

ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА И НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ

№ 1, 2005

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.),
И. П. Белокур, Ю. К. Бондаренко,
В. Л. Венгринович, Э. Ф. Гарф,
А. А. Грузд, Ю. Б. Дробот,
Н. Н. Зацепин, В. И. Иванов,
О. М. Карпаш, В. В. Клюев,
Л. М. Лобанов, А. А. Лебедев,
В. К. Лебедев, Г. Г. Луценко,
Н. В. Новиков, Е. С. Переверзев,
П. П. Прохоренко, В. П. Радько,
В. Н. Учанин, А. А. Улитко,
А. И. Степаненко,
В. А. Стрижало, А. Я. Тетерко,
Т. М. Швец, И. Я. Шевченко

Адрес редакции

03680, Украина, г. Киев-150,
ул. Боженко, 11
Институт электросварки
им. Е. О. Патона НАН Украины
Тел.: (044) 261-58-81,
Факс: (044) 268-34-84, 269-26-23
E-mail: journal@paton.kiev.ua
http://www.nas.gov.ua/pwj

Научные редакторы

Н. Г. Белый, А. А. Грузд

Электронная верстка

Л. Н. Герасименко,
И. Р. Наумова, И. В. Петушков

Свидетельство
о государственной регистрации
КВ 4787 от 09.01.2001

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

При перепечатке материалов
ссылка на журнал обязательна

За содержание рекламных
материалов редакция журнала
ответственности не несет

Цена договорная

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА

- БОНДАРЕНКО Ю. К., ФУРМАН Я. М., БОНДАРЕНКО А. Ю., КОВАЛЬЧУК О. В.* Проблемы определения ресурса сварных конструкций (обзор) 3
БИГУС Г. А., СТРЕЛКОВ П. Б. Исследование акустико-эмиссионных сигналов при деформировании и разрушении образцов из стали 22К 10
ДЯДИН В. П., ДАВЫДОВ Е. А., ЛИТВИНЕНКО А. Е., ГОНЧАР Е. А. Инженерный подход к оценке допускаемых размеров герметичных «пузырей» при техническом диагностировании нефтехимического оборудования, подвергнутого низкотемпературному водородному растрескиванию 16

НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ

- СТОРОЖЕНКО В. А., ХОРЛО Н. Ф., МЕШКОВ С. Н., МАСЛОВА В. А.* Подходы к созданию стандартных образцов для теплового неразрушающего контроля 21
СТРИЖАЛО В. А., НОВОГРУДСКИЙ Л. С., ЗЕМЦОВ М. П. К вопросу определения упругих, деформационных и энергетических характеристик конструкционных материалов 26
ЛЕВИЦКИЙ О. Е. К вопросу получения проекционных данных в ультразвуковой реконструктивной томографии: прямоугольная дискретизация и выбор количества направлений зондирования 29
ГОРДЕЛИЙ В. И., ЧАБАНОВ В. Е. Исследование работы ЭМА-преобразователей по излучению сфокусированных рэлеевских волн 36
ГОРОДНИЧИЙ В. В., АСТАХОВ Д. С. Теоретическая оценка влияния искажений сигнала на соотношение сигнал-шум при двойном ЭМАП 40
БЕЛЫЙ Н. Г., ПОНОМАРЕНКО В. К., КАРМАНОВ М. М., ТРОИЦКАЯ Н. В. Новые возможности радиографического контроля 42
ПОСЫПАЙКО Ю. Н. По страницам журнала «Дефектоскопия» 44

ХРОНИКА И ИНФОРМАЦИЯ

- 5-й Юбилейный семинар-выставка «Современные технологии и приборы неразрушающего контроля и технической диагностики» 46
Всеукраїнський форум «Стандарти та якість — 2005» 49
Перша науково-практична конференція «Контроль і випробування: проблеми, рішення, перспективи» 49
Итоги проведения Международного промышленного форума «Производство и защита — 2004» 50
ГОРДЕЛИЙ В. И. Автотомография дефектоскопная АС5Д широкого радиуса действия в любых климатических условиях 53

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, 2005

Founded in January, 1989

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

Publisher: *International Association «Welding»*

EDITORIAL BOARD:

Editor-in-Chief

B. E. PATON

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

Address:

The E. O. Paton Electric
Welding Institute
of the NAS of Ukraine,
11 Bozhenko str., 03680,
Kyiv, Ukraine
Tel.: (38044) 261-58-81,
Fax: (38044) 261-34-03, 269-26-23
E-mail: journal@paton.kiev.ua
http://www.nas.gov.ua/pwj

Scientific editors:

N. G. Bely, A. A. Gruzd

Electron galley:

I. R. Naumova, L. N. Gerasimenko,
I. V. Petushkov

State Registration Certificate
KV 4787 of 09.01.2001

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

CONTENTS

TECHNICAL DIAGNOSTICS

- BONDARENKO YU. K., FURMAN YA. M., BONDARENKO A. YU.,
KOVACHUK O. V.* Problems of determination of the residual life
of welded structures (Review) 3
- BIGUS G. A., STRELKOV P. B.* Investigation of acousto-emission signals
in deformation and fracture of samples of steel 22K 10
- DYADIN V. P., DAVYDOV E. A., LITVINENKO A. E., GONCHAR E. A.*
Engineering approach to evaluation of admissible dimensions of air-tight
«bubbles» in technical diagnostics of petrochemical equipment
susceptible to low-temperature hydrogen cracking 16

NON-DESTRUCTIVE TESTING

- STOROZHENKO V. A., KHORLO N. F., MESHKOV S. N., MASLOVA V. A.*
Approaches to development of standard samples for thermal NDT 21
- STRIZHALO V. A., NOVOGRUDSKY L. S., ZEMTSOV M. P.* On determi-
nation of elastic, deformation and energy characteristics of structural
materials 26
- LEVITSKY O. E.* On generation of projection data in UT reconstructive
tomography; square-wave discretization and selection of the number
of probing directions 29
- GORDELY V. I., CHABANOV V. E.* Investigation of operation of EMA-transdu-
cers on emission of focused Raleigh waves 36
- GORODNICHY V. V., ASTAKHOV D. S.* Theoretical evaluation of the influence
of signal distortions on signal-to-noise ratio at double EMAT 40
- BELY N. G., PONOMARENKO V. K., KARMANOV M. M., TROITSKAYA N. V.*
New capabilities of radiography 42
- POSYPAIKO YU. N.* Overview of the contents of «Defectosopia» journal 44

NEWS AND INFORMATION

- 5th Jubilee Seminar-Exhibition «Modern Technologies and Instruments
of NDT and Technical Diagnostics» 46
- All-Ukrainian forum «Standards and Quality — 2005» 49
- First Scientific-Practical Conference «Control and Testing: Problems,
Solutions, Prospects» 49
- Results of conducting International Industrial Forum «Production and
protection — 2004» 50
- GORDELY V. I.* Wide range flaw detection railcar AS5D for ane climatic
conditions 53

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



ПРОБЛЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСА СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ (ОБЗОР)

Ю. К. БОНДАРЕНКО, Я. М. ФУРМАН, А. Ю. БОНДАРЕНКО, О. В. КОВАЛЬЧУК

Приведен обзор основных факторов, влияющих на ресурс металлоконструкций. Описываются основные положения долговечности сварных соединений при переменных нагрузках. Дана обзорная структурная схема, которая может быть положена в основу решения проблем определения остаточного ресурса стальных конструкций. Указано, что техническим диагностированием металлоконструкций рекомендовано заниматься только аккредитованным испытательным лабораториям (центрам), подтвердившим свою компетентность в соответствии с требованиями международного и национального стандарта ДСТУ ISO/IEC 17025–2001 в Национальном агентстве аккредитации в Украине в соответствии с требованием Закона Украины «Об аккредитации органов подтверждения соответствия» (№ 2407-111 от 17.05.2001 г.).

The paper gives a review of the main factors influencing metal structure life. The main aspects of welded joint fatigue life at alternating loads are described. A general block diagram is provided, which shows the questions to solve the problems of determination of residual life of steel structures. It is stated that technical diagnostics of metal structures can be performed only by certified testing laboratories (centers), which have proved their competitiveness in compliance with the requirements of the international and national standard SSTU ISO/IEC 17025-2001 at the National Certification Agency of Ukraine, in keeping with the Law of Ukraine «on certification of regulatory bodies».

Создание и эксплуатация конструкций, наиболее полно отвечающих своему назначению, экономичных и надежных в эксплуатации является комплексной задачей, включающей этапы проектирования, исследования прочности, оптимальной организации технологического процесса изготовления, контроля качества сварных соединений и диагностики состояния конструкции в процессе ее эксплуатации [3].

В Украине, как и в ряде других стран СНГ, за последние годы стал актуальным вопрос по эксплуатационной надежности металлоконструкций в связи с сильной изношенностью (поскольку новые мощности в эксплуатацию с 1990-х годов практически не вводят) большого парка действующих металлоконструкций.

В настоящее время эксплуатируется значительное количество машин, сварных конструкций и трубопроводов, расчетные сроки эксплуатации которых исчерпываются [1]. Это связано с тем, что экономика Украины не в состоянии произвести полную замену парка металлоконструкций. Для обеспечения безопасного состояния конструкции необходимо также контролировать эксплуатационную надежность металла.

