испытания в широком диапазоне скоростей деформирования [1, 2].



Рис. 1. Сервогидравлическая испытательная система MTS 318.25

© Ю. А. ХОХЛОВА, И. Н. КЛОЧКОВ, А. А. ГРИНЮК, М. А. ХОХЛОВ, 2009

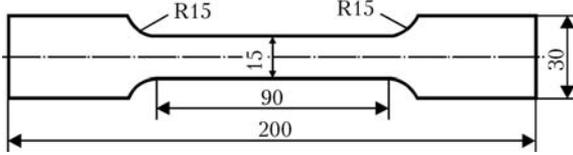


Рис. 2. Схематическое изображение образца для статических испытаний

Для обработки результатов использовали программный пакет TestWorks 4, имеющий большой диапазон возможностей при проведении статических испытаний. Встроенная библиотека расчетов включает формулы, применимые для большинства стандартов ASTM, ISO и DIN.

Поверку системы осуществляют один раз в год согласно РД 50-482-84 «Методические указания. Машины разрывные и универсальные для статических испытаний металлов и конструкционных пластмасс. Методика поверки». По результатам поверки ГП Укрметрстандарт оборудование признано пригодным к использованию согласно ГОСТ 28840-90 «Машины для испытания материалов на растяжение, сжатие и изгиб. Общие технические требования». По результатам поверки оборудования выдано свидетельство № 34/8355. Погрешность показателей силоизмерителя не превышала  $\pm 0,2\%$ .

Испытания проводили до полного разрушения на плоских образцах толщиной 5 мм с выфрезерованной рабочей частью (рис. 2).

На рис. 3 точки В и М ограничивают область, в пределах которой определяется модуль Юнга.

С помощью программного обеспечения построены диаграммы статического растяжения в координатах напряжение – деформации (рис. 3). Расчеты всех необходимых механических характеристик сплава представлены в табл. 1.

Таблица 1. Значение предела прочности, условного предела текучести и модуля Юнга при механических испытаниях на MTS 318.25

Сплав	Предел прочности $\sigma_b$ , МПа	Условный предел текучести $\sigma_{0,2}$ , МПа	Модуль Юнга $E$ , ГПа
Д16	224,0	110,4	57,7
АМг6 вдоль проката	368,6	165,0	68,9
АМг6 поперек проката	365,8	159,2	65

Испытания малоразмерных образцов обычными разрушающими методами весьма проблематичны и сопряжены с большим проявлением влияния дополнительных внутренних напряжений, возникающих при их изготовлении, что снижает точность результатов исследования. Существует метод оценки микромеханических свойств по глубине внедрения индентора при непрерывном вдавливании [4], что позволяет изучать локальное изменение свойств материалов по градиенту рас-

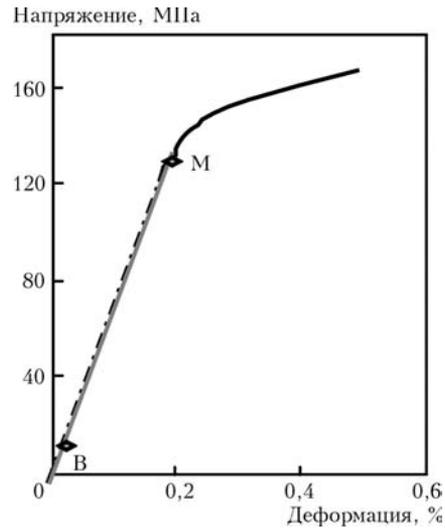


Рис. 3. Начальный участок диаграммы статического растяжения образца из сплава АМг6 (поперек проката)

пределения микротвердости и модуля Юнга в зонах термического влияния сварных соединений.

В работе использовали прибор «Микрон-Гамма» (рис. 4), предназначенный для определения микромеханических свойств материалов методами непрерывного вдавливания индентора, сканирования индентором (склерометрия), металлографии и топографии [5].

Методика микро- и наноиндентирования алмазом Берковича стандартизирована (ISO 14577-2). Тестирование микротвердости таким индентором является наиболее применяемым аналитическим методом контроля микромеханических свойств сверхтвердых и хрупких материалов. Точность цифровой техники позволяет осуществлять «прицельное» индентирование микронеоднородностей структуры. Во время испытаний регистрируется зависимость глубины внедрения индентора от нагрузки как при росте нагрузки, так и при ее снижении. Это позволяет получить значения «невосстановленной» твердости, что исключает влияние упругого восстановления материала на фактическое значение микротвердости [5-8]. По сути, диаграмма «нагрузка-разгрузка» (рис. 5, б) представляет собой работу, затраченную инденто-



Рис. 4. Компьютеризированная микронзондовая система «Микрон-Гамма» для микромеханических испытаний при нагрузках от 5 до 500 г

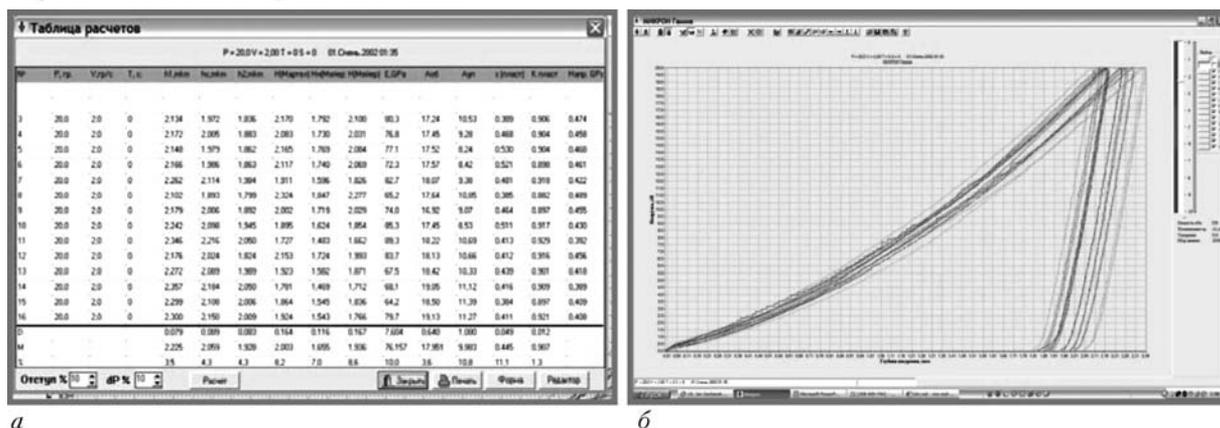


Рис. 5. Электронная таблица обработанных значений (а) и диаграмма «нагружение–разгрузка» (б) при индентировании сплава АМГ6 поперек проката

Таблица 2. Средние значения микротвердости и модуля Юнга по результатам индентирования на приборе «Микрон-Гамма»

Сплав	Микротвердость, ГПа	Модуль Юнга E, ГПа
Д16	0,30	66,00
АМг6 вдоль проката	0,46	74,00
АМг6 поперек проката	0,40	65,40

ром на преодоление сопротивления материала (площадь под ветвью нагружения), и работу, затраченную материалом на восстановление своих свойств (площадь под ветвью разгрузки).

Компьютеризированная система прибора включает индентор Берковича; шток с датчиком регистрации глубины внедрения индентора, механизм нагружения с широким диапазоном нагрузок; видеокамеру и микроскоп (×200... 1000); автоматизированную систему позиционирования образца с программой цифровой навигации по исследуемому объекту. Для уменьшения вибрации прибор установлен на виброизолирующей подставке. Перемещение индентора измеряется с точностью 1 нм в режиме нагружения 0,1... 500 г, что позволяет проводить испытания при небольших глубинах отпечатка. Полученная диаграмма «нагружение–разгрузка» состоит из 2000 точек. Обработка результатов индентирования выполняется специализированной программой и позволяет автоматически определять значения твердости и модуля Юнга при регистрации перемещения вершины индентора.

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

Испытания проводили при нагрузке 20 г по схеме: «нагружение–разгрузка» индентора (без выдержки). Каждая серия укулов состояла из 16 последовательных внедрений индентора с шагом 30 мкм; скорость нагружения 2 г/с. Зафиксированные прибором данные индентирования и диаграмма «нагружение–разгрузка» индентора показаны на рис. 5. Средние значения микротвердости и модуля Юнга приведены в табл. 2.

Разброс значений модуля Юнга, полученных по результатам проведения механических испытаний на сервогидравлической испытательной системе MTS 318.25 и микрозондовой системой «Микрон-Гамма» (см. табл. 1, 2) может изменяться в зависимости от марки сплава и пространственной ориентации волокон. Разница в измерениях не превышает 9 %, что является допустимой погрешностью для инденторов данного типа.

1. Экспериментальные методы исследования деформаций и напряжений: Справ. пособие / Б. С. Касаткин, А. Б. Кудрин, Л. М. Лобанов и др. — Киев: Наук. думка, 1981. — 584 с.
2. <http://www.mts.com/downloads/100-027-556a.pdf>
3. ГОСТ 1497–84 Металлы. Методы испытаний на растяжение. — М.: Изд-во стандартов, 1985.
4. Oliver W. C., Pharr G. M. // J. Mater. Res. — 2004. — № 10. — P. 3–20.
5. А. с. 373581 СССР, МКИ G01N3/42/. Прибор для испытаний материалов на микротвердость / В. В. Запорожец, И. М. Закнев, Ю. А. Никитин. — Заявл.19.04.90; Опубл. 07.02.93, Бюл. № 5. — 4 с.
6. Григорович В. К. Твердость и микротвердость металлов. — М.: Наука, 1976. — 230 с.
7. С. И. Бульчев, В. П. Алехин. Испытание материалов непрерывным вдавливанием индентора. — М.: Машиностроение, 1990. — С. 3–180.
8. Kazuhisa Miyoshi. surface characterization techniques: an overview. National Aeronautics and Space Administration. Glenn Research Center. Cleveland, Ohio 44135. NASA/TM-2002-211497.

Поступила в редакцию 10.12.2008



## ТЕМПЕРАТУРНАЯ ДИАГНОСТИКА МАШИН И МЕХАНИЗМОВ НА ОСНОВЕ СТАТИСТИЧЕСКОГО ПОДХОДА

В. А. СТОРОЖЕНКО, С. Б. МАЛИК

*Приведены результаты апробации температурного метода диагностики к крупногабаритным объектам контроля. Предложена методика определения диагностических порогов, основанная на статистическом подходе. Оценена возможность применения предложенной методики к определению технического состояния выбранного класса объектов.*

*The paper gives the results of verification of the temperature method of diagnostics on large-sized objects of control. A procedure is proposed for determination of diagnostic thresholds, based on a statistical approach. Possibility of application of the proposed procedure for determination of the technical condition of the selected class of objects is assessed.*

Температурная (или термометрическая [1]) диагностика (ТД) пока не является устоявшимся термином в технической диагностике и неразрушающем контроле (НК), поэтому в первом приближении ее можно определить следующим образом: диагностика технического состояния исследуемого объекта по измеренному на его поверхности температурному полю.

ТД можно рассматривать как следующий этап развития теплового (термографического) метода НК. Если при тепловом НК решается задача только выявления дефектов по измеренному температурному полю, то задачей ТД является установление корреляции результатов контроля с показателями технического состояния объекта.

Учитывая, что термографирование является самым производительным из всех методов НК (за 1 ч можно просмотреть десятки квадратных метров поверхности крупногабаритных объектов), использование этого метода для целей диагностики представляется весьма актуальным.

Наиболее подходящим объектом для реализации ТД являются крупногабаритные машины и механизмы, на поверхности которых в рабочем режиме наблюдается избыточное температурное поле. Примером таких объектов могут служить мощные генераторы, электродвигатели, трансформаторы, насосы, компрессоры и т. п.

Ввиду больших габаритов и сложной конструкции контроль такого оборудования без его остановки другими известными методами НК осуществить нереально (за исключением вибрационного метода).

Основной трудностью на пути реализации метода ТД является установление корреляции между измеренным температурным полем на поверхности объекта и нормированными показателями его

технического состояния. Решение этой задачи возможно с помощью двух подходов.

Первый основан на построении диагностической модели исследуемого объекта и последующем решении обратной задачи теплопроводности — определению по измеренному температурному полю внутренних источников тепла, а следовательно, разграничению тепловых неоднородностей, вызванных конструктивными особенностями объекта контроля, или дефектами. В частности, в работе [2] описаны такие тепловые (электротепловые) модели трансформаторов.

Однако такой подход имеет существенный недостаток: для каждого типа оборудования (а для сложного, то для каждого его узла) надо строить свою модель, а главное, необходимо проверить ее адекватность путем последующих разрушающих испытаний, что является очень трудоемким, а зачастую и нереальным процессом.

Второй подход, который и предлагают авторы, заключается в установлении диагностических порогов статистическим путем. Статистической информацией при этом должны служить результаты термографирования значительного количества однотипных объектов или их узлов. Этот подход известен и использован для установления пороговых значений температуры электрооборудования [3].

В данной работе в качестве объекта рассматривается новый для ТД класс оборудования, а именно неэлектрические машины и механизмы. В этом классе выбран газомотокомпрессор (ГМК) типа ГКН10, использующийся на газоперекачивающих станциях газотранспортной системы Украины.

Газомотокомпрессоры ГКН10 — это стационарные агрегаты, предназначенные для сжатия и перекачивания естественных или нефтяных газов в системе магистральных газопроводов, газобензиновых или нефтеперерабатывающих заводов, и состоящие из двухтактного газового двигателя с



Т а б л и ц а 1. Результаты термографирования в пяти характерных точках КЦ агрегата № 1

Контрольная точка		Температура $T_{x_i}$					
		1	2	3	4	5	
Всасывающие клапаны	левый	19,2	20,5	20,5	25,3	23,3	
	правый	19,5	23,5	29	25,3	17,4	
Нагнетательные клапаны	левый	53	58,9	61,2	72,9	55,1	
	правый	53,4	58,7	61,2	74,5	55,1	
Коробка нагнетательного клапана продувного насоса		–	76,2	76,3	72,1	71,8	73,6

V-образным расположением цилиндров двойного действия, соединенных под углом на общей фундаментальной раме и общим коленчатым валом.

Основной причиной возникновения дефектов узлов агрегата является высокая температура сгорания газа и длительная эксплуатация узлов и деталей с постепенным старением металла и снижением его прочности, вследствие чего снижается их надежность и ресурс эксплуатации.

Интересной особенностью этого объекта контроля является наличие в каждом газокompрессорном агрегате нескольких видов однотипных узлов: 5 компрессорных цилиндров (КЦ), 10 силовых цилиндров, 5 шатунных подшипников. При этом на одной газоперекачивающей станции могут находиться около десятка однотипных ГМК, что позволяет получить достаточную статистическую выборку для определения диагностических порогов. Для этого на Червонодонской компрессорной станции было проведено термографирование шести ГМК. По полученным термограммам определили температуру  $T_{x_i}$  в характерных точках  $x$  каждого узла  $i$ . Выбор характерных точек основывался на конструктивных особенностях конкретного узла. Для примера выбрали один из типов узлов ГМК – КЦ. Значения измеренных температур в характерных точках 1–5 агрегата № 1 приведены в табл. 1.

Методика расчета диагностического порога по полученным данным, основанная на статистическом подходе, заключалась в следующем. По каждому агрегату определяли среднее значение температуры  $T_x$ , относительно которого и устанавливали диагностические пороги. Для оценки отклонения температуры в каждой характерной точке всех узлов каждого отдельного агрегата от среднего значения температуры в такой точке использовали среднеквадратическое отклонение (СКО):

$$\sigma_x = \sqrt{\sum_{i=1}^n (T_{x_i} - \langle T_x \rangle)^2 / n},$$

где  $\langle T_x \rangle = \sum_{i=1}^n T_{x_i} / n$ ;  $n$  – количество идентичных узлов (температур в характерных точках).

Далее по всей совокупности узлов из  $N$  агрегатов определяли среднее значение отклонения от  $\langle T_x \rangle$  в каждой характерной точке:

$$\langle \sigma_x \rangle = \sum_k^N \sigma_{x_k} / N.$$

Именно эта величина и используется для определения диагностического порога температуры в характерной точке (для повышения точности расчетов при вычислении  $\langle \sigma_x \rangle$  экстремальные значения  $\sigma_{x_k}$  отбрасываются [4]).

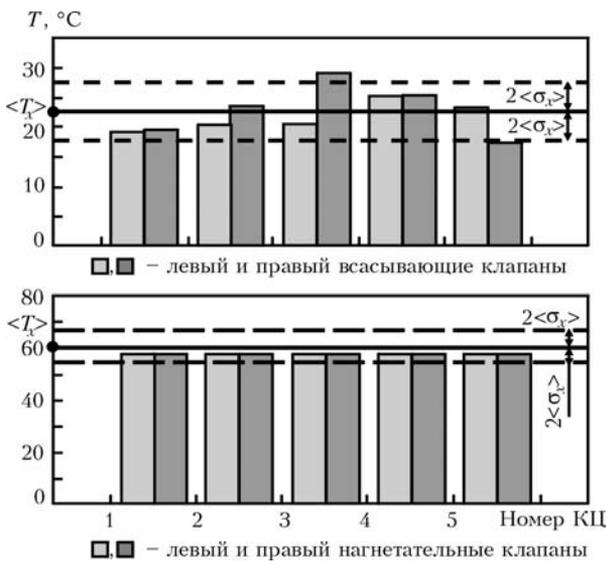
При выборе диагностического порога учитывается такая особенность ГМК, как различие средних температур по агрегатам, которое обусловлено не столько наличием дефектных узлов, сколько разными режимами работы агрегатов, температурами подаваемых хладагентов, которые могут существенно отличаться. Поэтому диагностический порог рассчитывался для каждого агрегата отдельно по часто применяемому в таких случаях так называемому правилу двух сигм, в основе которого лежит тезис, что диапазон двух СКО включает 95 % значений диагностического параметра [5]:

$$T_{x_{\text{пор}}} = \langle T_x \rangle \pm 2 \langle \sigma_x \rangle.$$

Согласно описанной выше методике по результатам контроля шести действующих ГМК Червонодонской компрессорной станции оценивали

Т а б л и ц а 2. Результаты контроля КЦ агрегата № 1

Контрольная точка	$\langle T_x \rangle$	$\sigma_x$	$\langle \sigma_x \rangle$	Пороговые значения	
				min	max
Всасывающие клапаны	22,35	3,37	2,37	17,61	27,10
Нагнетательные клапаны	60,4	7,22	2,87	54,66	66,14
Коробка нагнетательного клапана продувного насоса	74	1,94	1,28	71,44	76,56



Результаты разбраковки по характерным точкам КЦ агрегата № 1

значения СКО температуры от среднего по агрегату, определяли пороговые значения и выявляли предположительно дефектные узлы.