Работоспособность стальных конструкций ограничена по причине накопления в них при эксплуатации внутренних повреждений, обусловленных длительными воздействиями механических и термических нагрузок, а также агрессивных сред (рис. 1). Под действием этих факторов изменяется как внутренняя структура материала, так и его реальные механические свойства, что приводит к опасному состоянию конструкций [2].

Кроме перечисленных факторов на срок ресурса влияет и качество материалов, из которых изготавливается конструкция. Материалы можно поделить на две группы: основные и вспомогательные. Основные — это материалы, которые входят в общую массу конструкции (балки, уголки и др.), вспомогательные не входят в общую массу конструкции (сварочные аппараты, защитные маски и др.). Для повышения надежности на стадиях изготовления, монтажа и проведения ремонтных работ необходим тщательный входной контроль материалов и комплектующих изделий.

Значительная часть повреждений металлоконструкций вызывается усталостью сварных соединений, испытывающих воздействие нагрузок, переменных во времени [3]. Доля усталостных разрушений продолжает расти, составляя примерно 30 % общего числа преждевременных повреждений и отказов сварных металлоконструкций.

Основные положения прочности и долговечности металлов при переменных нагрузках остаются справедливыми и **в отношении сварных соединений**. Вместе с тем последним свойственны такие специфические особенности, как характерная форма соединений и швов, неоднородность механических свойств, возможность возникновения при

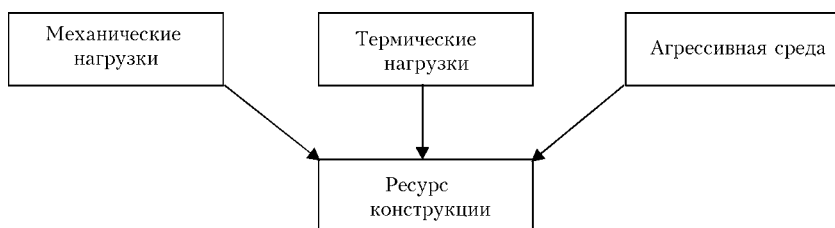


Рис. 1. Основные факторы, влияющие на металлоконструкцию [15]



сварке технологических дефектов, высокие остаточные деформации и напряжения.

Многие сварные конструкции испытывают воздействие большого числа перемен временных нагрузок: перемещающихся или перевозимых грузов, волн, ветра, грунта и т. д. Возникающая при этом переменность напряжений тех или иных элементов сварных конструкций может вызвать их разрушение от усталости. Наиболее часто усталостные трещины зарождаются **в сварных соединениях**.

Усталость материалов и сварных соединений — процесс многостадийный. Он начинается с постепенного накопления необратимых физико-механических изменений в материале, которые вызывают образование микротрещин. Затем некоторые из них при своем дальнейшем развитии образуют макротрещину. Макротрещина на определенной стадии своего распространения вызывает полное разрушение изделия, элемента конструкции.

Усталостное разрушение отличается от статического рядом характерных особенностей. Оно может вызываться невысокими напряжениями, составляющими примерно половину статической прочности. При знакопеременных напряжениях разрушающие напряжения уменьшаются еще больше. Внешний вид усталостного разрушения также существенно отличается от разрыва, вызванного статическим приложением нагрузки. Усталостное разрушение обычно начинается с поверхности металла и происходит без видимой предшествующей макропластической деформации; следы ее обнаруживаются лишь в отдельных зернах. По своей внезапности и опасности усталостное разрушение сопоставимо только с мгновенным хрупким. **В усталостном изломе выделяют три основные зоны:** чисто усталостную, характеризующуюся наличием усталостных макро- и микрополос, наблюдаемых в электронном микроскопе; зону смешанного разрушения (как результат локальных разрушений впереди трещины), имеющую хрупкие участки и усталостные полосы, и зону долома.

В отличие от статического разрушения изделия, усталостное весьма чувствительно к состоянию поверхности металла, концентрации напряжений, трещин, риски от резца, ожогов от сварочной дуги. Коррозионные повреждения существенно изменяют сопротивление усталости материала. Резкие изменения сечения элемента, различного рода выкружки, отверстия, переходы сварных швов на основной металл, дефекты металла швов — потенциальные места преждевременного зарождения усталостных трещин.

Неравномерность нагрева изделия при сварке, неодновременность появления объемных эффектов структурных превращений, различие в физических свойствах материалов свариваемых изделий приводят к интенсивным деформационным процессам в околошовной зоне. Эти факторы существенно влияют на технологическую прочность, точность изготовления, несущую способность и эксплуатационную стойкость сварного соединения. Поэтому наличие информации об этих процессах в зависимости от условий и параметров режима сварки весьма важно; оно необходимо для раци-

онального проектирования сварных конструкций, а также при разработке технологии их изготовления и эксплуатации.

Для определения ресурса во время эксплуатации объекта используют **методы неразрушающего контроля**. Это очень эффективные способы, при помощи которых с высокой точностью определяется состояние материала при разных видах нагрузок, при разных климатических условиях. При помощи этих методов можно проверить качество сварных соединений, антикоррозионных покрытий и т. д. Эти методы основаны на изменении тех или иных физических свойств материала в зависимости от степени упругого деформирования.

Широкое применение для оценки **одноосных и двухосных напряженных состояний** конструктивных элементов получил ультразвуковой метод, основанный на использовании зависимости скорости распространения сдвиговых ультразвуковых волн в твердом теле с напряжениями от значения этих напряжений [3].

При известных физико-механических характеристиках материала определение напряжений сводится к измерению скорости распространения двух сдвиговых ультразвуковых волн, которые направлены перпендикулярно плоскости действия главных напряжений и поляризованы во взаимно перпендикулярных плоскостях, соответствующих направлениям главных напряжений, которые рассчитываются по формуле [4]:

$$\begin{aligned}\sigma_1 - \sigma_2 &= \left(\frac{c_{S1} - c_{S0}}{c_{S0}} - \frac{c_{S2} - c_{S0}}{c_{S0}} \right) A, \\ \sigma_1 + \sigma_2 &= \left(\frac{c_{S1} - c_{S0}}{c_{S0}} + \frac{c_{S2} - c_{S0}}{c_{S0}} \right) B,\end{aligned}\quad (1)$$

где σ_1 и σ_2 — определяемые главные напряжения; c_{S1} , c_{S2} — скорости распространения сдвиговых волн, поляризованных в соответствующих главных полостях, в нагруженном объекте; c_{S0} — скорость сдвиговой волны в ненагруженном объекте.

Коэффициенты пропорциональности A и B определяются экспериментально при тестовых испытаниях материала объекта.

При оценке двухосного напряженного состояния ультразвуковым методом необходимо знать направления главных напряжений, в плоскости которых осуществляется поляризация сдвиговых волн. Если главные направления в данном объекте заранее неизвестны, то их определяют по максимальной разности скоростей или по характеру нескольких последовательных отражений ультразвукового сигнала. При измерениях этим методом неоднородных полей напряжений получают усредненные напряжения на базе, которая определяется размерами измерительных датчиков. При измерениях по толщине изделия с помощью сдвиговых ультразвуковых волн также получают усредненные значения напряжений по толщине. В определенной степени усреднения напряжений по толщине изделия можно избежать, если использовать поверхностные волны Рэлея. Для этих волн уравнения (1) сохраняется, только вместо A и B сле-



дует подставить A^R и B^R , соответствующие распространению волн Рэлея в данном материале.

Измерение скоростей распространения ультразвуковых волн в исследуемом объекте проводится с помощью различных приборов. Главная трудность состоит в том, что изменения параметров упругой волны вследствие действия напряжений весьма малы, поэтому на выбор метода измерения скорости распространения упругой волны в этих приборах накладывается условие обеспечения точности измерения с погрешностью не более $(1...3) \cdot 10^{-5}$. Используются, в основном, импульсные методы. Указанной выше чувствительностью обладает метод автоциркуляции импульса. Двухканальный измеритель скорости ультразвуковых волн с чувствительностью не хуже 10^{-6} . Важную роль в измерении скорости упругих волн играет акустический контакт пьезоэлектрического преобразователя и исследуемого тела. Существенные погрешности могут вноситься в результате измерений структурные и фазовые превращения в металле при сварке, поскольку при этом заметно меняются параметры упругой волны, что значительно маскирует эффект от остаточных напряжений.

Рентгеновский метод определения остаточных напряжений базируется на измерении деформаций контролируемого объекта путем практического измерения величины межплоскостных расстояний кристаллической решетки металла изделия.

Различают два рентгеновских способа определения макронапряжений, основанных на дифракции рентгеновских лучей: рентгенографический метод с использованием рентгеновской пленки (фотометод) и дифрактометрический метод с использованием гониометра и рентгенографического датчика для точной регистрации углов дифракции. Второй метод находит ограниченное применение из-за больших габаритных размеров, значительной массы дифрактометра и необходимости в охлаждении рентгеновской трубки водой. Рентгеновский фотометод нашел более широкое применение в практике, вплоть до создания портативных установок определения величины и распределения остаточных напряжений в сварной конструкции [5].

Известные электромагнитные методы определения остаточных напряжений основаны на зависимости внешнего электромагнитного поля от механического исследуемого твердого тела [6].

В последнее время привлекает внимание магнитошумовой метод для оценки напряжений в ферромагнитных материалах, включая и аморфные [7]. Интерес к этому методу обусловлен высокой магнитоупругой чувствительностью параметров шума Брокгаузена, отсутствием магнитоупругого гистерезиса, возможности контроля изделий сложной формы. Разработаны различные типы приборов для реализации метода [4]. Тем не менее имеются факторы, ограничивающие точность измерения напряжений по этому методу. Это различие вклада поверхностных слоев различной глубины в сигнал преобразователя, зависимость параметра шума от угла разориентации между направлениями внешнего переменного магнитного поля и главных напряжений, различные во влиянии

на параметры шума нормальных и касательных напряжений.

Известны также и другие электромагнитные методы, например магнитный (коэрцитиметрический) метод [2, 14]. Преимущественная сфера действия данного метода — это зоны концентрации нагрузений, в которых эксплуатационная усталость развивается и накапливается опережающими темпами. При этом весьма существенно, что местонахождение этих зон на металлоконструкциях логически предопределено самой конструкцией контролируемого изделия. Все многообразие конструкций строится по одним и тем же законам и принципам теоретической механики и сопротивления материалов. Кроме того, размеры зон концентрации нагружения велики и существенно превышают размеры единичного дефекта. В результате выявляются эти зоны надежно, без каких-либо поисковых сложностей.

И, как показали стендовые разрушающие испытания образцов и подтвердила практика, если взять в качестве информационного параметра такую магнитную характеристику, как коэрцитивная сила металла, то ее приращение составит величину 200...300 % от начальной (для конструкционных сталей широкого применения), пока усталостные явления развиваются от состояния поставки (новый металл) до состояния предразрушения под действием приложенных к конструкции нагрузок (предельное состояние) [2, 14].

Данная оценка состояния металла является интегральной в толщине (глубине) слоя от нескольких миллиметров до нескольких сантиметров, в зависимости от типа используемого приставного датчика.

В последнее время использование магнитных методов неразрушающего контроля [8, 9, 15] в сочетании с другими методами неразрушающего и разрушающего контроля позволяет повысить достоверность определения остаточного ресурса металлоконструкции.

Основным направлением технического диагностирования стальных конструкций после длительной эксплуатации для прогнозирования остаточного ресурса и безопасной эксплуатации являются:

- нахождение внутренних и внешних дефектов с использованием методов неразрушающего контроля;
- определение уменьшения толщин конструкций;
- определение ухудшения свойств металла, т. е. снижение предела прочности, предела текучести, ударной вязкости и других механических характеристик металла;
- выявление напряженно-деформированных участков, на которых наиболее вероятно появление опасных дефектов и зон;
- оценка степени опасности выявленных дефектов путем расчета коэффициента интенсивности напряжений в стальной конструкции.

Решение проблем определения остаточного ресурса стальной конструкции является комплексной задачей, выраженной в виде структур-

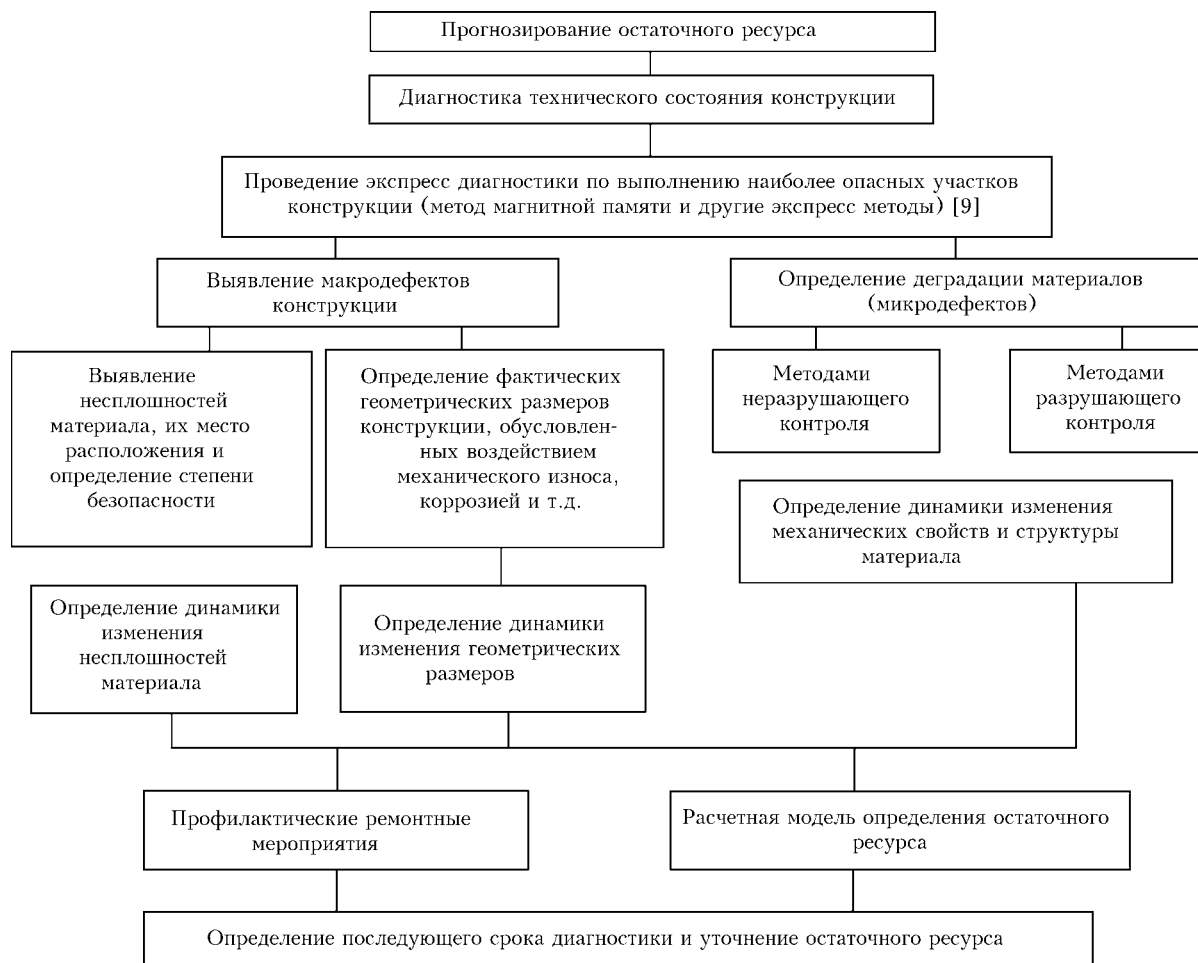


Рис. 2. Упрощенная структурная схема прогнозирования остаточного ресурса конструкции [9, 15]

ной схемы [9], на которой изображены отдельные задачи для ее решения (рис. 2) с помощью только испытательных лабораторий, аккредитованных на техническую компетентность [10, 13].

Выполнение перечисленных процедур возможно только специализированным лабораториям, имеющим соответствующий уровень компетенции, т. е. прошедшим аккредитацию в НААУ (Национальное агентство аккредитации в Украине), которая изложена в процедурном документе «Порядок проведения аккредитации органов по оценке соответствия» (утвержден Приказом Госстандарта Украины от 02.10.01 N952/6143). С марта 2002 года в Украине действует стандарт ДСТУ ISO/IEC 17025-2001, который идентичен Международному стандарту ISO/IEC 17025:1999. «Общие требования к компетенции испытательных лабораторий» (рис. 3) [10].

Анализируя требования стандарта ДСТУ ISO/IEC 17025-2001 к работе испытательных лабораторий и процедурную документацию, нужно выделить необходимость предварительной разработки ряда процедур. Например, разработка процедуры оценки неопределенности измерений (рис. 4), а также процедур испытаний.

Неопределенность измерения — это параметр, связанный с результатами измерения и характеризующий рассеивание значений, которые могли бы быть обоснованно приписаны измеряемой величине для оценки пригодности метода [11, 16].