Результаты расчета диагностических порогов для КЦ агрегата № 1 приведены в табл. 2, а результаты их разбраковки на основе этих порогов — на рисунке (горизонтальные полосы определяют поля допуска  $(\langle T_x \rangle \pm 2\langle \sigma_x \rangle)$ ).

Из рисунка видно, что отклонения температуры правого всасывающего клапана третьего КЦ и обоих клапанов четвертого цилиндра выходят за

пределы допустимого диагностического порога, т. е. являются дефектными.

Достоверность полученных результатов разбраковки нуждается, безусловно, в проверке, которую можно осуществить при разборке агрегата в ходе планового (или внепланового) ремонта путем сопоставления данных осмотра с результатами термографирования.

По мере накопления достаточного количества таких данных в перспективе возможен переход от предложенного выше статистического (виртуального) диагностического порога к реальному критерию, коррелирующему с техническим состоянием контролируемого объекта непосредственным образом.

Поскольку этот процесс весьма длительный, особенно для сложных по структуре машин и механизмов, предложенный авторами статистический подход может служить временной методикой ТД оборудования рассмотренного класса.

1. Канарчук В. Е., Деркачев О. Б., Чигринец А. Д. Термометрическая диагностика машин. — Киев: Вища шк., 1985. — 168 с.
2. Аллатов М. Е., Голованов А. А. Электротепловая диагностическая модель и диагностика теплового состояния трансформаторного оборудования // Электро. — 2004. — № 4. — С. 40–43.
3. Тепловизионный контроль и диагностика электрооборудования / О. Н. Будадин, С. А. Бажанов, В. И. Зуев и др. // Энергослужба предприятия. — 2003. — № 4 (www.irtis.ru).
4. Гаскаров Д. В., Шаповалов В. И. Малая выборка. — М.: Статистика, 1978. — 248 с.
5. Орлов А. И. О современных проблемах внедрения прикладной статистики и других статистических методов (Обобщающая статья) // Заводская лаборатория. — 1991. — Вып. 1. — С. 67–74.

Харьков. нац. ун-т электроники

Поступила в редакцию 04.07.2008



10-я ЮБИЛЕЙНАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА ПРИБОРОВ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОГО НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ «ДЕФЕКТОСКОПИЯ»

8–10 сентября 2009 года, Санкт-Петербург

Выставка **ДЕФЕКТОСКОПИЯ** пройдет при поддержке Российского общества по неразрушающему контролю и технической диагностике (РОНКТД), Европейской Федерации неразрушающего контроля (EFNDT) и Международного комитета по неразрушающему контролю (ICNDT). Организаторы — выставочное объединение «РЕСТЭК» и журнал «В мире неразрушающего контроля».

Выставка предоставляет уникальную возможность производителям и поставщикам средств неразрушающего контроля найти своих покупателей, а посетителям — познакомиться с новыми предложениями и обсудить проблемы НК и ТД на семинарах и круглых столах.

В рамках выставки будет организована серия «тест-драйвов» для того, чтобы пользователи могли на практике ознакомиться с техническими возможностями и эксплуатационными характеристиками современных средств неразрушающего контроля и диагностики.

На стендах участников будут представлены приборы и оборудование всех видов неразрушающего контроля: оптического, вихретокового, теплового, магнитного, капиллярного, радиационного, ультразвукового, вибрационного, а также для акустической эмиссии и течеискания.

Организаторы выставки предлагают организовать коллективный стенд, на котором представить свои разработки в области средств и технологий для НК и ТД смогли бы не только крупные и известные, но и небольшие украинские компании. Просим Вас сообщить о своем желании участвовать в выставке «Дефектоскопия» на коллективном стенде.

Тел.: +7 812 320 8092; факс: +7 812 320 8090  
E-mail: bdk@restec.ru; http:// www.restec.ru/defectoscopy

Тел.: +7 812 448 18 84; факс: +7 812 448 18 85  
E-mail: valentina@ndtworld.com



# ПИТОМИЙ ЕЛЕКТРИЧНИЙ ОПІР ЯК ІНФОРМАТИВНИЙ ПАРАМЕТР ВИЗНАЧЕННЯ ФАКТИЧНИХ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРІАЛІВ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ ДОВГОТРИВАЛОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

О. М. КАРПАШ, Є. Р. ДОЦЕНКО, М. О. КАРПАШ, А. В. ВАСИЛИК

*Здійснено обґрунтування шляхів визначення фактичних фізико-механічних характеристик із врахуванням структурного стану матеріалів металоконструкцій довготривалої експлуатації. Обґрунтовано вибір питомого електричного опору як інформативного параметра контролю структури конструкційних сталей. Проведено аналіз методів визначення питомого електричного опору сталей.*

*The paper gives a substantiation of the ways to determine the actual physico-mechanical properties allowing for the structural condition of materials in metal structures for long-term service. Selection of specific electric resistance as an informative parameter of structural steel structure is substantiated. Analysis of the methods of determination of specific electric resistance of steels is performed.*

Забезпечення надійної та безпечної роботи металевих конструкцій у нафтовій та газовій промисловості з кожним роком стає все більш гострою проблемою внаслідок наступних причин: значні терміни експлуатації обладнання та економічні затрати на ліквідацію аварій та санкції за нанесені екологічні збитки, пов'язані з руйнуванням об'єктів. Зокрема, в Україні старіння металоконструкцій значно випереджає темпи технічного переоснащення. Основною причиною аварій та відмов на об'єктах нафтогазового комплексу, підприємствах хімічної промисловості та трубопровідному транспорті є механічні пошкодження та корозія.

Питання оцінки фактичного технічного стану металоконструкцій різного призначення стає особливо актуальним в умовах, коли постала гостра необхідність продовження терміну експлуатації об'єктів, що відпрацювали свій нормативний ресурс. Ресурс безпечної експлуатації металоконструкцій визначається в тому числі станом структури та фізико-механічними характеристиками (ФМХ) металу. Вплив корозійно-активних середовищ, коливання температури, робочих навантажень та напружень змінюють з плином часу структуру та властивості експлуатованого металу в порівнянні з їхніми вихідними характеристиками.

Досвід показує, що при тривалій експлуатації у кілька десятків років ФМХ матеріалів металоконструкцій змінюються в порівнянні зі своїми номінальними значеннями. Зокрема:

– показники міцності (твердість  $HВ$ , межі плинності  $\sigma_T$ , межі міцності  $\sigma_B$  збільшуються здебільшого на 10... 15 %;

– в'язко-пластичні показники (відносне видовження  $\delta$ , відносне звуження  $\psi$ ) зменшуються на 5... 7 %;

– показники опору крихкому руйнуванню (ударна в'язкість  $KCU$ ,  $KCV$  та тріщиностійкість  $K_c$ ) – на 15... 20 %.

Слід зазначити, що однією з найважливіших механічних характеристик матеріалів металоконструкцій є межа плинності  $\sigma_T$ .

Зміна ФМХ, як правило, обумовлена структурними змінами металу, внаслідок чого змінюються міцнісні властивості та знижується пластичність.

Метою даної роботи є пошук та обґрунтування шляхів визначення фактичних ФМХ із врахуванням мікроструктурного стану матеріалів металоконструкцій довготривалої експлуатації.

Проаналізуємо зв'язок мікроструктурного стану та ФМХ металоконструкцій на прикладі аналізу залежності межі плинності  $\sigma_T$  від структури сталей. Межа плинності залежить від структури і, перш за все, від розмірів зерен фериту. За допомогою положень теорії дислокацій можна проаналізувати цей зв'язок.

Так, межа плинності металу, який складається з однорідних зерен, описується рівнянням Петча-Холла-Лоу [1]:

$$\sigma_T = \sigma_0 + K_y d_\alpha^{-1/2}, \quad (1)$$

де  $\sigma_0$  – напруження тертя (опір решітки твердого розчину руху дислокацій);  $K_y$  – коефіцієнт, що визначається енергією взаємодії дислокацій з межами зерен (майже однаковий для різних сталей);  $d_\alpha$  – середній діаметр зерна.

Для даного рівняння справедливе твердження: якщо в об'ємі зерна структура незмінна, то міцність зростає при зменшенні розміру зерна. З іншого боку, відмінність меж плинності вуглецевої та низьколегової сталей, що мають різну струк-



туру, обумовлена, головним чином, напруженням тертя  $\sigma_0$ .

Виникнення більш високих напружень пояснюється наявністю кремнію і марганцю в розчині. Введення 1 % кожного з цих елементів підвищує напруження тертя заліза на 84 і 32 МПа відповідно [2].

Міцнісні властивості, такі, як межа міцності та межа плинності найбільш поширених низьковуглецевих сталей з феритно-перлітною (дулексною) структурою, можна визначити за розміром зерна та кількістю перліту. При введенні різних легуючих елементів змінюються механічні властивості металів. Кремній зміцнює розчин, але збільшує розмір зерна фериту. Марганець підвищує межу плинності за рахунок зміцнення твердого розчину, подрібнення кількості перліту в мікроструктурі. Так, 1 % кремнію підвищує межу плинності на 78 МПа незалежно від кількості марганцю при феритно-перлітній структурі.

Загалом, міцнісні властивості низьковуглецевих феритно-перлітних сталей визначаються за формулами:

$$\sigma_B = 9,8 (30,5 + 2,8 \% Mn + 8,44 \% Si + 0,4 \times (\text{об'ємний \% перліту}) + 0,032 (d - 1/2)), \text{ МПа}; \quad (2)$$

$$\sigma_T = 9,8 (10,6 + 3,33 \% Mn + 8,56 \% Si + 0,071 (d - 1/2)), \text{ МПа}, \quad (3)$$

де  $d$  — величина зерна фериту.

Властивості сталі залежать також від кількості, дисперсності розподілу карбідів, що змінюються в широких межах залежно від режимів термооброблення, тривалості експлуатації та ін. Перехід легуючих елементів з твердого розчину в карбіди, коагуляція карбідів і зосередження їх по межах зерен, а також зміна тонкої структури обумовлюють зміну механічних характеристик [3].

Таким чином, структурні складові та параметри, які визначають тип структури (феритна, дулексна, аустенітна, мартенситна [4]), відповідно визначають напруження тертя  $\sigma_0$ , значення якого є приблизно однаковим в межах однотипних структур. Це пояснює те, що найбільш тісні кореляційні зв'язки існують тільки в межах однотипних структур, в яких фазовий склад і тип структури однаковий, а змінюються лише кількісні чи розмірні співвідношення структурних складових.

Тому, в першу чергу, доцільно визначити яким чином змінився структурний стан матеріалу в процесі експлуатації, а потім з врахуванням структури визначити фактичні ФМХ металокопункцій. Такий підхід дасть змогу більш достовірно оцінити технічний стан металевих об'єктів та більш точно прогнозувати його залишковий ресурс. Причому, з точки зору економії коштів і часу на контроль, найбільш доцільно визначити структуру та ФМХ матеріалу трубопроводів за допомогою застосування одних і тих інформативних

параметрів, без необхідності використання додаткових технічних засобів.

Оцінка структурного стану матеріалів металокопункцій, особливо після довготривалої експлуатації, є важливим науково-технічним завданням, розв'язання якого дасть змогу оцінити фактичний технічний стан та продовжити термін їх служби. Необхідно розробити нові методи контролю структури сталей, причому найбільш економічно та технічно доцільно в даному випадку використовувати методи неруйнівного контролю [5].

Розглянемо основні фундаментальні характеристики сталей, які можуть змінюватись у процесі експлуатації і є структурно чутливими:

теплові — питома теплоємність, теплове розширення, теплопровідність;

електричні — питомий електричний опір;

магнітні — магнітна пружність, магнітна сприйнятливність, основна крива намагнічування, петля гістерезису, магнітні втрати, магнітна анізотропія;

комплексні ефекти — специфічні властивості, що ґрунтуються на ефектах зв'язаного стану і є причиною інших явищ: термоелектричні явища, магніострикція, ефект Холла та ін.

Зміну структурного стану визначають неруйнівними методами, фізичні основи яких полягають в аналізі взаємозв'язку фізичних полів з параметрами контрольованих матеріалів і виробів. На рис. 1 схематично показано відомі методи визначення структури та ФМХ сталей, прокласифіковані по типу фізичних полів.

При цьому такі відомі та широко вживані методи як рентгенівські, акустичні, методи електричного опору, тензометричні та ін. зайняли свої місця в цих п'ятьох видах.

Зазвичай, взаємозв'язок між механічними, фізичними та структурними властивостями матеріалів установлюють на підставі статистичних методів, які дозволяють обробляти великий обсяг інформації, отриманої під час тривалих досліджень.

Детальний аналіз відомих методів і підходів у теорії та практиці оцінки структури та ФМХ матеріалів металокопункцій розглянуто в роботах [6–9]. В роботі [10] обґрунтовано вибір комплексу інформативних параметрів контролю ФМХ — твердість, теплопровідність та питомий електричний опір. Проте в даній роботі не було приділено належної уваги дослідженню структурної чутливості питомого електричного опору матеріалу металокопункцій.

Обґрунтуємо вибір питомого електричного опору в якості інформативного параметра контролю структури. Відомо, що в залежності від величини кристалічних зерен змінюються фізичні властивості металу, зокрема електричні. Детально це було розглянуто Ф. Томпсоном на початку ХХ сторіччя. Вчений встановив залежність питомого електричного опору  $\rho$  від кількості кристалічних зерен в  $1 \text{ см}^3$  для заліза. В 1923 р. Штейнберг, досліджуючи тонкі шари заліза і порівнюючи їх



Рис. 1. Класифікація методів оцінки структури та ФМХ сталей по типу фізичних полів

електропровідність з провідністю суцільних металів, дійшов висновку, що питомий опір заліза зростає із зменшенням величини зерен. Подальші дослідження багатьох науковців переконливо показали, що характер кристалічної будови впливає на значення електропровідності.

На рис. 2 зображено просту мікроскопічну модель протікання струму через метал, яка дає змогу зрозуміти природу питомого електричного опору та його залежність від структурного стану матеріалу.

Під дією зовнішнього електричного поля напруженістю  $E$  вільні електрони крім теплового руху набувають компоненту дрейфової швидкості. В ізотропному металі напрям густини струму  $j$  співпадає з напрямом зовнішнього поля. В цьому випадку електропровідність  $\sigma$  є скалярною величиною і визначається за формулою:

$$j = \sigma E \text{ [A/м}^2\text{]}. \quad (4)$$

Взаємозв'язок між електропровідністю та питомим електричним опором можна виразити співвідношенням

$$\rho = \frac{1}{\sigma} \text{ [Ом}\cdot\text{м]}. \quad (5)$$

Зазначимо, що величини  $j$  та  $E$  є векторними, а  $\rho$  – скалярна.

Для більшості металів та сплавів  $\sigma$ , а відповідно і  $\rho$  – сталі величини. Якщо значення  $\sigma$  різне для різних напрямків вектора  $E$ , то матеріал називають анізотропним. Анізотропія металів та сплавів має місце також після різних видів фізичного впливу на матеріал (обробки, деформації, навантажень, зміни температури тощо). В цьому випадку провідник має нелінійну залежність  $j(E)$ .

Під час свого руху потік електронів зазнає опору, що зумовлений флуктуаціями теплових коливань атомів в решітці та її недосконаlostями, які намагаються погасити швидкість електрона, таким

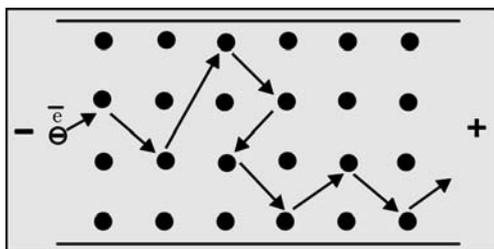


Рис. 2. Модель протікання струму в металі під дією прикладеної напруги

чином зменшуючи довжину пробігу останнього (рис. 2).

Для різних металів величина  $\rho$  в основному і визначається довжиною вільного пробігу електронів. Розглянемо фактори, що впливають на довжину вільного пробігу. Насамперед, значний вплив має температура провідника, оскільки з її підвищенням збільшуються коливання частин у вузлах кристалічної решітки, ймовірність зіткнення останніх з електронами збільшується, що призводить до зменшення рухливості носіїв і відповідно до збільшення  $\rho$ .

Наявність домішок в металах спотворюють кристалічну решітку і призводять до збільшення питомого опору. Атоми домішок, вакансії, дислокації, як правило, мають ефективний електричний заряд, що відрізняється від основних атомів металу, тому вони служать джерелом розсіяння електронів.

Згідно з правилом Маттісена–Флемінга, питомий електричний опір матеріалу можна представити у вигляді [11]:

$$\rho = \rho_{\text{реш}}(T) + \rho_{\text{деф}} + \rho_{\text{дом}}, \quad (6)$$

де  $\rho_{\text{реш}}(T)$  – опір, що залежить від температури металу з ідеальною структурою;  $\rho_{\text{деф}}$  – опір, зумовлений дефектами;  $\rho_{\text{дом}}$  – вклад в опір домішок.