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

Существует много возможных источников неопределенности при измерении, среди которых [11]:



Рис. 3. Требования к испытательным лабораториям

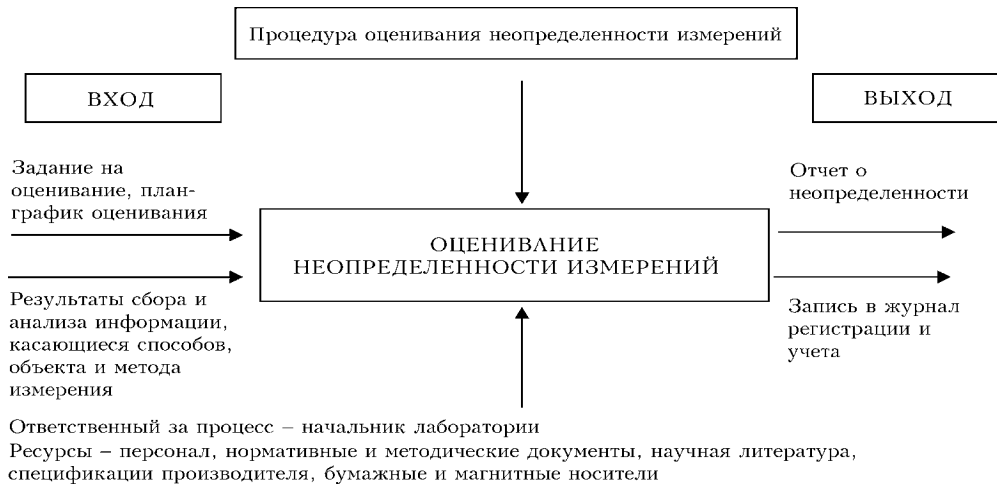


Рис. 4. Схема процедуры оценивания неопределенности измерения

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

Различают два типа расчета неопределенности:

- расчет по типу *A* — метод оценивания неопределенности путем статистического анализа ряда повторных наблюдений и измерений;
- расчет по типу *B* — метод оценивания неопределенности другим способом, не статистическим анализом ряда наблюдений и измерений.

Расчет неопределенности по типу *A*. В большинстве случаев лучшей оценкой математического ожидания или ожидаемого значения m_q величины q , для которой при наблюдениях и измерениях при одинаковых условиях измерения получены n надлежащих знаний q_i , есть среднее значение

$$\bar{q} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n q_i. \quad (2)$$

Экспериментальную дисперсию наблюдений, которая есть статистической оценкой дисперсии $\sigma^2(q)$ распределения вероятности величины q , получают как

$$S^2(q_i) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (q_i - \bar{q})^2. \quad (3)$$

Добавленный квадратный корень $S(q_i)$ из дисперсии называют **экспериментальным стандартным отклонением**.

Лучшей оценкой дисперсии среднего значения есть выражение

$$S^2(\bar{q}) = \frac{S^2(q_i)}{n}. \quad (4)$$

Соответствующее **стандартное отклонение среднего значения**:

$$S(\bar{q}) = \frac{S(q_i)}{\sqrt{n}}. \quad (5)$$

Таким образом, стандартной неопределенностью, оцененной по типу *A*, для результата измерения, по которому принимается среднее значение, будет:

$$U_A(\bar{q}) = S(\bar{q}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (q_i - \bar{q})^2}{n(n-1)}}. \quad (6)$$

Расчет неопределенности по типу *B* основывается на научном суждении о возможной изменчивости величины q с использованием всей доступной информацией и заключается, как правило, в использовании знаний распределения вероятности.

Источником информации могут быть:

- данные предыдущих измерений;
- данные, полученные в результате исследований или общие знания о поведении и особенностях соответствующих изделий и приборов;
- спецификация изготовителя;
- данные, которые приводятся в свидетельствах о калибровании, поверки и других сертификатах;
- неопределенности, приписываемые данным, которые взяты из справочников.

Встречаются ситуации, когда для величины q существует оценка границ a^+ и a^- интервала, в

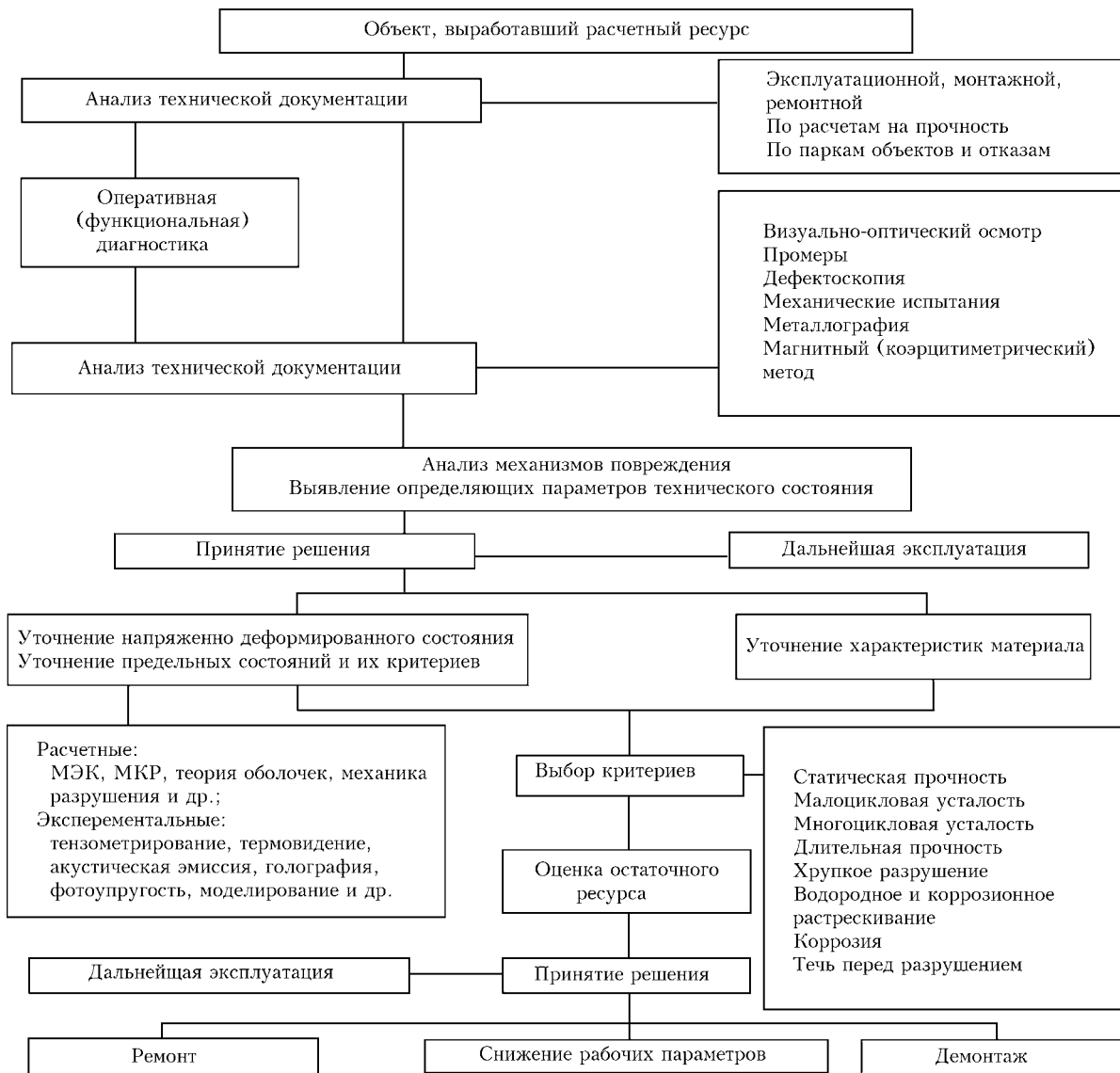


Рис. 5. Алгоритм принятия решения при оценке остаточного ресурса сварной конструкции [15]

приделах которого находятся возможные ее значения. Если конкретных данных о возможных значениях величины q в середине интервала нет, то можно лишь допускать, что с одинаковой вероятностью величина q может принять какое-то значение в его границах (равномерное распределение). В этом случае ожидаемое значение будет **средней точкой интервала с соответствующей дисперсией**

$$U^2(q) = \frac{(a^+ - a^-)}{12}. \quad (7)$$

Если составляющая неопределенности, полученная таким образом, дает значительный взнос в **неопределенность результата измерения**, то желательно **получить дополнительные данные** для ее более **полного оценивания**.

Исходя из центральной граничной теоремы теории вероятности, можно сделать допущение о том, что распределение приблизительно **нормальное**. В случае **нормального распределения** интервал $m_q \pm 3\sigma(q)$ покрывает приблизительно

99,73 % распределения. В этом случае можно считать

$$U^2(q) = \frac{(a^+ - a^-)}{36}. \quad (8)$$

Однако, если уверенности в нормальности распределения нет, то уместно принять компромисс между равномерным и нормальным распределением, допускающие, например, распределение Симпсона (треугольное). Тогда

$$U^2(q) = \frac{(a^+ - a^-)}{24}. \quad (9)$$

Если метод измерения достаточно изучен, то для него может быть известна **комбинированная оценка дисперсии** S_p^2 . В случае, когда в результате измерений принимают среднее из результатов наблюдений, стандартная неопределенность будет:

$$U = S_p / \sqrt{n}. \quad (10)$$



Выводы

Важно найти подход к решению сложившейся проблемы, благодаря которому можно провести обновление старого парка металлоконструкции. Так как наше государство не в состоянии полностью заменить старый парк металлоконструкции на новый, то рекомендуется, в соответствии с указанной структурной схемой прогнозирования остаточного ресурса конструкции (рис. 2, 5), определить, какие конструкции в аварийном (предельном) состоянии, а какие в рабочем [14].

Аварийные металлоконструкции необходимо либо отремонтировать либо заменить. Истощившие свой ресурс конструкции, но в рабочем состоянии, можно эксплуатировать при соответствии их требованиям НД с периодическими проверками (мониторингом) и продлением ресурса, например с применением для повышения качества, надежности и долговечности металлоконструкций воздействия метода ультразвуковой ударной обработки [12].