Питомий електричний опір провідника правильної геометричної форми з поперечним перерізом  $S$  та довжиною  $L$  визначається за формулою:

$$\rho = \frac{RS}{L}. \quad (7)$$

Зрозуміло, що питомий опір конструкційних сталей більший за питомий опір заліза, оскільки є сплавом заліза, вуглецю та легуючих елементів.

Значний вклад у величину питомого електричного опору сплавів вносять також міжфазні межі та області концентраційної неоднорідності. Загальні закономірності зміни електричних властивостей в залежності від структурного стану і хімічного складу сплавів встановлені Н. С. Курнаковим у вигляді діаграм будова – властивість [11].

Встановлено, що при збільшенні концентрації легуючого елемента питомий опір в неперервних твердих розчинах заміщення змінюється в загальному випадку за параболічним законом, в твердих розчинах впровадження – за лінійним законом, а у випадку гетерогенних структур відповідає лінійному закону, а його величина підпорядковується правилу адитивності питомого опору граничних фаз (якщо відношення між ними знаходиться в межах 0,75...1,25) у відповідності до їх концентрації по масі. У випадку утворення хімічних з'єднань в концентраційній області їх існування з'являється особлива або названа Курнаковим сингулярна точка. Якщо цього не трапиться, то такі фази, що виникають в даних сплавах, розглядаються як проміжні.

Більшість сталених виробів набувають необхідний комплекс ФМХ у результаті термічної обробки, яка включає найбільш розповсюджені операції — загартування, відпуск і відпал. ФМХ сталей в залежності від температури загартування найбільш суттєво змінюються в інтервалі від 700 до 820...850 °С, причому підвищення вмісту вуглецю призводить до збільшення питомого електричного опору (рис. 3) [12].

При збільшенні температури загартування до 800...850 °С питомий електричний опір  $\rho$  зростає, що зв'язано з підвищенням вмісту вуглецю в перенасиченому твердому розчині та появою певної кількості залишкового аустеніту. При температурах вище 800...1850 °С питомий опір практично не змінюється, оскільки при даних температурах загартування весь вуглець переходить в твердий розчин. Значення  $\rho$  при однаковому вмісті вуглецю для загартованої сталі значно вище, ніж для відпаленої. Чим більший вміст вуглецю, тим більша різниця питомих опорів відпаленої та загартованої сталі. Після відпалу структура сталі складається з фериту та цементиту  $\alpha\text{-Fe} + \text{Fe}_3\text{C}$ , в той час як після загартування вона, в основному, є пересиченим твердим розчином вуглецю в  $\alpha$ -залізі (мартенсит), опір якого завжди більший, ніж в гетерогенній суміші.

Також на величину питомого електричного опору впливає наклеп сталей. Зокрема, наклеп для сталей 0,1 та 0,3 % спочатку може зменшувати електричний опір, а потім збільшувати. Падіння пояснюється зростаючою орієнтацією пластинчастого перліту, а підвищення — наклепом фериту. Воно тим більше, чим більше фериту і зникає при високому вмісті вуглецю [11].

Таким чином, можна стверджувати, що будь-які структурні перетворення та зміни в сталі однозначно впливають на величину питомого електричного опору, за величиною якого, крім того, можна оцінювати режим термічної обробки сталі під час її виготовлення.

Вимірювання питомого електричного опору в діапазоні 500...900 нОм·м в реальних умовах з необхідною точністю викликає певні труднощі. До методів вимірювання питомого електричного опору відносяться наступні [13]:

Безконтактні методи:

- крутного магнітного поля;
- вихрострумівий.

Контактні методи:

- одинарного моста;
- подвійного моста;
- потенціометричний;
- амперметра-вольтметра (чотирьохконтактний).

В методі крутного магнітного поля електропровідність визначають за величиною діючого на нього моменту сил, що вимірюється по куту закручування підвісу. Точність даного методу становить 1 %, однак для її досягнення вводять поправки на

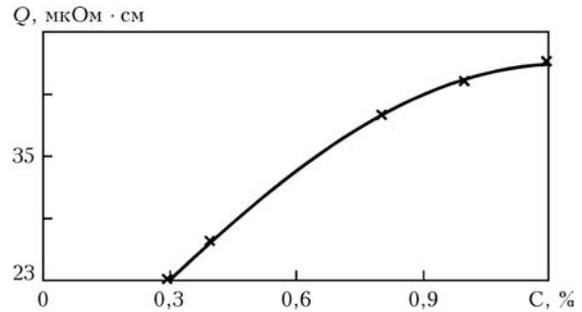


Рис. 3. Зміна електричного опору простих вуглецевих сталей в залежності від вмісту вуглецю після загартування від 850 °С

форму та самоіндукцію зразка, зміну магнітного стану феромагнетиків. На даний час цей метод широкого застосування не знайшов.

Електромагнітний (вихрострумівий) метод базується на аналізі зовнішнього електромагнітного поля з електромагнітним полем вихрострумівих струмів, що наводяться збуджуючою котушкою в електропровідному об'єкті контролю. ЕРС (або опір) вихрострумівого перетворювача (ВСП) залежить від багатьох параметрів об'єкта контролю, тобто інформація є багатопараметровою. Для феромагнітних матеріалів і виробів величина вихрових струмів залежить від трьох параметрів [14]: електропровідності  $\sigma$ , розмірів виробу та магнітної проникності  $\mu$ .

Контроль електропровідності вихрострумівим методом здійснюється за допомогою накладного ВСП (рис. 4) [15].

Основною перевагою вихрострумівого контролю електропровідності є можливість здійснення вимірювання без контакту з об'єктом дослідження. Проте даному методу притаманні суттєві недоліки. З однієї сторони, ВСП дає змогу здійснити багатопараметровий контроль, проте, в той же час, необхідні спеціальні прийоми для розділення інформації про окремі параметри об'єкта. Тому при контролі вихрострумівим методом електропровідності вплив інших параметрів на сигнал ВСП стає на заваді, тому цей вплив необхідно зменшити.

На даний час існує кілька підходів щодо розділення інформації про окремі параметри контролю феромагнітних об'єктів, завдяки яким є змога виділити інформацію, що стосується власне питомої електропровідності [16, 17].

Розглянемо контактні методи вимірювання питомого електричного опору [13]. Мостові методи вимірювання електричного опору широко використовуються як для вимірювання малих, так і для вимірювання великих опорів, які різняться декількома порядками. Розрізняють простий (або одинарний) та подвійний електричні мости. Метод одинарного моста забезпечує задовільну точність при вимірюванні зрізців з відносно великим опором ( $>10$  Ом), оскільки опір контактів і потенціальних струмопідводів до зрізця вносять свій вклад у вимірювану величину. Тому він практично

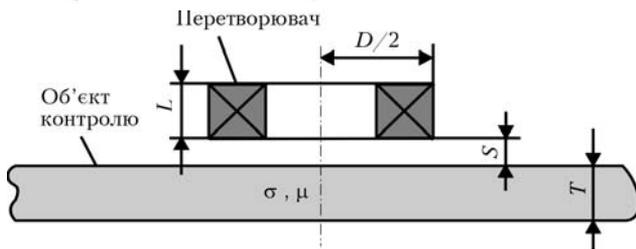


Рис. 4. Контроль електропровідності вихрострумним методом не використовується для вимірювання питомого опору сталей.

За допомогою методу подвійного моста та потенціометричного методу можна з високою точністю вимірювати малі значення опору (від  $1 \cdot 10^{-6}$  до 1 Ом). Дані методи використовують, як правило, для визначення фазового складу металічних сплавів, зразки яких мають низький опір і відповідно невелика його зміна в процесі різних видів обробки.

При чотирьохконтактному електричному методі (метод амперметра-вольтметра) вимірювання питомого опору матеріалу полягає в наступному [18]. До об'єкта контролю приєднують чотири контакти вимірювальної схеми (рис. 5).

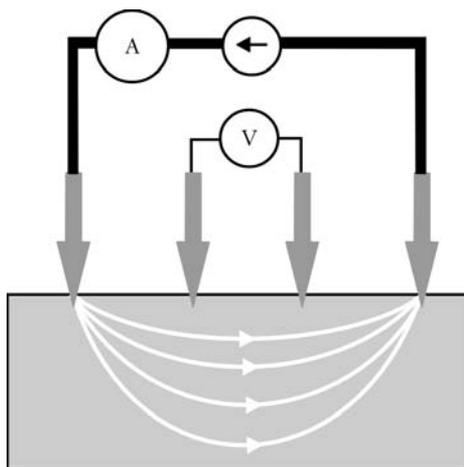


Рис. 5. Чотирьохконтактний метод вимірювання питомого електричного опору

Джерело постійного струму поширює в матеріалі струм  $I$  між двома крайніми контактами, який вимірюється амперметром. Одночасно за допомогою вольтметра вимірюють напругу  $U$  на ділянці досліджуваного матеріалу, що знаходиться між двома внутрішніми контактами.

При цьому величину питомого електричного опору визначають за формулою:

$$\rho = \frac{US}{I l}, \quad (8)$$

де  $U$  – виміряна напруга між двома внутрішніми контактами;  $S$  – площа поперечного перерізу контрольованого матеріалу;  $I$  – сила струму, який протікає в матеріалі;  $l$  – відстань між двома внутрішніми контактами.

Слід зазначити, що вираз для розрахунку питомого електричного опору (6) можна застосовувати тільки в тому випадку, якщо довжина об'єкта значно більша поперечного перерізу. В такому разі постійний струм розтікається по всьому об'єму взірця як в ширину, так і в глибину. В протилежному випадку необхідно вводити поправочний коефіцієнт, який залежить від форми, розмірів об'єкта контролю та взаємного розміщення контактів вимірювальної системи. Крім того, при огляді контактних методів не враховувались значення опору провідників та перехідного опору контактів, які повинні бути якомога меншими.

### Висновки

Зв'язок структурного стану та ФМХ вказує на можливість контролювання міцнісних характеристик (наприклад, межі плинності) з врахуванням типу структури матеріалів металоконструкцій довготривалої експлуатації.

Аналіз методів контролю мікроструктурного стану показав, що в даний час найбільшого поширення набули магнітні методи структуроскопії, особливо контроль по коерцитивній силі [1]. Проте не існує чітких універсальних методик та підходів, покликаних вирішувати завдання структуроскопії з необхідною точністю. В роботі обгрунтовано вибір питомого електричного опору як інформативного параметра контролю структури матеріалів металоконструкцій.

Під час вимірювання питомого електроопору виникають певні труднощі технічного та методичного характеру. Головною проблемою є адаптація технічних засобів, які дають змогу вимірювати питомий електричний опір з необхідною точністю до реальних польових умов. Потенційний інтерес становлять вихрострумні методи вимірювання питомого електричного опору, проте область застосування приладів, що їх реалізують, обмежується здебільшого ферромагнітними металами. Перспективним є чотирьохконтактний метод вимірювання питомого електричного опору, однак при його реалізації необхідно мінімізувати вплив перехідного опору контактів.

З метою адаптації чотирьохконтактного методу вимірювання питомого електричного опору до реальних польових умов необхідно проаналізувати поширення постійного електричного струму в металевих об'єктах з різною формою та розмірами. Треба провести експериментальні дослідження на сталі зразках з метою встановлення величини опору від геометричних параметрів зразків та дослідження перехідного опору контактного з'єднання.

*Дано обоснование путей определения фактических физико-механических свойств с учетом структурного состояния материалов металлоконструкций продолжительной эксплуатации. Обоснован выбор удельного электрического сопро-*



тивления как информативного параметра контроля структуры конструкционных сталей. Проведен анализ методов определения удельного электрического сопротивления сталей.

1. *Буда Г. В., Ничитурук А. П.* Коэрцитиметрия в неразрушающем контроле // Дефектоскопия. — 2000. — № 10. — С. 3–28.
2. *Білокур І. П.* Основи дефектоскопії: Підручник. — Київ: Азимут-Україна, 2004. — 496 с.
3. *Буда Г. В., Камардин В. М.* Физическое обоснование контроля ударной вязкости проката из малоуглеродистых и низколегированных сталей магнитными методами // Дефектоскопия. — 1995. — № 10. — С. 3–31.
4. *Honeycombe R. W. K., Bhadeshia H. K. D. H.* Steels. Microstructure and Properties. — Elsevier Ltd, 2006. — 345 p.
5. *Неразрушающий контроль и диагностика: Справочник / В. В. Клоев, Ф. Р. Соснин, В. Н. Филинов и др. / Под ред. В. В. Клоева.* — М.: Машиностроение, 1995. — 448 с.
6. *Карнаш О. М., Молодецкий И. А., Карнаш М. О.* Обзор методов оценки физико-механических характеристик металлов // Техн. диагностика и неразруш. контроль. — 2004. — № 2. — С. 18–22.
7. *Горкунов Э. С.* Магнитные приборы контроля структуры и механических свойств стальных и чугунных изделий (Обзор) // Дефектоскопия. — 1992. — № 10. — С. 3–36.
8. *Михеев М. Н., Горкунов Э. С.* Магнитные методы структурного анализа и неразрушающего контроля. — М.: Наука, 1993. — 252 с.
9. *Исследование возможности контроля механических свойств труб нефтяного сортамента неразрушающим методом / Е. Ю. Сажина, Н. Д. Почуев, Т. П. Царькова, О. В. Нестерова // Дефектоскопия.* — 1995. — № 2. — С. 82–88.
10. *Карнаш М. О.* Обґрунтування комплексного підходу до визначення фізико-механічних характеристик матеріалу

- металоконструкцій // Методи та прилади контролю якості. — 2004. — № 12. — С. 30–33.
11. *Лившиц Б. Г., Крапошин В. С., Липецкий Я. Л.* Физические свойства металлов и сплавов. — М.: Металлургия, 1980. — 320 с.
12. *Горкунов Э. С.* Взаимосвязь между магнитными, электрическими свойствами и структурным состоянием термически обработанных сталей — основа определения прочностных характеристик изделий неразрушающими методами. Методические рекомендации. — Свердловск: УЦ АН СССР, 1985.
13. *Журавлев Л. Г., Филатов В. И.* Физические методы исследования металлов и сплавов: Уч. пособие для студентов металлургических специальностей. — Челябинск: ЮУрГУ, 2004. — 157 с.
14. *Дорофеев А. Л., Ершов Р. Е.* Физические основы электромагнитной структуроскопии. — Новосибирск: Наука, 1985. — 180 с.
15. *Bowler N., Yongqiang H.* Electrical conductivity measurement of metal plates using broadband eddy-current and four-point methods // Measurement science & technology. — 2005. — 16, № 11. — P. 2193–2200.
16. *Чаплыгин В. И., Шокарев В. С., Мальцева Я. В.* Электромагнитный способ селективного контроля магнитной проницаемости и электропроводности ферромагнитных материалов: Материалы научн.-техн. конф. «Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики промислового обладнання». — Івано-Франківськ, ІФНТУНГ. — 1999. — С. 16–18.
17. *Сандовский В. А., Носальская Н. И.* Об измерении удельной электрической проводимости и магнитной проницаемости с использованием накладных вихретоковых преобразователей // Дефектоскопия. — 1991. — 12. — С. 44–48.
18. *Michael B. Heaney.* The Measurement, Instrumentation and Sensors Handbook, chapter Electrical Conductivity and Electrical Conductivity and Resistivity. — CRC Press LLC, 1999.

Ів.-Франків. нац. техн. ун-т нафти і газу

Надійшла до редакції  
12.07.2008

## КНИГИ И ПЛАКАТЫ ПО ДЕФЕКТΟΣКОПИИ — ПОЧТОЙ

1. *Краткое пособие по контролю качества сварных соединений, 2006 г., 316 с.*
2. *Магнитопорошковый контроль сварных соединений и деталей машин, 2002 г., 300 с*
3. *Ультразвуковой контроль. Дефектоскопы. Нормативные документы. Стандарты по УЗК, 2006 г., 221 с.*
4. *Пособие по радиографии сварных соединений, 2008 г., 312 с.*
5. *Учебно-методические плакаты по неразрушающему контролю*

С целью популяризации достижений в области неразрушающего контроля сварных соединений в Институте электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины разработан **комплект учебно-методических плакатов** по основным методам НК. Они посвящены таким наиболее актуальным задачам современной дефектоскопии: происхождение и обнаружение трещин в сварных швах; обнаружение дефектов в сварных швах изделий из пластмасс; использование УЗ волн дифракции для точного определения размеров трещин (метод TOFD); длинноволновой низкочастотный УЗ контроль протяженных инженерных сооружений; обнаружения растущих дефектов методом акустической эмиссии; компьютерная система цифровой обработки рентгенографических изображений; метод тангенциального просвечивания; технология комплексного НК труб для магистральных газопроводов; магнитометрический метод контроля напряженно-деформированного состояния ферромагнитных объектов; техническое обследование резервуаров трубопроводов нефтепродуктов и других жидкостей; определение размеров и форм несплошностей при УЗ контроле сварных соединений; визуализация массового поражения внутренней (недоступной) части конструкции мелкими дефектами; магнитопорошковая дефектоскопия; бесконтактный электромагнитно-акустический контроль сварных соединений; сравнение видимых, ультразвуковых и инфракрасных изображений для оценки состояния ответственных объектов; основные методы контроля толщины покрытий; вихретоковый контроль, новые технологические возможности; УЗ качества точечной сварки.

Учебно-методические плакаты (18 шт.) рассчитаны на слушателей центров подготовки специалистов и аттестационных центров по НК, а также могут быть использованы в качестве наглядных пособий в лабораториях НК на предприятиях.

По желанию Заказчика плакаты можно выполнить в следующих форматах: А2, А4.  
Стоимость одного комплекта форматом А4 — 150,0 грн., А2 — 750,0 грн. с НДС.

Заявки направлять по адресу: УО НКТД, ул. Боженко, 11, Киев-150, ГСП, 03680 или по факсу: (044) 289-21-66

## ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ УСЛУГ ПРИ МОНТАЖЕ И ДИАГНОСТИКЕ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Ю. К. БОНДАРЕНКО, К. О. АРТЮХ

*Рассмотрены проблемы развития рыночной экономики. Показано, что успешное решение проблемы повышения качества, конкурентоспособности и безопасности сварной конструкции определяется эффективностью системы организации и управления при производстве, монтаже, неразрушающем контроле и ремонте.*

*Problems of development of market economy are considered. It is shown that successful solution of the problem of improvement of the quality, competitiveness and safety of welded structures is determined by the effectiveness of the system of organization and control in fabrication, mounting, NDT and repair.*

В условиях глобального кризиса повышение качества и конкурентоспособности отечественной продукции (услуг) является актуальной проблемой. Низкий уровень качества приводит к снижению доли продукции национального производства на внутреннем и внешнем рынках. В некоторых отраслях экономики, например в энергетике, низкое качество — это опасность для жизни, здоровья и имущества потребителей, опасность для окружающей среды.

Как свидетельствует опыт развития рыночной экономики, успешное решение проблемы повышения качества, конкурентоспособности и безопасности сварной конструкции определяется эффективностью системы организации и управления при производстве, монтаже и ремонте.

Разработка стратегии конкуренции в значительной мере связана с определением широкой формулировки того, каким будет бизнес, какими должны быть цели и какая политика является необходимой для ее достижения.

На рис. 1 показано, что стратегия конкуренции в сварочном производстве является комбинацией конечной цели организации (фирмы) и средств, которыми она стремится достичь эту цель. Представленное «колесо стратегии» определяет ключевые аспекты стратегии конкуренции фирмы. В центре обозначены цели фирмы, которые четко определяют, как хочет конкурировать фирма и каковы ее конкурентные технические, экономические и сверхэкономические цели. «Спицы колеса» — основные оперативные средства для достижения фирмой этих целей. Под каждым заголовком



Рис. 1. «Колесо стратегии» конкуренции [1]

© Ю. К. БОНДАРЕНКО, К. О. АРТЮХ, 2009



Рис. 2. Стратегия конкуренции [1, 6]

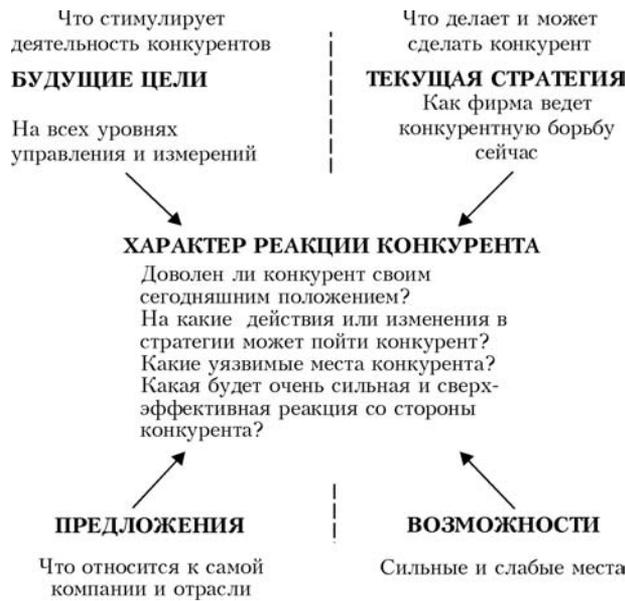


Рис. 3. Компоненты анализа конкуренции [6]

приводят сжатый перечень основных оперативных средств в этой функциональной сфере [6].

На рис. 2 указано, что на высшем уровне формулировки стратегии конкуренции предусмотрены четыре основных фактора, определяющие границы успешной деятельности организации. Сильные и слабые места в фирме — это характер ее активов и опыта по сравнению с конкурентами, включая финансовые ресурсы, компетентность в области НК и ТД, состояние технологических процессов сварки (WPS) (рис. 3). Персональные ценности



Рис. 4. Три общие стратегии конкуренции [5]

организации — это мотивационные установки, требования руководителей и других сотрудников, которые должны внедрять выбранную стратегию и систему управления качеством (ДСТУ ISO 9004-2, ДСТУ ISO 3834). Сильные и слабые места, в соединении с ценностными ориентирами системы управления качеством, определяют внутренние (для фирмы) границы стратегии конкуренции, которые она может успешно взять на вооружение при выполнении технических услуг в области НК и ТД, а также сварки конструкций (при ремонте и монтаже) (рис. 4).

Стандарты серии ДСТУ ISO 3834-2001 «Требования к качеству сварки. Сварка плавлением металлических материалов» конкретизируют требования к системе качества на основе стандартов серии ДСТУ ISO 9000 применительно к сварочному производству. Они обеспечивают систему управления производством критериями оценки средств достижения установленного качества фирмами и организациями, выполняющими сварочно-монтажные и ремонтные работы (услуги).

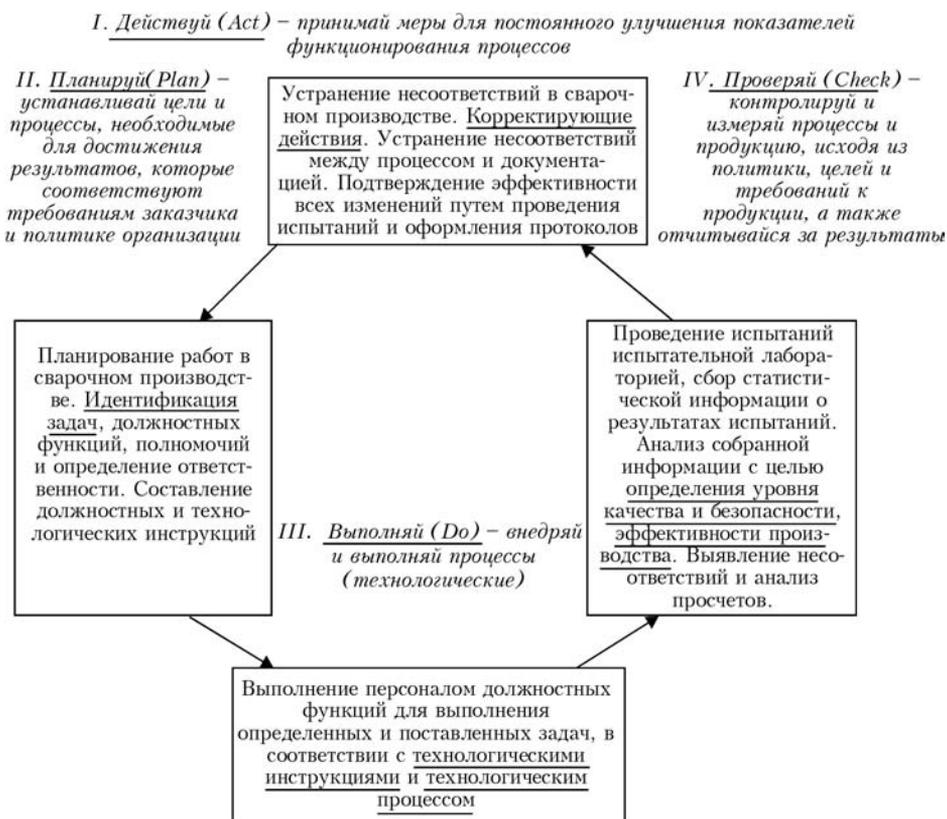


Рис. 5. Алгоритм эффективной координации сварочных работ согласно ISO 14731:1997 и ДСТУ ISO 9000-2001 [3]

Т а б л и ц а 1. Система анализа конкурентов

Характеристики процесса	Анализ конкурентов	Бенчмаркинг
Общая цель	Анализ стратегии конкурентов по НК и ТД, сварке	Анализ того, почему и насколько хорошо работают конкуренты или лидирующие предприятия-подразделения по НК и ТД, сварке
Предмет изучения	Стратегии конкурентов	Методы ведения бизнеса, которые удовлетворяют потребностям потребителей
Объект изучения	Товары и рынки	Методика, процессы ведения технических услуг
Основные ограничения	Деятельность на рынке технических услуг	Неограниченный диапазон
Значения для принятия решения	Определенные	Очень большие
Основные источники информации	Отраслевые эксперты и аналитики	Предприятия – лидеры в области, вне области, конкуренты, внутренние подразделения и т. д.

Выполнение требований стандартов серии ДСТУ ISO 9004-2 и ДСТУ ISO 3834 в сварочном производстве невозможно без подтверждения соответствия производства требованиям стандарта ISO 14731:1997 (EN 719:1994) «Координация сварочных работ. Задачи и ответственность». Этот стандарт конкретизирует требования к координации сварочных работ и содержит рекомендации по выполнению этих требований.

Согласно ISO 14731:1997 задачи и ответственность персонала, деятельность которого относится к сварке и контролю (включая планирование, руководство, надзор и контроль) должны быть ясно определены [3].

Главной проблемой при построении системы управления качеством является определение задач и ответственности, которые направлены на обеспечение качества конструкции (услуг). Поэтому они

включаются в координацию производственной деятельности, связанной со сваркой и контролем.

Требования к координации сварочных работ могут устанавливаться изготовителем, по контракту или стандартом на продукцию при изготовлении или сборке ответственных конструкций.

При этом вводится термин персонал для координации сварочных работ (персонал, который отвечает за производственные операции по сварке, НК и ТД, деятельность, связанную со сваркой, компетентность и знания которого подтверждены обучением, образованием или соответствующим производственным опытом и аттестацией) [3].

Систему, показанную на рис. 5, можно использовать как руководство по распределению задач и ответственности между персоналом, координирующим сварочные работы, НК и ТД. Она может быть дополнена при наличии в контракте специальных

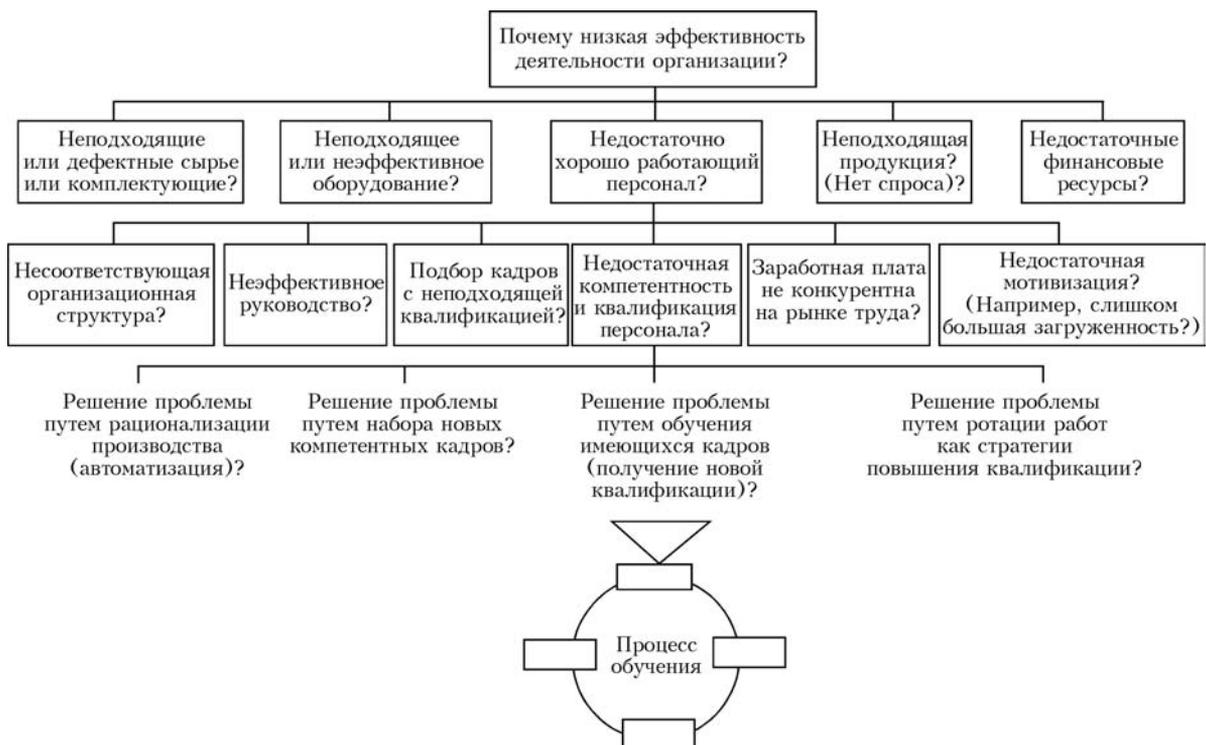


Рис. 6. Дерево решений, отвечающее на вопрос: «Зачем нужно обучение?» (пояснение к рис. 4 стандарта ИСО 10015:1999 [2])

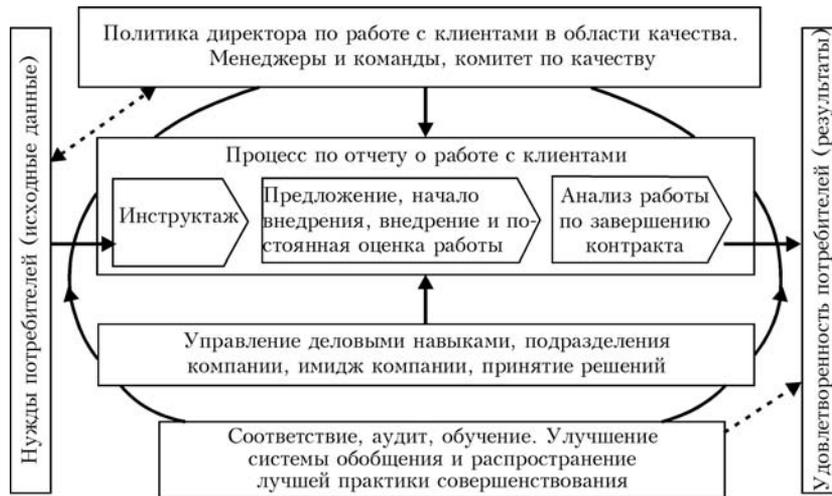


Рис. 7. Система менеджмента качества на основе ИСО 9001:2000

требований заказчика. Изготовитель должен назначить приказом по меньшей мере одного ответственного координатора сварочных работ и контроля с правом подписи специальных, технологических документов. По всем определенным задачам персонал, координирующий сварочные работы и контроль, должен иметь соответствующие технические знания, которые достаточны для удовлетворительного выполнения своих функций, и быть аттестованным. Объем требуемого производственного опыта, образования и технических знаний должен быть установлен специализированной организацией и зависеть от конкретных задач и ответственности специалистов (рис. 6).

Одним из наиболее эффективных инструментов, который дает возможность предприятию постоянно наращивать производительность, улучшать качество своей работы, быть впереди конкурентов, является бенчмаркинг на основе требований стандартов [2] (табл. 1).

Понятие «бенчмаркинг» впервые появилось в 1972 г. в Институте стратегического планирования Кембриджа во время исследовательской деятель-

ности консалтинговой группы PIMS. Тогда был сформулирован основной принцип бенчмаркинга: «для того, чтобы найти эффективное решение в сфере конкуренции, необходимо знать лучший опыт других предприятий, которые достигли успеха в подобных условиях».

Бенчмаркинг может показаться похожим на анализ конкурентов, хотя на самом деле он является более детализированным, формализованным и упорядоченным, чем подход при анализе конкурентов. Суть сегодняшнего трактования бенчмаркинга «непрерывный систематический поиск и внедрение наилучших практик, которые приведут организацию к более совершенной форме».

Каких результатов может ожидать организация, которая приняла решение об использовании бенчмаркингвого подхода в сварочном производстве? Прежде всего организация будет точно знать что она делает и насколько хорошо она это делает. Бенчмаркингвый подход дает организации возможность позаимствовать лучший опыт других компаний. Культура технических услуг и компетентности в организации должна быть ориентиро-

Таблица 2. Основные характеристики общих стратегий при предоставлении технических услуг, ориентированные на высокую конкуренцию (рис. 4)

Общая стратегия	Необходимые навыки и ресурсы	Общие организационные требования
Минимальные совокупные затраты	Необходимые капитальные инвестиции и доступ к капиталу. Навыки в производственном процессе. Интенсивный контроль во время работы	Суровый контроль за тратами. Регулярные, детальные отчеты последствий контроля. Стимулы, которые основываются на соблюдении четких количественных целей
Дифференциация	Сильные маркетинговые возможности. Проект услуг. Творческие способности. Большие возможности в сфере фундаментальных исследований. Корпоративная <u>репутация высокого качества</u> или технологического лидерства. Долгосрочные традиции в области или уникальная комбинация умений, взятых в других сферах бизнеса. Надежное сотрудничество в каналах распределения	Четкая координация функций в исследовательско-конструкторской работе, создание продукции и маркетинга. Субъективные критерии и стимулы вместо количественных показателей. Склонность привлекать высококвалифицированный персонал, ученых или творческих личностей
Сосредоточенность	Комбинация вышеприведенных политик, направлена на получение конкретной стратегической цели — конкурентоспособность	Комбинация вышеприведенных политик, направлена на получение конкретной стратегической цели — конкурентоспособность

вана на такие ценности, как способность персонала к обучению, повышение собственного потенциала, который, в свою очередь, служит толчком для совершенствования организации. В итоге компания сможет укрепить свою конкурентную позицию, а также достичь повышения степени удовлетворенности потребителей после сварки, НК и ТД конструкций (рис. 7).

В соответствии с законом конкуренции в мире происходит объективный процесс повышения качес-

тва технических услуг и снижение их удельной цены. Конкуренция способствует «вымыванию» с рынка некачественных, дорогих технических услуг.