Достоверную оценку остаточного ресурса могут обеспечить только испытательные лаборатории, аккредитованные на техническую компетентность в соответствии с требованиями ДСТУ ISO/IEC 17025-2002.

1. Лобанов Л. М., Махненко В. И., Труфяков В. И. Развитие расчетных и технологических методов повышения прочности, долговечности и точности изготовления сварных конструкций // Сб. тр. межд. конф. «Сварка и родственные технологии — в XXI век» (ноябрь 1998 г., Киев). — С. 137–151.
2. Безлюдько Г. Я. Эксплуатационный контроль усталостного состояния и ресурса металлопродукции неразрушающим магнитным (коэрцитиметрическим) методом // Техн. диагностика и неразруш. контроль. — 2003. — № 2. — С. 38–49.
3. Сварные строительные конструкции. Т. 1. Основы проектирования конструкций / Л. М. Лобанов, В. И. Махненко, В. И. Труфяков и др. — Киев, 1993. — 416 с.
4. Экспериментальные методы исследования деформаций и напряжений / Справ. пособие. — Киев: Наук. думка, 1981. — 583 с.
5. Портативный рентгеновский определитель напряжений ПРОН и методики для изменения макронапряжений в металле энергооборудования / П. П. Большаков и др. //

Мат. III Всесоюз. симпозиум. «Технологические остаточные напряжения». — М.: 1988. — С. 79–83.

6. Биргер И. А., Козлов М. Л. Остаточные напряжения: проблемы и перспективы // То же. — М.: 1988. — С. 60–73.
7. Венгринович В. Л., Цукерман В. Л., Бусько В. Н. Магнитометрический метод и аппаратура изменения напряжений в ферромагнитных материалах // То же. — М.: 1988. — С. 101–105.
8. Дубов А. А., Хромченко Ф. А. Руководящий документ / Неразрушающий магнитный метод диагностирования сварных соединений трубопроводов, котлов и трубопроводов энергетических установок. РД. 34.17.437–95. — М.: СПО «ОРГРЭС», 1995.
9. Диагностика и прогнозирование остаточного ресурса стальных конструкций после длительной эксплуатации / В. И. Загребельный, А. А. Дубов, А. В. Мозговой, А. Н. Рудаков // Матер. IV Национ. науч.-техн. конф. «Неразрушающий контроль и техническая диагностика». — Киев, 19–23 мая 2003. — С. 195–202.
10. Бондаренко Ю. К., Ковальчук О. В. Забезпечення якості продукції, процесів, послуг зварювального та споріднених виробництв. — Вип. 1. — Підтвердження компетентності випробувальної лабораторії шляхом її акредитації на відповідність вимогам стандарту ДСТУ ISO/IEC 17025-2001. — Київ: 2003. — 26 с.
11. Новиков В. М., Коцюба А. М. Основи розробки системи якості та вимоги до компетентності лабораторій у відповідності до ISO/IEC 17025. Обробка результатів вимірювання та невизначенності вимірювань // Основи метрології та метрологічна діяльність. Ч. 2. — Київ: 2001. — С. 210.
12. Волченко Д. И. Повышение качества, надежности и долговечности металлоконструкций методом ультразвуковой ударной обработки // Сварщик. — 2003. — Май-июнь. — С. 12–13.
13. Бондаренко Ю. К., Ковальчук О. В., Бондаренко А. Ю. Забезпечення якості та виконання технічних послуг з неруйнівного контролю та технічної діагностики — головна проблема управління якістю при виготовленні, експлуатації та ремонті зварних конструкцій // Техн. діагностика і неразруш. контроль. — 2000. — № 2. — С. 60–66.
14. Лобанов Л. М., Бондаренко Ю. К., Бондаренко А. Ю. Оценка сварных соединений конструкций магнитным (коэрцитиметрическим) методом для прогнозирования индивидуального остаточного ресурса // Там же. — 2004. — № 1. — С. 3–6.
15. Проблемы определения ресурса сварных конструкций / Ю. К. Бондаренко, Я. М. Фурман, А. Ю. Бондаренко, О. В. Ковальчук // Мат. Международной конференции «Современные методы и средства неразрушающего контроля и технической диагностики». — 2004. — г. Ялта. — С. 240.
16. Бондаренко Ю. К., Фурман Я. М. Проблеми визначення похибки вимірювання в випробувальній лабораторії // Техн. діагностика і неразруш. контроль. — 2004. — № 4. — С. 45–51.

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

Поступила в редакцию
28.12.2004



ИССЛЕДОВАНИЕ АКУСТИКО-ЭМИССИОННЫХ СИГНАЛОВ ПРИ ДЕФОРМИРОВАНИИ И РАЗРУШЕНИИ ОБРАЗЦОВ ИЗ СТАЛИ 22К

Г. А. БИГУС, П. Б. СТРЕЛКОВ

Длительная эксплуатация оборудования и трубопроводов атомных энергетических станций приводит к увеличению радиационной загрязненности оборудования и соответственно увеличению доз, получаемых персоналом при проведении регламентных работ по контролю состояния металла и сварных соединений. Одним из способов, позволяющим уменьшить время на проведение контроля при высокой достоверности, может служить комбинированное использование метода акустической эмиссии (АЭ) с последующим контролем выявленных зон традиционными методами неразрушающего контроля. Однако для разработки методики контроля дефектности сварных соединений методом акустической эмиссии необходимо провести ряд исследований: определение АЭ свойств материалов элементов оборудования контура многократной принудительной циркуляции, особенностей АЭ свойств сварных швов, конструкций и т. п.

Long-term operation of equipment and piping of nuclear power stations leads to a higher level of contamination of the equipment and accordingly, greater exposure of the personnel during performance of scheduled control of the condition of metal and welded joints. One of the processes allowing reduction of the control time at a high validity, can be a combined application of the acoustic emission method (AE) with subsequent control of the detected zones by traditional NDT methods. However, development of a procedure to control the defect level in welded joints by acoustic emission method requires conducting several studies, namely determination of AE properties of materials of equipment components in the multiple forced circulation circuit, Features of ARE of welds, structure, etc.

Основная задача работы — установление связи между размерами развивающегося дефекта и параметрами сигналов АЭ.

Исследования проводили на образцах, изготовленных из стали 22К с плакировкой из стали 08Х18Н10Т. Образцы деформировали одноосным статическим растяжением на испытательной машине ивановского завода ОАО «Точприбор» ИР5143-200 (рис. 1). Для исключения перекосов образца при нагружении верхний захват был установлен в корпусе нагружающего устройства на сферический самоустанавливающийся подшипник. Отсутствие трения в шарнирах и проскальзывания образца в захватах проверялось экспериментально.

Сигналы акустической эмиссии одновременно с растяжением регистрировались акустико-эмиссионной системой A-Line 32D фирмы ООО «Интерюнис» (рис.2) [1]. В качестве датчиков были

использованы полосовые датчики GT-200. Для исключения сигналов АЭ от участков захватов их предварительно опрессовывали. Во время эксперимента осуществлялась запись всех параметров АЭ.

В процессе эксперимента использовались два канала АЭ системы A-Line 32D. Уровень дискриминации по каналам составлял 40 дБ. Для видеонаблюдения за процессом деформирования образца использовалась цифровая видеокамера SONY. Для эксперимента были изготовлены образцы из стали 22К. При проведении экспериментов использовались образцы с различными сечениями (рис. 3).

Для наблюдения за развитием повреждения в образце выполнялся надрез при помощи электроэрозионного станка. Ширина надреза 0,14 мм, глубина — на 1 мм больше толщины плакированного слоя.



Рис. 1. Испытательная машина ИР5143-200

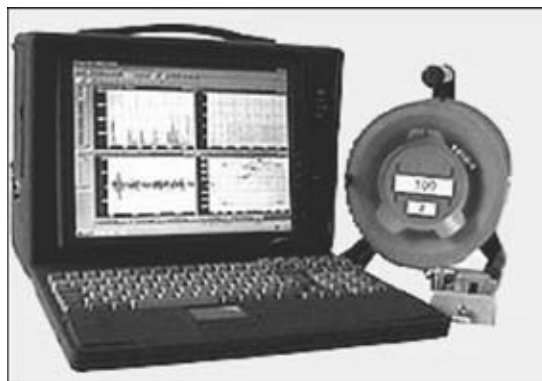


Рис. 2. Акустико-эмиссионная система A-Line 32D



Рис. 3. Образец из стали 22К с надрезом: 1, 2 — места установки датчиков

После установки образцов в захваты разрывной машины и их предварительной опрессовки проводилась съемка участка надреза цифровой камерой SONY. При этом синхронизировались времена АЭ измерений и получения телеизображения деформируемого участка в районе окончания надреза. Датчики АЭ устанавливались на расстоянии 55 мм от надреза. Рабочая часть образца составляла 110 мм.

Образец под действием квазистатической нагрузки нагружался до уровня напряжений σ , равных пределу упругости. Скорость деформации $\dot{\epsilon} \sim 10^{-4} \text{ см}^{-1}$. В зоне упрочнения скорость деформации определялась свойствами материала.