Существует три подхода к определению конкуренции. Первый определяет конкуренцию как состязательность на рынке технических услуг. Второй рассматривает конкуренцию как элемент рыночного механизма, который позволяет уравновесить спрос и предложение. Третий подход определяет

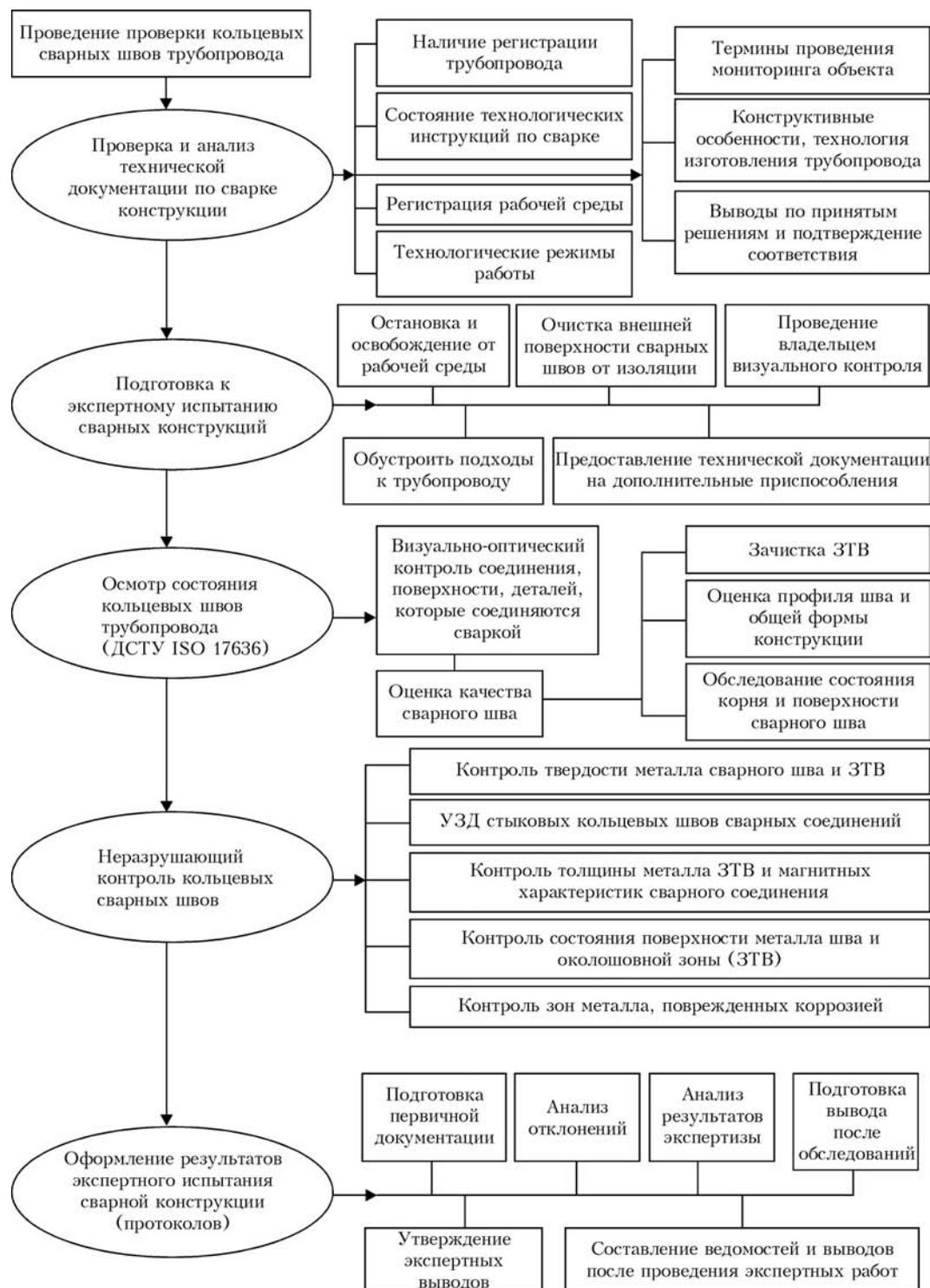


Рис. 8. Алгоритм НК и измерений твердости сварных соединений нефтегазовых труб во время эксплуатации [1, 6]



Рис. 9. Совместная с координатором сварочных работ подготовка образца сварного соединения для испытания технологического процесса по ДСТУ 3951.3–2001

конкуренцию как критерий, по которому определяют тип отраслевого рынка.

Первый подход наиболее распространенный и основывается на повседневном понимании конкуренции как соперничества за достижение лучших результатов на рынке технических услуг при монтаже и НК, ТД.

Основой конкурентоспособности является качество технических услуг. Кроме качества в понятие конкурентоспособность входит цена, сроки выполнения работ, гарантии, сервисное обслуживание и ряд других слагаемых. Но при этом качество услуг является определяющим при выборе потребителем нужной ему технической услуги.

Нельзя рассчитывать на стабильное обеспечение качества технических услуг без внедрения системы менеджмента качества, отвечающей уровню организационных работ в области сварки, НК и диагностики в соответствии со стандартами ДСТУ ISO 9004-2, ДСТУ ISO 3834, ДСТУ ISO 14731 [5] и обучения руководителей высшего звена мировому опыту совершенствования.

Умелое внедрение трех общих стратегий требует разных ресурсов и навыков. Общие стратегии также предусматривают разные организационные мероприятия, процедуры контроля и системы измерений, поэтому для достижения успеха необходимо придерживаться одной из этих стратегий как первоочередной цели. Ниже приведены некоторые распространенные характеристики общих стратегий (табл. 2) и рис. 4.

По результатам опроса, проведенного ведущими школами бизнеса, было выяснено, что наиболее



Рис. 10. Передача координатором-дефектоскопистом опыта и знаний молодым специалистам в области сварки и неразрушающего контроля

эффективным источником получения ценных идей и знаний руководители компаний считают беседы с коллегами и знакомство с опытом других организаций. Опора на отработанный и проверенный практикой опыт оказывает содействие снижению риска эксплуатации сварных конструкций, позволяет избежать ошибки, сократить временные и финансовые затраты, связанные с приобретением собственного опыта путем проведения экспериментов и испытаний [4].

Для эффективного контроля сварных конструкций необходимо придерживаться системы контроля, охватывающей оценки всех работ, материалов и оборудования, которые используются для выполнения технологических процессов.

Контроль изготовления сварных конструкций на всех стадиях изготовления сведен к: входному, операционному, лабораторному, приемно-сдаточному и применяется по схеме (рис. 8) [5].

Например, система контроля качества сварки магистральных трубопроводов состоит из процессов контроля поворотных и неповоротных стыков [1].

Интеллектуальный и эмоциональный капитал — вещи тесно связанные. М-р Томас Стюарт в своей книге говорит о существовании трех типов интеллектуального капитала: «человеческом капитале»; «структурном капитале»; «потребительском капитале».

«Человеческий капитал» — это единая концепция, описывающая два феномена: что думаем и что чувствуем. Оба эти феномена нуждаются в определении и оценке с точки зрения прибавочной стоимости, которую приносят организация (фирма).

Интеллектуальный капитал состоит из времени, денег, тренинга, баз данных, учебников, формул, процессов, политик, процедур и т. п., всего того, что организация вкладывает в разработку информации и преобразование этой информации в знание персонала [3].

Информация или данные содержатся в печатных материалах, персональных компьютерах. Знание персонала используют, чтобы наращивать или создавать богатство (рис. 6, 9).

Информация без знания бессмысленна. Информация становится полезной, когда она трансфор-

мируется (через понимание и интеграцию с человеческим опытом) в знание и затем используется с целью извлечения ряда преимуществ для бизнеса. Именно этот процесс и отличает чистую информацию от интеллектуального капитала.

Знания — жизненно важная часть того, как видит себя в будущем фирма. Поэтому они должны формировать соответствующую часть ее стоимости (рис. 10) за счет стоимости экспертов.

Информация полезна, но жизненно важную роль играют знания. Именно знание используется для того, чтобы повысить стоимость делового предприятия как исполнителя технических услуг.

Это еще раз доказывает, что именно знания в области сварки, НК и ТД должны использоваться, чтобы повысить ценность предприятия и для повышения шансов выжить при глобальном экономическом кризисе. А знание, таящееся в людских головах, ценно только тогда, когда персонал хочет его использовать. Все это очевидно для оказания технических услуг и усовершенствования предприятий.

Однако теоретики менеджмента сделали некоторые потрясающие допущения. Считалось, что управление информацией и знанием основано на функциях и бизнес-процессах, а не на мотивации людей, управлении их страстями и стремлениями.

## Выводы

1. Диагностирование целей конкурентов, а также способа достижения ими этих целей, т. е. первый компонент анализа конкуренции) является важным по многим причинам. Знание целей позволит предусмотреть удовлетворенность или неудовлетворенность каждого конкурента своим положением и результатами финансовой деятельности, а также насколько вероятной является перемена конкурентом своей стратегии и сил реакции на внешние факторы (например, деловой цикл) и на действие других фирм в области технических услуг в условиях экономического кризиса.

2. Знание целей конкурента поможет предусмотреть его реакцию на изменения стратегии. Некоторые стратегические изменения будут угрожать конкуренту больше, чем другие, при наличии целей корпоративного руководства и давления с его стороны. Такая степень угрозы влияет на вероятность отпора. Диагностирование целей конкурента помогает интерпретировать серьезность инициатив последнего. Стратегический ход конкурента, который преследует одну из своих главных целей или стремление восстановить движение к

ключевой цели, не случайный. Также диагностирование его целей поможет определить, серьезно ли корпоративное руководство поддерживает инициативу одного из производственных подразделений, или вернет обратный удар этого подразделения против действий конкурентов в области технических услуг.

3. Внимание фирм наиболее часто направлено на финансовые цели, однако общее диагностирование целей конкурента, как правило, включает значительно больше качественных факторов, например, цели в показателях рыночного лидерства, технологическое состояние, социальная деятельность и т. д. Диагностирование целей необходимо также проводить на многих уровнях руководства. Существуют цели корпоративного масштаба, цели производственного подразделения, также цели, которые невозможно сформулировать для отдельных функциональных сфер и ведущих менеджеров. Цели высших уровней играют определенную роль в формировании целей нижних подразделений, однако не определяют их в полном объеме для достижения успеха на рынке технических услуг при монтаже и диагностике сварных конструкций.

4. Нельзя рассчитывать на стабильное обеспечение качества технических услуг без внедрения системы менеджмента качества, отвечающей современному уровню организационных работ в области сварки и диагностики в соответствии со стандартами ДСТУ ISO 9004-2, ДСТУ ISO 3834, ДСТУ ISO 14731, без создания механизмов мотивации организаций к непрерывному совершенствованию качества услуг.

1. *Портер М. Е.* Стратегія конкуренції / Пер. з англ. А. Олійник, Р. Сільський. — Київ: Основи, 1997. — 390 с.
2. *Бондаренко Ю. К., Артюх К. О.* Проблемы применения стандартов в области надежности, безопасности и риска при эксплуатации сварных конструкций с целью улучшения управления качеством в сварочном производстве // Техн. диагностика и неразруш. контроль. — 2008. — № 2. — С. 55–61.
3. *Лобанов Л., Бондаренко Ю., Ярцев А.* Зварювальне виробництво. Оцінювання відповідності процесів і персоналу // Стандартизація, сертифікація, якість. — 2008. — № 2. — С. 23–28.
4. *Бондаренко Ю. К., Радченко М. Л.* Проблемы обеспечения качества экспертных систем для оценки сварных конструкций на основе стандартов и технических требований // Науково-технічний вісник УкрНДНЦ. — 2007. — № 5. — С. 108–114.
5. *Бондаренко Ю. К., Радченко М. Л.* Мониторинг процесса измерений при неразрушающем контроле и технической диагностике для оценки соответствия сварных конструкций после длительной эксплуатации (Обзор) // Там же. — 2007. — № 5. — С. 117–127.
6. *Бондаренко Ю. К., Артюх К. О.* Проблемы обеспечения конкурентоспособности технических услуг при монтаже и диагностике сварных конструкций: Матер. XVI Междунар. конф. «Современные методы и средства НК и ТД». — 1–5 окт. 2008. — С. 36–43.

*Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины,  
НТЦ «СЕПРОЗ» НАН Украины,  
Киев*

*Поступила в редакцию  
28.10.2008*

## КОНТРОЛЬ УСТАЛОСТИ МЕТАЛЛА НЕРАЗРУШАЮЩИМ МАГНИТНЫМ (КОЭРЦИТИМЕТРИЧЕСКИМ) МЕТОДОМ КАК ОБЪЕКТИВНАЯ ПЕРВООСНОВА ДИАГНОСТИКИ ОБОРУДОВАНИЯ И КОНСТРУКЦИЙ

**Г. Я. БЕЗЛЮДЬКО, Е. И. ЕЛКИНА, Р. Н. СОЛОМАХА**  
НПФ «Специальные Научные Разработки», Харьков, Украина

*Коэрцитиметрия локализует зоны концентрации напряжений, контролирует накопление усталостных изменений металла еще на микроуровне, указывает начало процесса интенсивного образования макродефектов, уже «видимых» дефектоскопией. Тем самым коэрцитиметрия концентрирует усилия дефектоскопистов в нужном месте и в нужное время, снижая расходы на диагностику и повышая ее достоверность. Реальный ресурсный (усталостный) потенциал металла при этом выражается в четких числовых критериях, избавляя экспертизу от тенденциозности и субъективизма.*

Большинства разрушений и аварий конструкций или узлов оборудования можно избежать, если в процессе эксплуатации контролировать степень усталости металла. В действительности современная диагностика усталостный контроль металла если и выполняет, то делает это декларативно. Практического инструмента неразрушающего контроля степени накопленной усталости металла до недавних пор просто не существовало. Разве что для каких-то особых объектов используют специализированные методы и системы, впрочем никак не пригодные для массовой и рядовой экспертизы. Поэтому сегодня диагностика металлоконструкций и оборудования в основной своей массе вынужденно строится на понятиях и критериях дефектности металла, чтобы иметь хоть какие-то, пусть и очень косвенные, оценки текущего состояния.

Не последнее значение в сложившемся состоянии имеет и тот факт, что в экспертизе методы и приборы дефектоскопии оказались эволюционно наиболее развиты, причем уже много лет. А непосредственно усталостное состояние никак не контролируется и оценивается простым сравнением отработанного срока службы изделия с расчетным предельным. При этом итоговая оценка «годности-негодности» диагностируемого металла строится по большей части на «наличии-отсутствии» в нем дефектов, количестве этих дефектов, их размерах, а также скорости роста их количества и размеров.



Однако, не всякий дефект металла, выявленный в работающем узле, реально влияет на его работоспособность. На дефектности вообще недопустимо строить прогноз работоспособности, когда появление дефекта ведет к немедленному лавиноподобному разрушению металла. Здесь принципиально нельзя в основу диагностического прогноза работоспособности закладывать дефектоскопические критерии. И контроль текущего усталостного состояния металла в таких случаях, по сути, ничем иным заменен быть не может. Используемые в таких случаях подмены, вроде уточняющего расчета прочности как основной компоненты оценки усталости в выполняемой экспертизе — неполноценны.

Они представляют собой вынужденный и далекий от совершенства компромиссный вариант того, что здесь в действительности должно быть — инструментальный метод оценки усталостного состояния металла без нарушения целостности диагностируемого объекта, с оценкой состояния контролируемой области во взаимодействии и перераспределении ее нагрузок с окружающими данную зону контроля соседними областями, звеньями или частями диагностируемой конструкции. И с позиций сегодняшнего дня даже при самом придирчивом анализе трудно представить здесь решения, которые были бы лучше, чем полученные нами на основе коэрцитиметрии.

Коэрцитиметрический метод прост в пользовании и при этом эффективен везде, где используют металлоконструкции и оборудование, изготовленные из ферромагнитных марок металла и работающие в режиме статического нагружения или малоциклового усталости (что составляет



Если причина этих и подобных разрушений — усталость металла — их легко предотвратить, используя коэрцитиметрию при эксплуатационном контроле текущего состояния



около 90 % всего работающего парка). Особенно эффективен мониторинг сварных соединений этим методом.

Не менее успешно контролируются несущие конструкции мостов, кранов, фермы перекрытий, узлы энергетического оборудования атомных, тепловых и гидроэлектростанций, трубопроводы всех типов, тросы кранов, канатные дороги и переходов, железнодорожные колеса и рельсы, болтовые и заклепочные соединения, оболочки сосудов давления, прокатные валки листовых и сортовых станков и т. д. Везде, где работает металл, имеют место общие законы развития и накопления усталостных изменений. Коэрцитиметрия эти процессы одинаково успешно контролирует, независимо от отрасли применения. Покажется необычным, но грамотное ведение дополнительного метода — коэрцитиметрии — в итоге удешевляет диагностику, так как снижает общие объемы контроля металла и при этом повышает надежность работы оборудования за счет концентрации контроля там, где это действительно необходимо — в зонах повышенной усталости. При этом те области, в которых по данным коэрцитиметрии нет признаков усталостной деградации металла, как правило, в дефектоскопии не нуждаются, а это самый дорогой вид контроля. Несмотря на закончившийся нормативный срок службы, коэрцитиметрия обоснованно продлевает ресурс оборудования, если металл находится в еще работоспособном состоянии. В то же время коэрцитиметрия своевременно прекратит работу оборудования по недопустимым усталостным показателям металла даже если его нормативный ресурс будет далек от истечения.

Прирост величины коэрцитивной силы  $H_C$  при нагружении металла от исходного состояния поставки  $H_{C_0}$  и до состояния разрушения  $H_C^B$  составляет 100...400 % в зависимости от марки конструкционной стали! Величина  $H_{C_{\text{текущ}}}$  очень точно определяет отработанный ресурс по разнице  $H_{C_{\text{текущ}}} - H_{C_0} = R_{\text{отраб}}$ , а величина  $H_C^B - H_{C_{\text{текущ}}} = R_{\text{остат}}$  объективно характеризует оставшийся ресурс. В плане чувствительности к изменениям в металле по мере развития и накопления в нем усталостных изменений магнитная характеристика — коэрцитивная сила — оказалась беспрецедентно эффективной. Этот природный физический потенциал удалось подкрепить столь же эффективной приборной реализацией в виде магнитного структуросопа-коэрцитиметра **КРМ-Ц-К2М** — легкого, компактного, с автономным питанием, не нуждающегося в контактной жидкости и специальной подготовке поверхности, работающего через слой краски и другой защитный слой толщиной до 2...3 мм и вне зависимости от кривизны поверхности контроля. С помощью коэрцитиметрии удалось такую абстрактную характеристику, как усталость металла, выразить в конкретных числовых значениях. Поэтому ведение систематического коэрцитиметрического контроля в течение всего срока службы



изделия превращает диагностику усталости в документируемую строгую и ответственную процедуру, лишенную даже оттенка субъективизма. Контроль может быть реализован как в ручном виде, так и в варианте стационарных систем (например, для кожуха доменной печи).

Двадцатилетняя практика убедительно свидетельствует, что диагностика объекта должна начинаться именно с обзорной коэрцитиметрии. При этом быстро и без особых затрат можно получить общее представление об усталостном состоянии металла. После этого применение дефектоскопии целесообразно только в тех областях, где коэрцитиметрия показывает недопустимый уровень усталостной деградации металла. В других зонах усталостных дефектов просто нет, там могут быть только дефекты металлургического, не влияющие на прочностные характеристики.

Очень эффективно в ряде случаев сочетание коэрцитиметрии с толщинометрией, особенно выполняемой нашими бесконтактными электромагнитоакустическими толщиномерами **УТ-04 ЭМА (Дельта)**, к тому же у этих толщиномеров самая низкая себестоимость одной точки замера толщины. Практика показала, что не надо вводить ограничение режима работы оборудования, если утонение металла не сопровождается завышенными значениями величины  $H_C$  в этих областях. И наоборот, при нормальных показаниях толщиномера, но «плохих» показаниях коэрцитиметра эксплуатацию следует несомненно приостанавливать. Такой двухпараметрический контроль повышает достоверность суммарной диагностической оценки.



На основе коэрцитиметрии основным содержанием экспертизы промышленной безопасности вместо поиска дефектов действительно становится недопущение аварий и разрушений при максимально полном использовании ресурса металлопродукции (см. рекламу на 3-й с. обложки).

Украина, г. Харьков, ул. Светлая, д. 10, кв. 16.  
Тел./факс: 38 (057) 738-32-06, тел.: 38 (057) 771-65-91  
E-mail: bezlyudko@yahoo.com, itl913@online.com.ua  
www.snr-ndt.com.ua  
Тел. в Москве: 7 (499) 502-93-91



## 90 ЛЕТ НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК УКРАИНЫ (О юбилейной сессии Общего собрания НАН Украины)

1 декабря 2008 г. в Киеве в Национальном дворце культуры и искусств «Украина» состоялась юбилейная сессия Общего собрания Национальной академии наук Украины, посвященная 90-летию ее основания.

Среди высокопоставленных гостей в работе сессии приняли участие Президент Украины В. А. Ющенко, Премьер-министр Украины Ю. В. Тимошенко, министр образования и науки Украины И. О. Вакарчук, глава Комитета Верховной Рады Украины по вопросам науки и образования В. И. Полохало, президенты государственных отраслевых академий наук и ректоры ведущих университетов. На сессии также присутствовали многочисленные делегации иностранных академий наук, ведущих зарубежных научных центров и университетов, а именно: Российской АН, НАН Беларуси, АН Республики Молдова, НАН Грузии, НАН Армении, НАН Азербайджана, НАН Казахстана, АН Эстонии, Академий наук и искусств Черногории и Македонии, Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова и других.

Открыл юбилейную сессию Общего собрания Президент Национальной академии наук Украины академик Б. Е. Патон, который отметил, что академия прошла большой путь, внесла весомый вклад в развитие отечественной и мировой науки, стала одним из крупнейших научных центров Европы и мира.

Президент Украины В. А. Ющенко в своей приветственной речи подчеркнул, что Национальная академия является одним из крупнейших европейских и мировых научных центров. На важных поворотах истории Национальная академия всегда выступала как мощный духовный центр нации.

Президент обратил особое внимание на роль развития науки в нынешнее время. По его словам, главная задача, которая стоит перед наукой и властью, — обеспечить успешный переход Украины к информационному этапу развития. Президент подчеркнул необходимость повышения престижа научной деятельности и статуса научного работника. «Необходимо усилить престиж научной деятель-

ности, остановить отток научных работников из Украины и обеспечить в ближайший период значительное пополнение научной сферы талантливой молодежью», — подчеркнул глава государства. В. А. Ющенко высказал уверенность в успешном дальнейшем развитии украинской науки, а также в том, что Национальная академия с ее богатыми традициями и огромным творческим потенциалом сможет достойно ответить на вызовы времени.

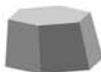
По случаю юбилея В. А. Ющенко вручил государственные отличия ряду выдающихся ученых НАН Украины, в частности, академик Б. Е. Патон удостоен ордена Князя Ярослава Мудрого.

«Я искренне признателен каждому из вас за самоотверженную плодотворную работу, за достойный вклад в развитие независимой Украины. Государство гордится вами и высоко ценит ваши усилия», — сказал В. А. Ющенко.

Со словами приветствия выступили Премьер-министр Украины Ю. В. Тимошенко, президенты Российской Академии наук (Ю. С. Осипов), Азербайджана (М. К. Каримов), Грузии (Т. В. Гамкрелидзе), Казахстана (М. Ж. Жүринов); президент Евразийской ассоциации университетов, ректор Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова В. А. Садовничий, вице-президент Российской академии наук, лауреат Нобелевской премии Ж. И. Алферов, ректор Харьковского национального университета им. В. Н. Каразина В. С. Бакиров.

Президент РАН Ю. С. Осипов огласил указ Президента Российской Федерации Дмитрия Медведева о награждении Б. Е. Патона орденом «За заслуги перед Отчизной» I степени. Президент Национальной академии наук Украины также был удостоен государственных наград ряда других стран.

В конце торжественного заседания Б. Е. Патон искренне поблагодарил всех, кто принял участие в юбилейной сессии Общего собрания НАН Украины, которая стала настоящим праздником науки.



## НАШИ ПОЗДРАВЛЕНИЯ!



ТРОИЦКИЙ В. А.



ПРИТУЛА С. И.



МАЗУР А. А.



НАЙДА В. Л.

Коллектив Института электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, редколлегия и редакция журнала «Техническая диагностика и неразрушающий контроль» горячо и сердечно поздравляют заведующего отделом, доктора технических наук, профессора, председателя Украинского общества «Неразрушающий контроль и техническая диагностика» **Владимира Александровича Троицкого**, директора ГП «ОКТБ» ИЭС им. Е. О. Патона **Притулу Сергея Ивановича**, ведущего научного сотрудника ИЭС им. Е. О. Патона, кандидата экономических наук **Мазура Александра Анатольевича** с присвоением им соответственно почетных званий «Заслуженный деятель науки и техники Украины», «Заслуженный машиностроитель Украины», «Заслуженный экономист Украины» и начальника отдела ГП «ОКТБ» ИЭС им. Е. О. Патона **Найду Владимира Львовича** с награждением его орденом «За заслуги» III степени.

## УКАЗ ПРЕЗИДЕНТА УКРАИНЫ

О награждении государственными наградами Украины  
работников учреждений Национальной академии наук Украины

За выдающиеся личные заслуги в развитии отечественной науки, укреплении научно-технического потенциала Украинского государства и по случаю 90-летия Национальной академии наук Украины постановляю:

### Присвоить почетные звания:

«ЗАСЛУЖЕННЫЙ ДЕЯТЕЛЬ НАУКИ И ТЕХНИКИ УКРАИНЫ»

**ТРОИЦКОМУ Владимиру Александровичу** — заведующему отделом Института электросварки им. Е. О. Патона, доктору технических наук, профессору, г. Киев

«ЗАСЛУЖЕННЫЙ МАШИНОСТРОИТЕЛЬ УКРАИНЫ»

**ПРИТУЛЕ Сергею Ивановичу** — директору Государственного предприятия «Опытное конструкторско-технологическое бюро Института электросварки им. Е. О. Патона», г. Киев

«ЗАСЛУЖЕННЫЙ ЭКОНОМИСТ УКРАИНЫ»

**МАЗУРУ Александру Анатольевичу** — ведущему научному сотруднику Института электросварки им. Е. О. Патона, кандидату экономических наук, г. Киев

Наградить орденом «За заслуги» III степени

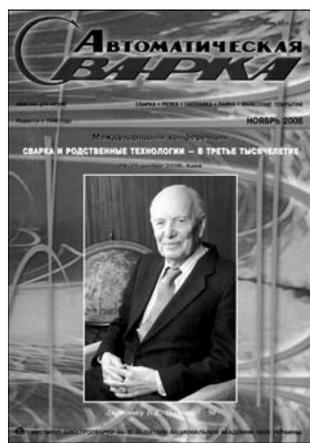
**НАЙДУ Владимира Львовича** — начальника отдела Государственного предприятия «Опытное конструкторско-технологическое бюро Института электросварки им. Е. О. Патона», г. Киев.

Президент Украины В. Ющенко  
г. Киев 27 ноября 2008 г.  
№ 1113/2008

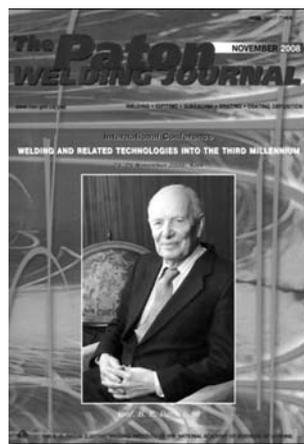
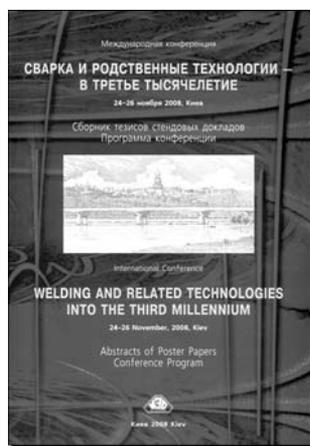


## МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «СВАРКА И РОДСТВЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ – В ТРЕТЬЕ ТЫСЯЧЕЛЕТИЕ»

24–26 ноября в Киеве в Институте электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины прошла представительная Международная конференция «Сварка и родственные технологии – в третье тысячелетие», организованная Национальной академией наук Украины, Институтом электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, Межгосударственным научным советом по сварке и родственным



технологиям и Международной ассоциацией «Сварка» (МАС). В ней приняли участие представители академических и отраслевых НИИ, научных, проектно-конструкторских и инженерных центров, промыш-



ленных предприятий и учебных университетов, руководители и менеджеры бизнес-структур и др. Кроме сотрудников ИЭС им. Е. О. Патона, в кон-

ференции участвовали свыше 160 представителей из стран дальнего (Австрия, Австралия, Болгария, Бразилия, Германия, Испания, Канада, КНР, Македония, Польша, Румыния, Словакия, США, Франция, Швейцария, Япония) и ближнего зарубежья (Беларусь, Грузия, Россия, Казахстан).

Программа конференции включала в первый день ознакомление ее участников со стендовыми докладами (211 докладов) по пяти разделам:

- технологии, материалы, оборудование для сварки, пайки, наплавки и резки (90 докладов);
- прочность, неразрушающий контроль, ресурс сварных соединений и конструкций (76 докладов);

- математические методы моделирования сварочных процессов (11 докладов);
- технологии, материалы и оборудование для нанесения покрытий (17 докладов);
- специальная электрометаллургия (17 докладов).

Ознакомление со стендовыми докладами проходило в просторном зале научно-технической библиотеки ИЭС им. Е. О. Патона и сопровождалось оживленными дискуссиями.

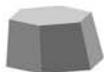
Во второй и третий день конференции был заслушан 31 пленарный доклад известных ученых и специалистов по актуальным проблемам сварки и родственных технологий. Среди докладчиков академики Б. Е. Патон, С. И. Кучук-Яценко, И. К. Походня, Л. М. Лобанов, Б. А. Мовчан, К. А. Ющенко, В. В. Панасюк (Украина), И. В. Горынин, Н. П. Алешин, Е. Н. Каблов, Ю. В. Цветков (Россия), видные ученые и специалисты из Австралии, Германии, Японии, Китая, Польши, Бразилии, Румынии, Болгарии, Австрии.

Пленарные доклады были опубликованы в текущих номерах журналов «Автоматическая сварка» (русский язык) и «The Paton Welding Journal» (английский язык), а тезисы стендовых докладов были изданы в виде отдельного сборника «Сварка и родственные технологии – в третье тысячелетие».

24 ноября состоялось заседание бюро Межгосударственного научного совета по сварке и родственным технологиям. В работе приняли участие представители Республики Беларусь, Республики Грузия, Республики Казахстан, Российской Федерации и Украины. На заседании бюро был приглашен председатель Международного органа по аккредитации Международного института сварки и Европейской сварочной федерации господин Г. Хернандес (Испания). Основное внимание было уделено вопросам стандартизации в области сварки и организации работ по системе управления качеством в сварочном производстве. Рассмотрены также некоторые организационные вопросы.

В результате всестороннего обсуждения рассматриваемых проблем бюро единогласно приняло, в частности, следующие решения:

- 1) признать целесообразным создание рабочей группы МТК-72 по подготовке единого каталога терминов и обозначений в сварочном производстве на русском, украинском и английском языках. Сторонам-участницам соглашения о научно-техническом сотрудничестве подготовить предложения по персональному составу от своей страны;



2) рекомендовать на базе Уполномоченного национального органа по сертификации сварочных производств «ПАТОНСЕРТ» создать методический центр по разработке документации на сертификацию сварочных производств в соответствии с требованиями серии стандартов ISO 3834, включив в его состав представителей Республики Беларусь, Российской Федерации, Украины и других стран-участниц соглашения о научно-техническом сотрудничестве;

3) рекомендовать сторонам-участникам соглашения о научно-техническом сотрудничестве создать национальные центры по сертификации сварочных производств, действующих от имени Уполномоченного национального органа по сертификации «ПАТОНСЕРТ» согласно системе сертификации фирм EWF IS03834.

Члены бюро Межгосударственного Научного совета по сварке и родственным технологиям выразили взаимную заинтересованность в развитии всесторонних связей ученых и специалистов сотрудничающих стран.

В период работы конференции 24 и 25 ноября проведены заседания Совета Международной ассоциации «Сварка», в которых приняли участие представители ИЭС им. Е. О. Патона, Мариупольского ГТУ (Украина), Волгоградского ГТУ (Россия), Института сварки в Гливицах (Польша), Института сварки «ЮГ» (Македония), КЗУ Холдинг Груп (Болгария), Общества сварщиков Грузии.

Дирекция МАС предоставила отчет о проделанной работе за 2006–2008 гг., выделив основные направления деятельности МАС, которые выполнялись в тесном сотрудничестве с ИЭС им. Е. О. Патона: электрическая сварка мягких живых тканей и издательская деятельность.

По первому направлению работ особенно успешным был 2008 г. — организовано серийное производство сварочных электрокоагуляторов на заводе «Счетмаш» (Полтавская обл.), что значительно повысило их надежность. В августе 2008 г. американский партнер МАС по проекту электрическая сварка живых мягких тканей — компания «Consortium Service Management Group» — получила разрешение FDI на применение технологии сварки сосудов в США и аналогичное разрешение CE Mark для стран Европейского Союза.

Среди задач МАС на 2009 г. по проекту сварки живых мягких тканей Советом МАС выделены следующие: дальнейшее продвижение технологии в Украине, получение сертификатов на технологию в России и Республике Беларусь.

Члены Совета МАС поддержали усилия руководства МАС по направлениям издательской деятельности, отметив важность издания трудов конференций, проводимых МАС.

Совет МАС единогласно продлил полномочия академика Б. Е. Патона в качестве Председателя Совета МАС на период 2008–2010 гг. и назначил А. Т. Зельниченко директором МАС.

*В. Н. Липодаев, д-р техн. наук,  
А. Т. Зельниченко, канд. техн. наук,  
ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ, Киев*



## 17-я ВСЕМИРНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО НК В ШАНХАЕ (Китай)

24 октября 2008 г. караванными тропами Великого шелкового пути оправилась в Китай на 17-ю Всемирную конференцию по неразрушающему контролю делегация «Клуба научного туризма» УО НКТД, в состав которой входили 29 специалистов, представлявших ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины (Киев), ОАО «Одесский припортовый завод», Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, фирму «Rosen-Eurore», Восточно-украинский Национальный университет им. В. Даля, ООО НКП «Луганскавтоматика», ГП «УкрНИИпроект» (Киев), НПП «Днепрочерметавтоматика» (Днепропетровск), «Киевоблгаз» (Белая Церковь), ЧНПП «Пульсар» (Донецк), ГП «КОЛОРАН» ИФХ НАН Украины (Киев).

17-я Всемирная конференция по неразрушающему контролю проходила в Шанхае с 25 по 28 октября в здании Выставочного центра.

**Основные темы, обсуждавшиеся на конференции:** акустическая эмиссия, вихретоковая дефектоскопия, инфракрасная термография, магнитная дефектоскопия (в т. ч. метод магнитной памяти, МПД, магнитные жидкости и т. д.), ультразвуковой метод, оптический контроль, радиография, метод проникающих веществ, общие вопросы неразрушающего контроля. На конференции было представлено более 500 докладов: по ультразвуковому контролю — 190, радиографии — 54, магнитному — 48, токовихревому — 40, тепलो-



му — 15, контролю проникающими веществами — 5, оптическому и визуальному — 4.

Кроме заседаний секций наши специалисты приняли участие в ряде семинаров и встреч с представителями делегаций других стран.