Предварительно проведены серии акустико-эмиссионных тестов с целью определения параметров акустических шумов, работающей и неработающей разрывной машиной. Было установлено, что акустические шумы разрывной машины не превышают 28 дБ. Затем проводилась калибровка датчиков и настройка АЭ системы с помощью имитатора АЭ трещины путем слома грифеля карандаша [2].

На рис. 4 приведен результат теста от слома грифеля в районе надреза, зарегистрированный датчиками 1 и 2 канала.

В данном случае к сигналам от имитаторов относятся два события с амплитудами 70 и 71 дБ (рис. 4). Оба эти события были зарегистрированы двумя каналами одновременно.

Различия по амплитуде ± 1 дБ вызваны разной чувствительностью по каналам. Калибровка прибора позволяла подобрать датчики АЭ с близкими АЧХ и абсолютной чувствительностью. Таким образом были подобраны идентичные по чувствительности 2 канала АЭ системы.

В процессе нагружения образца шла запись всех параметров АЭ сигналов, регистрируемых системой A-Line 32D. Запись проводилась без каких-либо фильтров и изменений в процессе нагружения образца (т. е. все значения порогов, усиления и т. д. оставались на одном и том же уровне

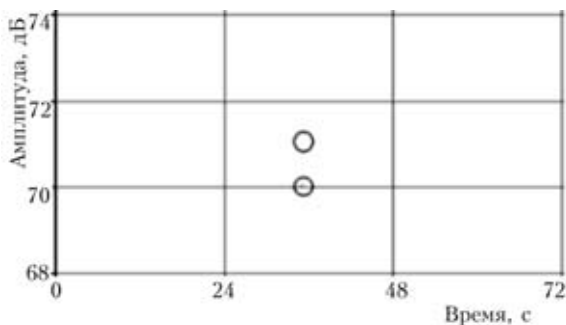


Рис. 4. Сигналы от имитатора АЭ сигналов

в течение всего эксперимента) с одновременной видеозаписью растяжения образца с помощью цифровой видеокамеры SONY.

Полученные АЭ данные не позволяли оценить взаимосвязь между сигналом АЭ и подрастанием (развитием) дефекта (трещины) (рис. 5).

Количество событий, зарегистрированных АЭ системой, как правило, превышало 200 тысяч. Обработка такого массива без фильтров требует значительных объемов расчетов, поэтому по окончании эксперимента (сбора данных) проводили необходимую фильтрацию.

Фильтрация данных АЭ проводилась по следующим параметрам:

энергия сигналов АЭ $\geq 10^{-15}$ Дж (здесь и далее под значением энергии понимается значение, определенное АЭ системой, т. е. оно может отличаться от реального);

амплитуда сигнала АЭ ≥ 55 дБ;

синхронизация по времени сигнала, полученного двумя различными каналами.

Принималось, что сигналы, пришедшие на два разных канала, должны отличаться не более, чем на 8 мкс.

Данные, обработанные с помощью такой фильтрации, приведены на рис. 6. Показана диаграмма энергии сигналов АЭ, наложенная на график нагружения. Выделенные области А и В характерны для больших энергий. Для этих областей показаны стоп-кадры, вырезанные из видеоряда.

Излучение и регистрация сигналов АЭ происходила в результате образования и развития локальных зон пластической деформации образца (рис. 7). Этот процесс сопровождался регистрацией сигналов АЭ большой длительности ($\tau > 1000$ мкс).

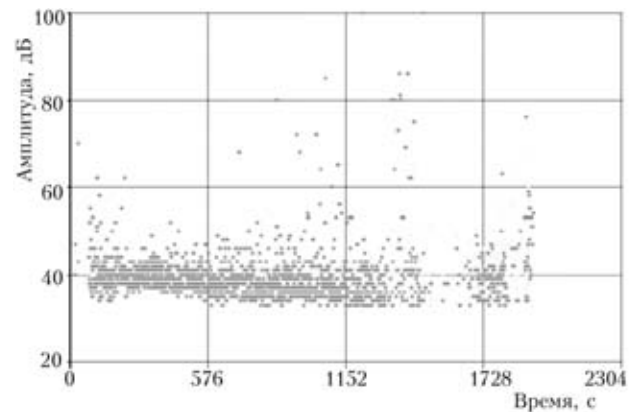


Рис. 5. Амплитуды сигналов АЭ, зафиксированные в процессе эксперимента

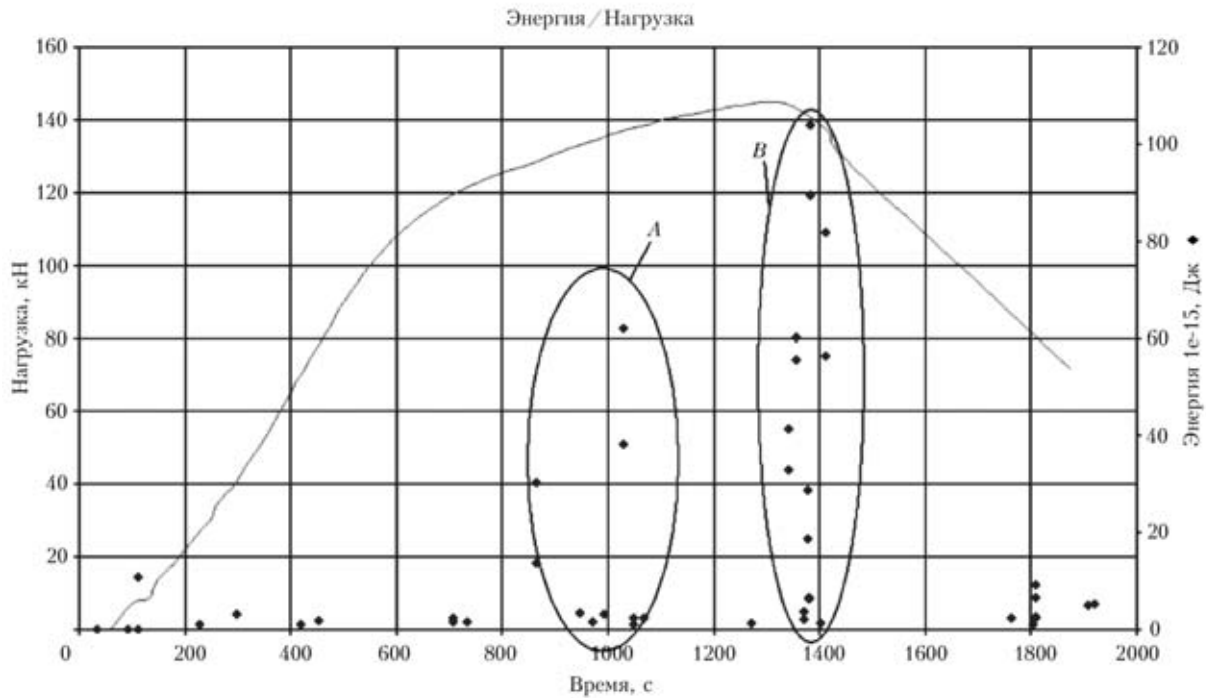


Рис. 6. Диаграмма энергии и нагрузки образца

Процесс образования локальных зон пластической деформации образца происходил в течение 3...4 мин.

На рис. 8, 9 показаны форма и спектр типичных сигналов, которые были зарегистрированы во время развития зоны пластической деформации, выделенной на рис. 7 области образца.

Сигнал, представленный на рис. 8, является реакцией пьезодатчика на воздействия нескольких механических импульсов, пришедших к датчику из различных точек локальных зон пластически деформированного объема образца. При достижении растягивающих напряжений σ в образце величины $\sigma_{0,2}$ и более наблюдается максимум скорости счета N (1000 и более импульсов в секунду); до окончания действия первого импульса на вход пьезодатчика поступает новый, который накладывается на радиоимпульс первого. Образуется радиосигнал, напоминающий «биения» большой длительности (см. рис. 8). Проанализируем форму сигналов АЭ, принимаемых датчиком на этапе пластической деформации локальных участков. Связь между входным импульсом (как правило однополярным [2]), действующем на входе датчика $y(t)$, и выходным сигналом пьезопреобразователя $x(t)$ определяется операцией свертки [3]:

$$x(t) = \int_0^{\tau_v} y(t)g(t - \tau)d\tau, \quad (1)$$

где $g(t - \tau)$ — импульсная характеристика пьезопреобразователя; τ — текущее время; $(t - \tau)$ — сдвиг во времени.

Если длительность входного импульса мала $\tau_{и}$ (порядка 1 мкс), а импульсная переходная функция $g(t - \tau)$ не зависит от момента прихода к пьезо-

датчику механического импульса, т. е. $g(t - \tau) = g(\tau)$, то (1) примет вид:

$$x(t) = g(t) \int_0^{\tau_v} y(t)d\tau = g(t)S(u),$$

где $S(u) = \int_0^{\tau_v} y(t)d\tau$ — площадь импульса $y(t)$.