Одновременно с конференцией в Экспоцентре г. Шанхая проходила выставка приборов и средств неразрушающего контроля. На стенде Украины, расположенном рядом со стендами Великобритании и Бразилии, многочисленные посетители выставки смогли ознакомиться с последними достижениями нашей страны в области дефектоскопии.

Анализируя увиденное и услышанное на конференции, приходишь к выводу о том, что на данном этапе в науке о неразрушающем контроле идет накопление знаний и усовершенствование средств контроля в направлении повышения надежности и автономности приборов, снижения их массы и габаритов и главное — создания новых программных продуктов и расширения функциональных возможностей дефектоскопов. В качестве примера можно привести новинки, представленные одной из ведущих фирм разработчиков в области неразрушающего контроля — «GE Sensing Inspection Technologies». Разработанная специалистами фирмы система «Software Rhythm platform» обеспечивает многоканальный прием, обработку и хранение данных, получаемых основными методами неразрушающего контроля, и может одновременно обрабатывать результаты нескольких испытаний.

Все преимущества этой системы реализуют с помощью новых моделей дефектоскопов:

- портативного рентгеновского детектора Prime 16516;
- ультразвукового дефектоскопа серии Bendtracser, предназначенного для экспресс-контроля деталей авиалайнеров, в т. ч. из композитных материалов;

- портативного токовихревого дефектоскопа GE Pulsec, использующего технологию PEC (Pulsed Eddy Current) для определения подповерхностной коррозии;

- бороскопа XL GO Video Probe с дисплеем высокого разрешения и общей массой 1,73 кг.

На открытии Президент конференции Dr. Geng Rongsheng заявил, что неразрушающий контроль является одной из наиболее быстро развивающихся профессий в Китае и это обусловлено проводимой в стране политикой «открытых дверей».

Действительно, из представленных материалов очевиден прогресс, достигнутый китайскими учеными в большинстве методов НК. Этого им удалось добиться, используя достижения ведущих мировых фирм. В качестве примера можно привести первый китайский рентгеновский аппарат GECCO 250 (масса 6,2 кг, разрешение 200 мк).

Хорошо организованная работа оргкомитета позволила членам делегации не только познакомиться с состоянием техники дефектоскопии в Китайской Народной республике, но и составить яркое впечатление о стране.

По окончании конференции наш путь домой лежал через Ханьчжоу — древнюю столицу Китая, которую знаменитый путешественник Марко Поло называл «Раем на земле», Сучжоу — «шелковую столицу» Китая и Пекин — его современную столицу.

Члены делегации посетили Гугун (Запретный город), самый большой императорский дворец, Храм Неба и, конечно, прошли по Китайской стене, а 2 ноября усталые и полные незабываемых впечатлений вернулись в родной Киев.

Прощаясь в аэропорту, мы говорили друг другу: «До свидания, до новых встреч» на конференциях, куда УО НКТД приглашает всех желающих.

М. Л. Казакевич,  
ГП «Колоран» ИФХ НАН Украины, Киев

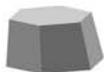


## 8-я МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ СТРАН ЦЕНТРАЛЬНОЙ И ВОСТОЧНОЙ ЕВРОПЫ

10–12 декабря 2008 г. в Киеве состоялась **8-я Международная конференция стран Центральной и Восточной Европы (ЦВЕ)** под девизом: «Национальные программы качества и национальные награды качества — основа для достижения национальной конкурентоспособности на глобальном рынке». Ее организаторами выступили Европейская организация качества (ЕОК) и Украинская ассоциация качества (УАК) — национальный представитель Украины в ЕОК.

Конференция проводилась при поддержке Клуба лидеров качества стран Центральной и Восточной Европы, Международной гильдии профессионалов качества, государственных общественных организаций Украины и других стран ЦВЕ.

Цель конференции — создать специалистам стран-участниц условия для обмена опытом и знаниями по различным аспектам развития движений за качество и совершенство, повышения конкурентоспособности компаний и экономик, улучшения



жизни людей. Во время пленарных заседаний, семинаров, круглых столов была предоставлена возможность для деловых контактов, взаимного обмена идеями и предложениями, обсуждения проблем и выработки решений.

Среди других вопросов рассмотрен опыт Украинской ассоциации качества по формированию и развитию движения за качество и совершенство в Украине, а также по содействию координации и развитию такого движения в странах региона ЦВЕ.

Во время конференции были подведены итоги и представлены лучшие предприятия-победители 4-го Международного турнира по качеству стран Центральной и Восточной Европы, в котором принимают участие компании-призеры национальных наград качества своих стран.

**Международный турнир по качеству стран Центральной и Восточной Европы** проводится с 2005 г. ежегодно в соответствии с Резолюцией 5-й Международной конференции стран Центральной и Восточной Европы «Национальные программы качества и национальные награды качества — инструменты развития национальных движений за качество и совершенство» (Украина, Киев, 20–23 сентября 2005 г.). Турнир был инициирован Клубом лидеров качества Украины и поддержан EFQM и EOQ в связи с тем, что предприятиям и организациям стран ЦВЕ еще весьма сложно соревноваться непосредственно за Европейскую награду качества (с 2006 г. — Награду за совершенство EFQM) с лучшими компаниями развитых стран.

Победа на турнире изначально стала промежуточным этапом между национальными Наградами за качество стран ЦВЕ и Наградой за совершенство EFQM. Он также оказался эффективным средством международного бенчмаркинга, вовлечения предприятий и организаций в процессы совершенствования и выявления образцов для подражания в регионе ЦВЕ.

В числе основных задач турнира определены:

- содействие повышению конкурентоспособности предприятий стран ЦВЕ и их подготовки к вхождению в глобальный рынок;
- стимулирование предприятий стран ЦВЕ к совершенствованию систем менеджмента на основе концепций TQM и приближению к уровню совершенства передовых европейских компаний;
- выявление лучших социально ориентированных предприятий, которые достигли высоких результатов в применении концепций TQM как образцов для подражания компаниями стран Центральной и Восточной Европы;
- развитие международного бенчмаркинга в сфере системного управления качеством и эффективного ведения бизнеса;
- установление и укрепление международных деловых связей между лучшими национальными

предприятиями и ведущими специалистами в сфере качества;

- содействие развитию национальных движений за качество и деловое совершенство в странах-участницах турнира.

Организационно-методическое обеспечение турнира возложено на Украинскую ассоциацию качества — национальную партнерскую организацию EFQM — и Европейский центр поддержки движений за качество.

В состав Международной конкурсной комиссии турнира вошли авторитетные представители всех стран, принимающих участие в турнире. Для оценивания компании-участницы создан Экспертно-методический центр, в состав которого от стран-участниц турнира включены эксперты, имеющие признание EFQM.

За четыре года в турнире уже испытали силы компании-победители и призеры национальных наград по качеству из Республики Беларусь, Венгрии, Казахстана, Литвы, Российской Федерации, Румынии, Украины, Азербайджана и Таджикистана. По итогам четырех турниров 30 компаний из 9 стран ЦВК получили сертификаты EFQM «Признание совершенства в Европе» (в том числе 15 компаний — с индексом 5\*), 25 компаний удостоены статуса призеров турнира, а 10 стали обладателями Награды за качество стран ЦВЕ, что заметно повысило их рейтинг на международном уровне. При этом компании из трех стран успели принять участие в турнире дважды, заметно повысив во второй раз свои результаты.

О высоком уровне турнира свидетельствует и тот факт, что среди его победителей представлены уже три финалиста Награды за совершенство EFQM. В 2008 г. обладатель Награды за качество стран ЦВЕ 2007 г. Ставропольский государственный аграрный университет принял участие в борьбе за Награду за совершенство EFQM и получил статус финалиста.

В 2008 г. в Международном турнире по качеству стран ЦВЕ наряду с компаниями-производителями товаров и услуг принял участие орган местного самоуправления.

Предприятия, участвующие в турнире, боролись за право обладать Наградой за качество стран ЦВЕ в двух номинациях — «Большие организации» и «Малые и средние организации».

По итогам 3-го Международного турнира по качеству стран ЦВЕ призерами определены следующие компании.

#### **Номинация «Большие предприятия»**

##### **Победители**

- Республиканское унитарное предприятие «Белорусский металлургический завод» (Республика Беларусь);
- Закрытое акционерное общество «Предприятие по водоснабжению и очистке стоков» (Венгрия).

##### **Лауреаты**

- Открытое акционерное общество «Арселор-Миттал Кривой Рог» (Украина);



Призеры 4-го Международного турнира по качеству ЦВЕ

- Открытое акционерное общество «Крюковский вагоностроительный завод» (Украина).

#### Финалисты

- Государственное предприятие «Харьковский региональный научно-производственный центр стандартизации, метрологии и сертификации» (Украина);
- Открытое акционерное общество «Домостроительный комбинат № 3» (Украина).

#### Номинация «Малые и средние предприятия» Победители

- Исполнительный комитет Славутичского городского совета (Украина)

#### Лауреаты

- Закрытое акционерное общество СП «Сомонком» (Таджикистан);
- Высшая школа «Вильнюсский колледж права и предпринимательства» (Литва);
- Открытое акционерное общество «Институт «Гомельпроект» (Республика Беларусь).

#### Финалисты

- Коммунальное предприятие «Сумское городское бюро технической инвентаризации» (Украина).

Компании-финалисты турнира были отмечены также сертификатами EFQM «Признание совершенства в Европе-4\*», а компании-победители и лауреаты — сертификатами EFQM «Признание совершенства в Европе-5\*».

Торжественная процедура награждения компаний-призеров 4-го турнира состоялась в Украине во время открытия 8-й Международной конференции по качеству стран ЦВЕ. Награды руководителям компаний вручили ответственные лица Европейской организации качества и председатель Международной конкурсной комиссии турнира Петр Калита.

После награждения был объявлен 5-й Международный турнир по качеству стран Центральной и Восточной Европы. Итоги этого турнира будут подведены в декабре 2009 г. на 9-й Международной конференции по качеству стран ЦВЕ.

*М. А. Ложкина,  
УАЯ, Киев*



**6-й Всеукраїнський з'їзд якості**  
19-20 травня 2009 р., м. Київ



## ПРО ПРОВЕДЕННЯ ЗАСІДАННЯ ТК № 78 «ТДІНК»

26 листопада 2008 р. в Інституті електрозварювання НАН України проведено чергове засідання Технічного комітету з стандартизації № 78 «Технічна діагностика та неруйнівний контроль», на якому розглянуті питання поточної роботи «Української робочої групи з акустико-емісійного контролю та діагностування», а також поновлення та затвердження відповідного положення щодо діяльності зазначеної групи.

### ПРОТОКОЛ

#### засідання «Української робочої групи з акустико-емісійного контролю та діагностування»

Київ, Інститут електрозварювання  
ім. Є. О. Патона НАН України

26 листопада 2008 р.

#### Присутні

- Ободовський Б. М., Кушніренко С. О. — Одеський припортовий завод;
- Михайловський В. А. — ЗАО «Київське центральне конструкторське бюро арматуробудування», м. Київ;
- Кріцин С. І. — ВАТ «Укртрансгаз», м. Київ;
- Мартюк В. Н., Карявка Я. В. — Науково-виробничий діагностичний центр, м. Кривий Ріг;
- Коваль М. Д., Омельчук Л. Л., Потіха О. М., Лаврусенко — Київенерго;
- Терпицький О. В. — НВЦ «Техдіагаз» ДП «Укртрансгаз», м. Київ;
- Чилій Г. В. — УДП «Укрхімтрансміак»;
- Гібаленко О. М., Галактіонов О. В. — ДонЦТБ УкрНИИПСК;
- Заплотинський І. А. — Енергоналадка Київенерго, Центральна служба контролю металу;
- Вісіловський М. Г. — ООО «СЕРЕП», м. Маріуполь;
- Скальський В. Р. — Фізико-механічний інститут НАНУ, м. Львів;
- члени ТК-78 (ТДНК);
- усього: 24 чол.

#### Слухали

1. Досвід учасників у питаннях застосування АЕ систем для оцінки стану конструкцій.
2. Нові розробки у галузі АЕ технології на базі виставки з обладнання АЕ.
3. Удосконалення технології АЕ контролю, апаратури і програмного забезпечення.
4. Організація взаємодії користувачів АЕ систем при проведенні випробувань та оцінці результатів контролю.
5. Атестація обладнання та методик з АЕ технологій.
6. Оцінювання діючих стандартів та тих, що опрацьовуються, а також іншої нормативної доку-

ментації в Україні, що пов'язана із забезпечення безпечної експлуатації конструкцій та споруд.

7. Розробка нормативної документації у галузі безпечної експлуатації конструкцій та сприяння у їх розробці відповідальним виконавцям.

8. Аналіз проектів конструкцій та споруд, що розробляються, з точки зору забезпечення їх безпеки при експлуатації у реальних умовах.

9. Гармонізація стандартів щодо європейських нормативів.

10. Обговорення і вирішення питань підготовки фахівців у галузі АЕ діагностування.

11. Координація дослідницьких робіт в Україні у галузі АЕ технологій.

На завершення учасники засідання були ознайомлені з новим діючим обладнанням АЕ засобів і технологій діагностування та обмінялись думками щодо можливостей та перспектив їх впровадження у виробництво, а також з приводу заснування та організаційного оформлення Української робочої групи з АЕ.

#### Відмітили

1. Останнім часом у технічній діагностиці усе частіше використовують АЕ техніку та прилади. Це пов'язано з певними перевагами методу АЕ перед іншими методами при аналізі стану матеріалів зварних конструкцій. До таких переваг відносяться, перш за все, можливість стовідсоткового контролю всього обсягу матеріалу конструкції, діагностування конструкцій без зупинки виробництва, виключаючи часто громіздкі випробування. Велике значення набуває можливість використання діагностичної апаратури на основі АЕ для управління процесом виробництва у передаварійній та аварійній ситуаціях, що дозволяє своєчасно приймати міри з попередження аварій, що забезпечують експлуатацію конструкцій за фактичним станом.



2. У напрямку розробки методів оцінки стану конструкцій на основі АЕ технології працювали та працюють багато вчених і фахівців, проводяться щорічні семінари та конференції. Зважаючи на актуальність і великі перспективи АЕ методу, світове технічне товариство об'єднало зусилля вчених для його розвитку. Роботи у цьому напрямку координують: Acoustic Emission Working Group (США), Japanese Committee on Acoustic Emission (Японія), European Working Group on Acoustic Emission (Європа). З'явилася нова робоча група — The Latin American Working Group on Acoustic Emission (Латинська Америка). В Росії з 1996 р. працює «Експертно-консультативний Совет по проблемам применения метода акустической эмиссии для контроля объектов, подведомственных Госгортехнадзору России». З січня 2007 р. розпочав роботу підкомітет № 9 «Acoustic emission testing» у складі 135 комітету з неруйнівного контролю ISO. В Україні цю роботу виконує робоча група з АЕ у рамках Технічного комітету з технічної діагностики та неруйнівного контролю ТК-78 Держспоживстандарту України.

3. Промислове використання результатів досліджень і розробок в області АЕ діагностики суттєво стримується недостатнім обсягом нормативної документації.

4. Розпочата підготовка фахівців 1–3 рівнів кваліфікації у галузі АЕ контролю (Група АТ).

5. Доцільно на базі ГНМЦ Держгірпромнагляду України поновити підготовку технічних експертів з промислової безпеки, які приймають рішення щодо стану об'єктів на основі АЕ технологій.

### Рішення засідання

1. Поновити та затвердити відповідне Положення про «Українську робочу групу з акустико-емісійного контролю та діагностування» (Див. «Додаток»).

2. Членам робочої групи надати у ТК-78 (ТДНК) пропозиції:

– щодо розробок нових нормативних документів, складу робочих груп з їх реалізації по діючим технологіям та обладнанню з АЕ діагностування, а також пропозиції щодо вдосконалення нормативної документації на старі та нові розробки.

3. ТК-78 (ТДНК) з урахуванням пропозицій по п. 2 скласти план і програму робіт з розробки нормативних документів з АЕ технологій діагностування і проінформувати провідні відомства: Держспоживстандарт України та Держгірпромнагляд України в частині:

– включення до плану стандартизації і розгляду (Держспоживстандарт України);

– експертизи (ДП «Промбезпека») та узгодження (Держгірпромнагляд України).

4. Зважаючи на значні можливості та переваги застосування методу АЕ у провідних галузях промисловості, звернути увагу Держгірпромнагляду України на доцільність:

– внесення методу АЕ до переліку основних методів НК, регламентованих у відповідних НПАОП;

– відновлення спільної роботи ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАН України з Головним навчально-методичним центром Держгірпромнагляду України з підготовки та атестації експертів по АЕ контролю та діагностуванню.

Додаток

## ПОЛОЖЕННЯ

### про «Українську робочу групу з акустико-емісійного контролю та діагностування»

#### 1. Загальні положення

Українська робоча група з акустико-емісійного контролю та діагностування (надалі по тексту «Група з АЕ») об'єктів, підвідомчих та непідвідомчих Держгірпромнагляду України, є постійно діючим громадським органом, заснованим при Технічному комітеті з стандартизації ТК-78 (ТДНК), що здійснює свою діяльність у відповідності з цим Положенням.

Група не є юридичною особою.

ТК-78 затверджує Положення про групу з АЕ, сприяє його діяльності та здійснює керівництво його роботою.

#### 2. Компетентність «Групи з АЕ»

Група з АЕ створена з метою здійснення інформаційної, методичної та консультативної допомоги, контролю за дотриманням вимог нормативно-технічних документів, координування діяльності організацій, що застосовують метод АЕ при кон-

тролі та діагностуванні об'єктів. До діяльності групи з АЕ відноситься:

2.1. Створення інформаційно-довідкової бази даних нормативно-технічної документації та технічних засобів з АЕ.