Следовательно, возникший электрический сигнал пьезодатчика после воздействия на него механического однополярного импульса, будет близок к импульсной функции $g(\tau)$, а его амплитуда определяется площадью входного импульса $S(u)$. Воздействие на датчик тысяч импульсов в секунду приводят к возникновению многократных изменений фазы выходного сигнала и к соответствующему широкому ниспадающему частотному спектру электрического сигнала, регистрируемого АЭ системой, который, перемножаясь с АЧХ датчика (см. рис. 9) приводит к виду частотного спектра на рис. 8. Следовательно, на стадии пластических деформаций АЭ процесс в частотной области повторяет АЧХ датчика.

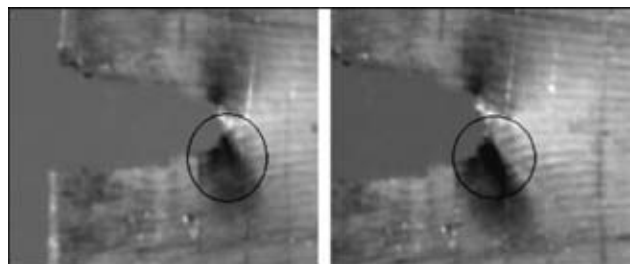


Рис. 7. Развитие пластической деформации

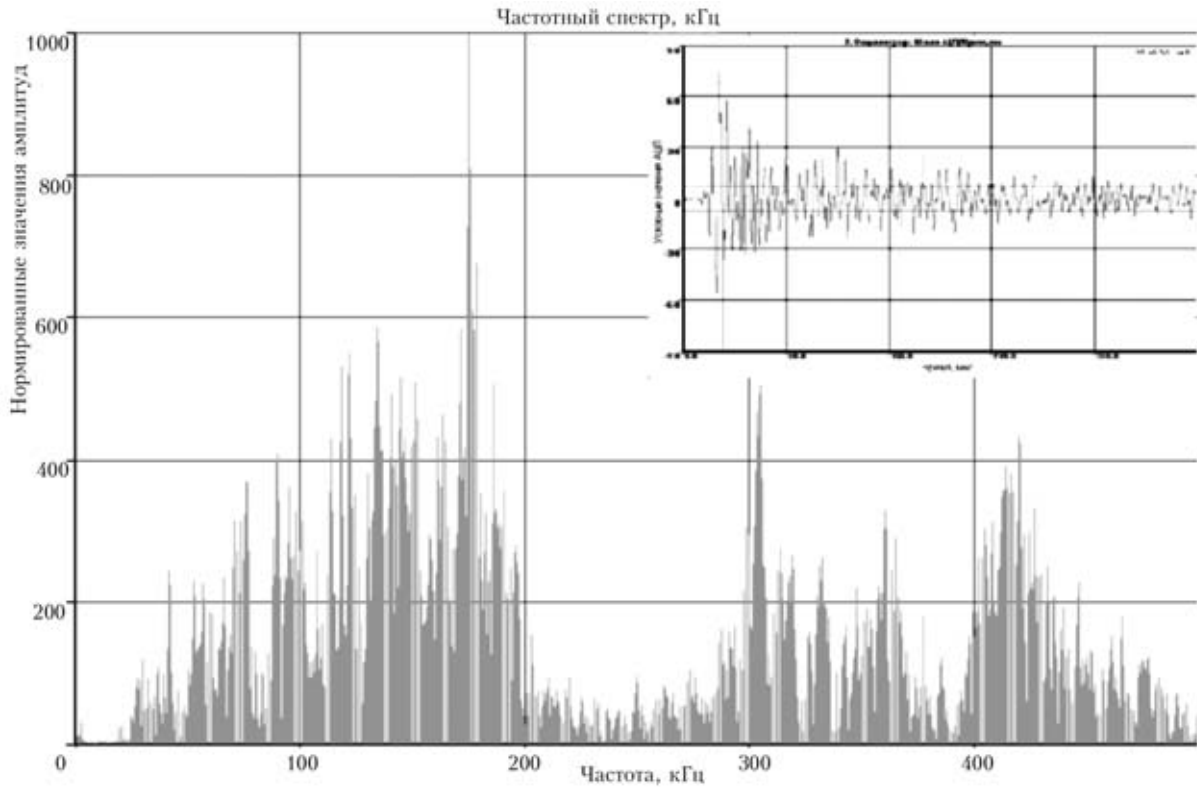


Рис. 8. Частотный спектр и форма АЭ сигнала

Максимум частотного распределения приходится на частоту 185 кГц. Такая форма АЭ сигналов и спектры (см. рис. 8) характерны для участка А.

Для определения принадлежности двух зарегистрированных сигналов разными каналами АЭ системы одному и тому же источнику излучения из зоны локальной пластической деформации вычислялась нормированная корреляционная функция двух сигналов АЭ $x(t)$ – 1-го датчика, $y(t)$ – 2-го датчика, прошедших фильтрации в соответствии с алгоритмом, описанным выше:

$$\rho_{xy}(\tau) = \frac{R_{xy}(\tau) - \mu_x \mu_y}{\sqrt{[R_{xy}(0) - \mu_x^2][R_{yy}(0) - \mu_y^2]}}$$

где $R_{xy}(\tau)$ – взаимная ковариационная функция $x(t)$ и $y(t)$; μ_x, μ_y – среднее значения $x(t)$ и $y(t)$ за время регистрации сигналов АЭ T ;

$$R_{xy}(\tau) = \frac{1}{T} \int_0^T x(t)y(t + \tau)dt.$$

Принадлежность двух зарегистрированных АЭ сигналов $x(t)$ и $y(t)$ к одному событию характеризуется средним значением $\rho_{xy}(\tau)$ при $\tau = 0$ (см. рис. 10). Для сигналов, отмеченных на рис. 6 зоной А, эти величины лежат в диапазоне 0,32... 0,62. При проведении реального контроля объекта АЭ методом зоны пластической деформации также будут характеризоваться либо низким, либо средним (менее 0,65) коэффициентом корреляции $\rho_{xy}(\tau)$.

Появление трещины и ее подрастание (рис. 11) проходило не в месте образования локальных зон пластической деформации, а в центре надреза (хотя

на части разрушенных аналогичных образцов образование трещины происходило в зоне пластической деформации). Момент образования трещины и ее первого подрастания сопровождался интенсивной АЭ, которая прекращалась после остановки трещины. Для ее последующего страгивания необходимо было увеличивать нагрузку (кривая нагружения за счет уменьшения сечения образца имела ниспадающий характер).

Разрушение образца происходило за 3-4 подрастания трещины на увеличивающиеся интервалы Δl , равные нескольким миллиметрам. Подрастание трещины, показанной на рис. 11, происходило в течение нескольких секунд.

При образовании и первичном подрастании трещины (рис. 6, область В) регистрировались сигналы (рис. 12) меньшей длительности ($\tau \approx 100... 300$ мкс), чем при пластической деформации в локальной зоне, но с большей амплитудой и энергией сигналов.

На рис. 12 показан типичный сигнал большой амплитуды в момент времени, отмеченной на рис. 6

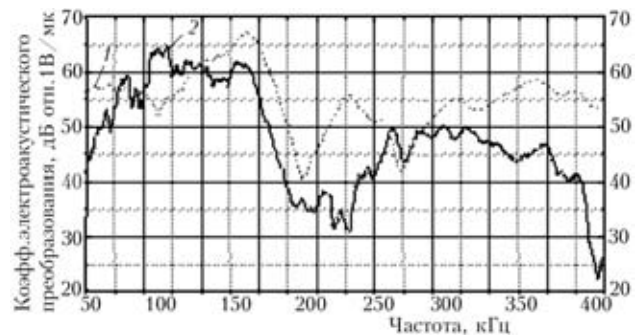


Рис. 9. Амплитудно-частотная характеристика ПАЭ GT-200: 1 – продольные волны; 2 – волны Рэлея

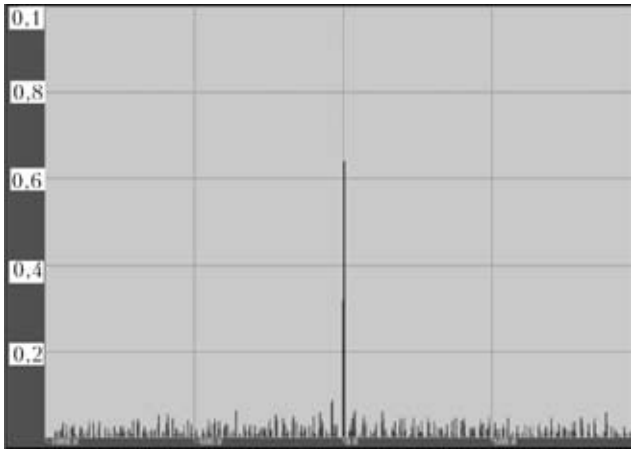


Рис. 10. Корреляция сигналов, зарегистрированных 1- и 2-м каналами одновременно

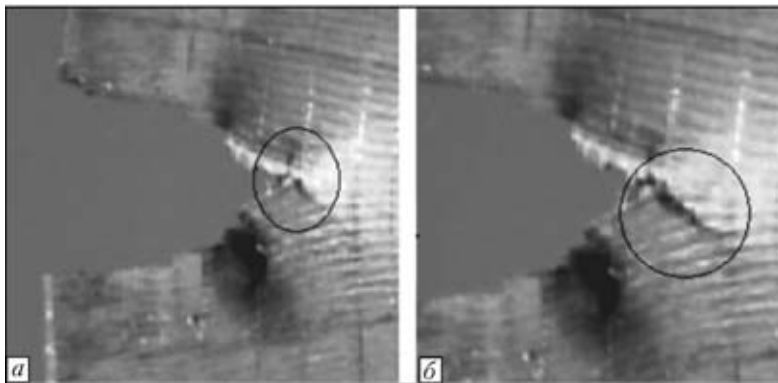


Рис. 11. Появление (а) и подрастание (б) трещины

зоной В. Из осциллограммы видно, что основная несущая частота f близка к $f = 185$ кГц, что соответствует частоте (см. рис. 9), на которой дос-