2.2. Створення інформаційно-довідкової бази даних за результатами робіт з АЕ контролю з метою удосконалення нормативно-технічних документів, Систем класифікації джерел АЕ та критеріїв оцінки результатів контролю.

2.3. Надання інформаційної, методичної та консультативної допомоги зацікавленим організаціям.

2.4. Проведення попередньої експертизи нових документів з АЕ, що розробляються, до їх узгодження та затвердження у Держгірпромнагляді України.

2.5. Проведення експертизи та порівняльних випробувань вітчизняної та імпортової АЕ апаратури.



2.6. Участь у процедурах підготовки та атестації фахівців і персоналу з АЕ.

2.7. Інша діяльність у галузі застосування методу АЕ.

**3. Організація роботи «Групи АЕ»**

3.1. Склад «Групи з АЕ» формується з фахівців, що володіють необхідними знаннями та досвідом роботи у галузі АЕ та інших суміжних галузях, для здійснення діяльності, віднесеної до компетенції цієї групи.

3.2. Компетенція групи поширюється на промислові об'єкти: трубопроводи, трубопровідні системи та технологічне обладнання (котли, сховища, резервуари тощо) нафтопереробних, нафтохімічних та хімічних виробництв, енергетичного комплексу, вантажопідіймальних засобів і споруд, трубопровідного транспорту та інших об'єктів підвищеної небезпеки.

3.3. Рішення «Групи з АЕ» для усіх зацікавлених організацій мають рекомендаційний характер.

3.4. Склад «Групи з АЕ» може оновлюватись в залежності від зацікавленості та можливості особи виконувати свої обов'язки, а також за необхідності підтримувати розвиток нових напрямків з АЕ контролю та діагностування.

3.5. Рішення «Групи з АЕ» приймається на засіданнях її членів та затверджуються Головою ТК-78 (ТДНК) або його заступником.

3.6. Члени «Групи з АЕ» мають право:

- виносити на її засідання питання, що відносяться до їх компетенції;
- приймати участь у організаційно-технічних засадах, процедурах аудиту, експертизи та інших, що стосуються застосування методу АЕ.

**14-17 апреля 2009**
**Украина, Киев**

# Неразрушающий Контроль и техническая диагностика

2009

**6-я Национальная конференция и выставка**  
**Институт электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины**  
**Выставочный центр "КиевЭкспоПлаза"**

**Организаторы:**



Украинское общество неразрушающего контроля и технической диагностики



Институт электросварки им. Е.О. Патона  
Национальной академии наук Украины

**При поддержке:**



Европейской федерации по неразрушающему контролю



Международного комитета по неразрушающему контролю

**Информационная поддержка:**



ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА  
И НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ

[www.usndt.com.ua](http://www.usndt.com.ua)



## ВІТАЄМО З 60-РІЧЧЯМ!

9 січня 2009 р. виповнилося 60 років Лауреату Державної премії України в галузі науки і техніки, Заслуженому діячеві науки і техніки України, академіку Української нафтогазової академії, Гірничої академії та Міжнародної академії стандартизації, проректору з наукової роботи, завідувачу кафедри технічної діагностики і моніторингу, доктору технічних наук, професору **Олегу Михайловичу Карпашу**.

Карпаш О. М. розпочав свою трудову і наукову діяльність після закінчення в 1972 р. Івано-Франківського інституту нафти і газу. Працював у науково-дослідних та дослідно-конструкторських організаціях: Укрдіпронафта (м. Київ), ВНДІНафта (м. Самара, Росія), СКТБ «Надра». З 1990 р. впродовж 10-ти років обіймав посаду директора «Івано-

Франківської науково-виробничої фірми «Зонд». З 2001 р. і до сьогодні — проректор з наукової роботи Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу, завідувач кафедри технічної діагностики і моніторингу.

Започаткована в інституті і розвинута за місцем роботи наукова діяльність втілюється в 1983 р. в кандидатську дисертацію на тему «Підвищення роботоздатності буринних труб з конічними стабілізуючими поясками», із захистом якої здобуває науковий ступінь кандидата технічних наук, а 1996 р. — в докторську дисертацію на тему «Методи і засоби забезпечення роботоздатності трубних колон» зі здобуттям наукового ступеня доктора технічних наук і присвоєнням у 1997 р. вченого звання професора.

У науковому доробку Олега Михайловича понад 260 публікацій, у т. ч. і в іноземних виданнях, 40 винаходів, 8 підручників, 2 монографії. Сформував власну наукову школу, де проходять становлення обдаровані творчі особистості, 10 з яких уже захистили кандидатські та 1 докторську дисертації.

Олег Михайлович Карпаш — заступник головного редактора декількох науково-технічних журналів, член редколегії журналу «Технічна діагностика та неруйнівний контроль» та ін. Він — голова спеціалізованої Вченої ради та член двох спеціалізованих Вчених рад із захисту докторських дисертацій, член Національного атестаційного комітету фахівців з неруйнівного контролю та технічної діагностики.

Під керівництвом і за його особистою участю розроблено та впроваджено у виробництво комплекс технічних засобів, серед яких пересувні лабораторії ПЛАН-1, ПЛАН-2, ПЛАН-5, «Зонд-3», «Зонд-6», стаціонарні лабораторії «Ремонт-1», «СОТ-1М», окремі прилади, сервісні пристрої, технології, рекомендації та низка інших напрацювань з неруйнівного контролю та технічної діагностики нафтогазового бурового обладнання й інструменту, які втілені в більш як 30-ти нормативних документах різних рівнів (ДСТУ, ГСТУ, СОУ, СТП) і широко використовуються в нафтогазовидобувній промисловості.

За ініціативою Олега Михайловича та його безпосередньою участю у фірмі «Зонд» запроваджена перша у Західному регіоні України сертифікована в системі УкрСЕПРО система якості. Акредитована на відповідність вимогам стандартів серії ISO 9000 випробувальна лабораторія нафтового обладнання та інструменту, а також Атестаційний центр фахівців неруйнівного контролю відповідно до європейських норм.

Наукова, винахідницька і педагогічна діяльність Карпаша О. М. високо оцінена на державному рівні, в громадських та наукових колах. Йому присвоєно звання «Заслужений працівник газової промисловості» (1999 р.). Рішенням Міжнародного фонду підтримки соціальних ініціатив в Україні ім. І. Мазепи, за поданням Української Асоціації якості Карпаша О. М. занесено в «Золоту Книгу України-2000», указами Президента України присвоєно звання «Заслужений діяч науки і техніки України» (2001 р.) та Лауреат Державної премії в галузі науки і техніки (2006 р.) за роботу «Розробка і впровадження засобів нерауйнівного контролю і технологій технічної діагностики машинобудівного і нафтогазового обладнання тривалої експлуатації».

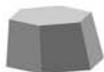
На власному прикладі вчений-винахідник професор Карпаш Олег Михайлович з притаманним йому умінням аналізувати й синтезувати результати досліджень у практичний інтелектуальний продукт переконує учнів і послідовників, тих, хто стає на нелегкий творчий шлях до вершин науки в справедливості завжди актуального висловлення російського письменника, філософа і революціонера О. Герцена: «В науці немає іншого способу надбання, як в поті лица. Ні пориви, ні фантазії, ні прагнення усім серцем не замінять праці». І тільки в творчій праці, праці в поті чола справджується не менш відоме: коли наука досягає певної вершини, з неї відкривається протяжна перспектива подальшого шляху до нових вершин, відкриваються нові дороги, якими наука йтиме далі.

І він, як вчений-подвижник, виступатиме не як пасивний спостерігач чи як типовий виконавець, а як провідний науковець, як творча особистість за чітко визначеною справжньою метою життя, на досягнення якої направлено всі сили, дії і талант.

*Від щирого серця вітаємо Олега Михайловича з прекрасним ювілеєм!*

*Бажаємо здоров'я, благополуччя і нових великих творчих успіхів!*

*Редакція і редколегія журналу «Техническая диагностика и неразрушающий контроль»*

**ПОЗДРАВЛЯЕМ ЮБИЛЯРА!**

Исполнилось 60 лет вице-президенту УО НКТД, директору Приднепровского АЦНК, неумолимому пропагандисту и генератору новых идей в области развития технологий и средств неразрушающего контроля **Александр В. Всеволодовичу Мозговому**.

После окончания в 1971 г. Днепропетровского государственного университета по специальности «Теоретическая физика» А. В. Мозговой на протяжении 25 лет работал в Украинском НИИ технологии и машиностроения, пройдя путь от инженера до начальника отдела неразрушающего контроля. Основал и возглавлял Научно-производственное предприятие «Машиностроение», которое стало одним из ведущих в Украине поставщиков

средств НК и ТД для диагностических предприятий и лабораторий. В настоящее время Александр Всеволодович преподает и ведет научную работу на кафедре радиоэлектронной автоматики физико-технического факультета ДНУ.

Под руководством А. В. Мозгового и при его непосредственном участии на основании глубоких и обстоятельных исследований разработаны и внедрены ряд приборов, механизированных установок и автоматизированных систем неразрушающего контроля крупногабаритных изделий ответственного назначения из полимерно-композиционных материалов.

Область научных интересов Александра Всеволодовича — акустические методы неразрушающего контроля, обработка информации в системах неразрушающего контроля. Им опубликовано более 150 статей, 5 книг и 1 учебное пособие. А. В. Мозговой — автор 15 авторских свидетельств, двух украинских и одного российского патента.

Сердечно поздравляем Александра Всеволодовича с юбилеем, желаем ему крепкого здоровья, счастья, новых профессиональных успехов!

*Редакция и редколлегия журнала «Техническая диагностика и неразрушающий контроль»  
Правление Украинского общества НКТД*

## КАЛЕНДАРЬ КОНФЕРЕНЦИЙ И ВЫСТАВОК ПО ТДиНК НА I ПОЛУГОДИЕ 2009 г.

**МАРТ**

**18.03–20.03:** 8-я Международная выставка и конференция «**Неразрушающий контроль и техническая диагностика в промышленности — NDT Russia**», СК «Олимпийский», Москва, Россия. *Организаторы:* Российское общество НК и ТД, ООО «Примэкспо» (Санкт-Петербург), Компания ITE Group PLC (Лондон). *Информация:* [ndt@primexpo.ru](mailto:ndt@primexpo.ru), [www.primexpo.ru/ndt](http://www.primexpo.ru/ndt)

**АПРЕЛЬ**

**14.04–16.04:** Промышленные выставки «**ПатонЭкспо**» с разделом «**Сварка. Родственные технологии**», Киев, Украина. *Организатор:* «Патон-Экспо». *Информация:* тел./факс: (+38044) 200-80-89, [www.paton.expo.kiev.ua](http://www.paton.expo.kiev.ua)

**14.04–17.04:** 6-а Національна науково-технічна конференція і виставка «**Неруйнівний контроль та технічна діагностика**», Київ, Україна. *Организа-*

*тор:* Українське товариство НКТД. **Інформація:** тел. (+38044) 287-26-66, тел./факс: (+38044) 289-21-66, [usndt@ukr.net](mailto:usndt@ukr.net), [www.usndt.com.ua](http://www.usndt.com.ua)

**МАЙ**

**26.05–28.05:** 4-я Международная конференция «**Лазерные технологии в сварке и обработке материалов**» (**LTWP-2009**), Киев, Украина. *Организаторы:* ИЭС, НТТУ «КПИ», МАС. **Информация:** тел./факс: (+38 044) 529-26-23, [www.iaw.com.ua](http://www.iaw.com.ua)

**ИЮНЬ**

**9.06–13.06:** 23-я Национальная конференция с международным участием «**Дефектоскопия'08**» и другие мероприятия в рамках «**NDT Days 2008**», Созополь, Болгария. *Организаторы:* Болгарское общество по НК, Институт механики. **Информация:** [nntdd@imbm.bas.bg](mailto:nntdd@imbm.bas.bg), [nntdd@abv.bg](mailto:nntdd@abv.bg), [www.ndt-bg.org](http://www.ndt-bg.org)



## 20-ЛЕТ ЖУРНАЛУ «ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА И НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ»

В январе 1989 г. вышел в свет первый номер журнала «Техническая диагностика и неразрушающий контроль» (ТДНК), основанного по инициативе академика Б. Е. Патона. Это периодический ежеквартальный всесоюзный научно-теоретический журнал, который пришел на смену ежегодному республиканскому межведомственному сборнику «Диагностика и прогнозирование разрушения сварных конструкций», первый номер которого вышел в 1985 г. Задача нового журнала — обмен мнениями и освещение достижений ученых и практикующих специалистов в области диагностики технического состояния и прогнозирование остаточного ресурса сварных конструкций, а также результатов применения эффективных методов неразрушающего контроля, создание технологий для оценки технического состояния и продления сроков эксплуатации техногенно и экологически опасных объектов и многое другое.

Журнал ТДНК завоевал широкую читательскую аудиторию — это ученые, преподаватели, руководители и специалисты различных рангов многих предприятий и фирм Украины, стран СНГ и дальнего зарубежья.

*Редколлегия журнала «Техническая диагностика и неразрушающий контроль» благодарит авторов, рекламодателей и читателей за проявленное внимание к нашему журналу и надеется на дальнейшее творческое сотрудничество.*



### ИЗДАТЕЛЬСТВО ИЭС ИМ. Е. О. ПАТОНА НАНУ

ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины ✧ Международная ассоциация «Сварка»

тел./факс: (38044) 529-26-23, 528-34-84, тел.: 271-23-90

#### Уважаемые коллеги!

Предлагаем Вам разместить рекламные материалы на Вашу продукцию в журнале «Техническая диагностика и неразрушающий контроль» в 2009 г. и заключить договор на оказание рекламных услуг в 2009 г. с резервированием рекламной площади. Журнал «ТД и НК» издается ежеквартально с 1989 г. Основные рубрики журнала: вопросы теории и практики технической диагностики и неразрушающего контроля; дефектоскопия; остаточный ресурс сооружений. В каждом номере: научные статьи, производственный опыт, обзоры, выставки, конференции, реклама.

Журнал — постоянный участник крупнейших выставок и конференций, проводимых в России, Украине и за рубежом и свободно распространяется среди участников и посетителей. Сфера распространения журнала «ТД и НК» по подписке охватывает Россию, Украину и др. страны СНГ. Тиражи журнала для распространения на выставках/конференциях составляют 1200 экз. Ниже приводится перечень важнейших выставок и конференций 2009 г. с указанием номера журнала, распространяемого среди посетителей и участников соответствующего мероприятия.

Время проведения	Город, страна	Название конференций	Номер журнала
18.03.–20.03	Москва, Россия	8-я Международная выставка и конференция « <b>Неразрушающий контроль и техническая диагностика в промышленности — NDT Russia</b> »	№ 1
14.04–17.04	Київ, Україна	6-а Національна науково-технічна конференція/виставка « <b>Неруйнівний контроль та технічна діагностика</b> »	
14.04–16.04	Киев, Украина	Промышленные выставки « <b>ПатонЭкспо</b> » с разделом « <b>Сварка. Родственные технологии</b> »	№ 4
05.10–09.10	Ялта, Украина	17-я Международная конференция и выставка « <b>Современные методы и средства неразрушающего контроля и технической диагностики</b> »	
25.11–28.11	Киев, Украина	8-й Международный промышленный форум « <b>МПФ-2008</b> ». Выставка « <b>Образцы, стандарты, эталоны, приборы</b> »	

## ПОДПИСКА — 2009 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
	80 грн.	160 грн.	700 руб.	1400 руб.	26 дол. США	52 дол. США

\* В стоимость подписки включена доставка заказной бандеролью.

Если Вас заинтересовало наше предложение, заполните, пожалуйста, купон и отправьте заявку по факсу или электронной почте. **Контактные тел.: (38044) 271-23-90, 529-26-23; факс: (38044) 528-34-84, 529-26-23.**

Подписку на журнал «Техническая диагностика и неразрушающий контроль» можно также оформить по каталогам подписных агентств «Пресса», «Идея», «Саммит», «Прессцентр», KSS, «Блицинформ», «Меркурий» (Украина) и «Роспечать», «Пресса России» (Россия).

### ПОДПИСНОЙ КУПОН

Адрес для доставки журнала \_\_\_\_\_

Срок подписки с  
Ф. И. О. \_\_\_\_\_

**200 г. по**

**200 г. включительно**

Компания \_\_\_\_\_

Должность \_\_\_\_\_

Тел., факс, E-mail \_\_\_\_\_



## 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 (200×290 мм) - 400 \$

Вторая страница обложки (200×290 мм) - 400 \$

Третья страница обложки (200×290 мм) - 400 \$

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

#### Внутренняя вставка

Полноцветная (разворот А3) (400×290 мм) - 570 \$

Полноцветная (200×290 мм) - 340 \$

Полноцветная (200×142 мм) - 170 \$

**Реклама в разделе информации**

Полноцветная (170×245 мм) - 300 \$

Полноцветная (170×120 мм) - 170 \$

Полноцветная (82×120 мм) - 80 \$

• Оплата в гривнях или рублях РФ по официальному курсу

• Для организаций-резидентов Украины цена с НДС и налогом на рекламу

• Статья на правах рекламы - 50% стоимости рекламной площади

• При заключении рекламных контактов на сумму, превышающую 1000 \$, предусмотрена гибкая система скидок

#### Технические требования к рекламным материалам

• Размер журнала после обрезки 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 IBM PC

• Corell Draw, версия до 10.0

• Adobe Photoshop, версия до 7.0

• QuarkXPress, версия до 7.0

• Изображения в формате TIFF, цветовая модель CMYK, разрешение 300 dpi

• К файлам должна прилагаться распечатка (макеты в формате Word не принимаются)

Подписано к печати 20.02.2009. Формат 60×84/8. Офсетная печать. Усл. печ. л. 9,2. Усл. кр.-отт. 9,6. Уч.-изд. л. 9,3 + 4 цв. вклейки.

Цена договорная.

Печать ООО «Фирма «Эссе».

03142, г. Киев, просп. Акад. Вернадского, 34/1.