тигается максимальная абсолютная чувствительность датчика. Однако форма частотного спектра (рис. 12) отличается от формы частотного спектра основной массы сигналов, излучаемых источниками АЭ из зон пластической деформации (рис. 8). Весь спектр сосредоточен в районе резонансной частоты 185 кГц. Если ввести коэффициент Ω , равный отношению частоты, на которой наблюдается максимум в спектре (на рис. 8 и 12 он нормирован на 1), к ширине спектра, где отмечаются ослабления амплитуды до величины 0,4, то значение этого коэффициента будет существенно отличаться для случая, отмеченного на рис. 8 ($\Omega \approx 2$), и спектры АЭ сигнала, характерного для развития трещины — $\Omega \approx 8-10$. Этот коэффициент может служить отличительной особенностью развития трещины.

Второй особенностью, характерной для АЭ сигналов, вызванных развитием трещины, является значение взаимно корреляционной функции $x(t)$ и $y(t)$ двух АЭ сигналов, пришедших на два датчика. Величины $\rho_{xy}(\tau)$ лежат в интервале 0,44...0,82 (см. рис. 13) и в большинстве случаев эти значения выше 0,62 (максимального значения $\rho_{xy}(\tau)$, отмеченного до момента визуального обнаружения трещины).

Таким образом, появление сигналов АЭ высокой энергии ($80 \dots 105 \cdot 10^{-5}$ Дж, отмеченных двумя и более датчиками, удовлетворяющих заранее установленным задержкам времени, характерным для зоны контроля и фиксированных расстояний между датчиками, имеющих спектральные и кор-

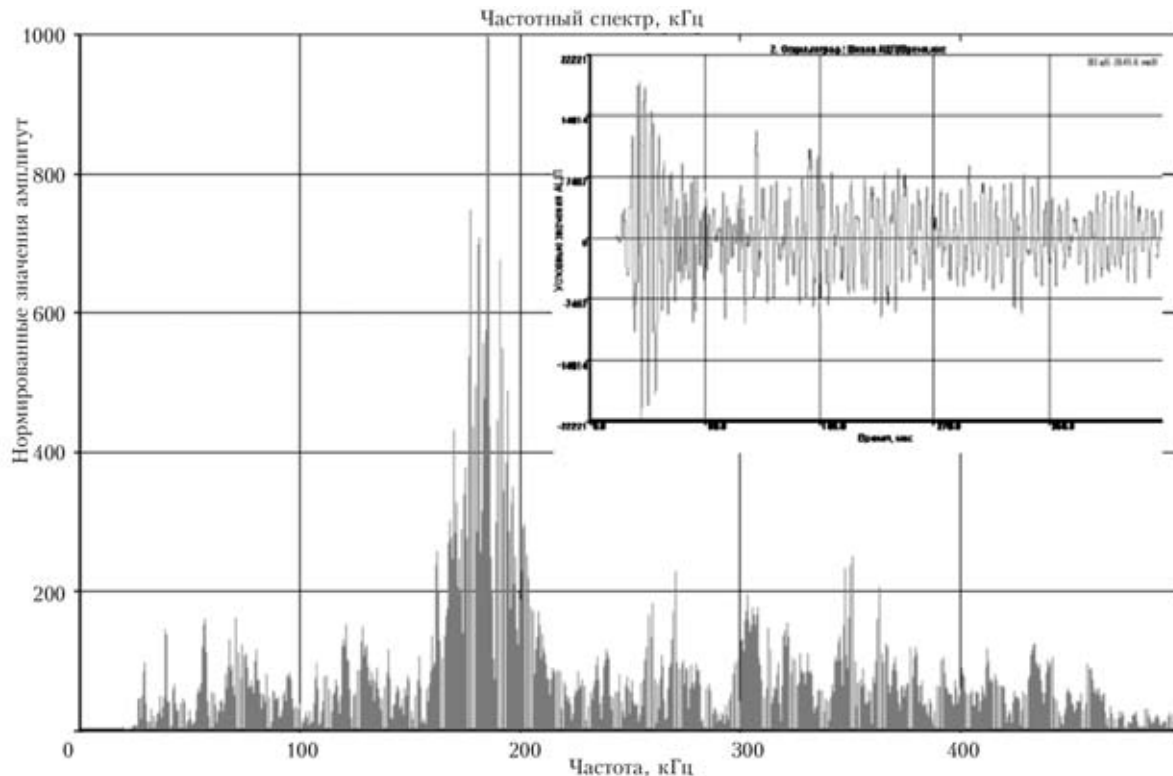


Рис. 12. Частотный спектр АЭ сигнала и форма АЭ сигнала

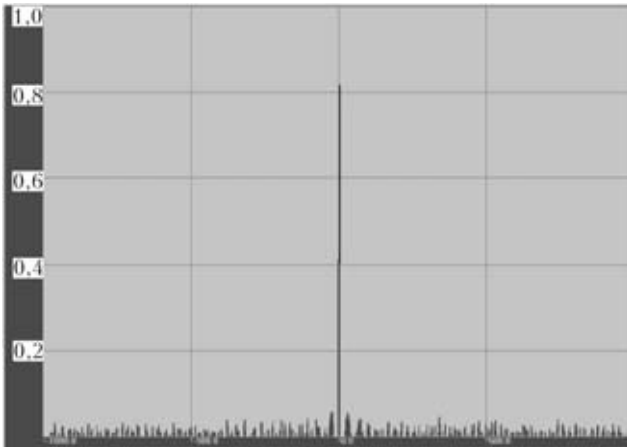


Рис. 13. Корреляция сигналов 1- и 2-го каналов

реляционные характеристики Ω и $\rho_{xy}(\tau)$, выше аналогичных характеристик АЭ источников, обусловлено локальными зонами пластической деформации и свидетельствует об образовании и развитии трещины в материале.

Выводы

Образование и подрастание трещины в диапазоне 2...4 мм сопровождается регистрацией АЭ сигналов с энергией $(80...105 \cdot 10^{-15})$ Дж.

Характеристикой, позволяющей отличить пластическую деформацию от подрастания трещины, может служить длительность АЭ сигнала. Так, для

пластической деформации будет характерна большая длительность АЭ сигнала $\sim 1000...3000$ мкс, а для подрастания трещины длительность АЭ сигнала будет $\sim 300...500$ мкс.

Коэффициент Ω , равный отношению частоты, на которой наблюдается максимум в спектре к ширине спектра, где отмечаются ослабления амплитуды до величины 0,4, будет существенно отличаться для сигналов АЭ, характерных для процесса образования зон локальной пластической деформации ($\Omega \approx 2$) и сигналов АЭ, характерных для развития трещины ($\Omega \approx 8...10$). Этот коэффициент может служить отличительной особенностью развития трещины.

Для процесса подрастания трещины характерным является средние и большие значения взаимно корреляционной функции $x(t)$ и $y(t)$ двух АЭ сигналов, пришедших на два датчика. Эти значения лежат в интервале 0,44...0,82 и в большинстве случаев эти значения выше 0,62 (максимального значения $\rho_{xy}(\tau)$, отмеченного до момента визуального обнаружения трещины).

1. Интернет ресурс. Сайт ООО «Интерюнис» www.interunis.ru.
2. Иванов В. И., Белов В. М. Акустико-эмиссионный контроль сварных соединений. — М.: Машиностроение, 1981. — 184 с.
3. Бендат Дж., Пирсол А. Применение корреляционного и спектрального анализа / Пер. с англ. — М.: Мир, 1983. — 312 с.

НУЦ «Сварка и контроль» при МГТУ им. Н. Э. Баумана, Москва

Поступила в редакцию
20.04.2004

«НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ-2005»

Уважаемые коллеги!

8-я конференция-выставка «Неразрушающий контроль-2005» будет проходить с 19 по 22 апреля 2005 г. в Киеве, в Институте электросварки им. Е. О. Патона НАНУ. Конференция-выставка проводится при поддержке Украинского общества неразрушающего контроля и технической диагностики (УО НКТД), Государственного комитета по надзору за охраной труда (Госнадзорхрантруда Украины), Государственной администрации по железнодорожному транспорту (Укрзализныця), Государственного комитета по стандартизации, метрологии и сертификации (Госпотребстандарт Украины), Национальной акционерной компании «Нефтегаз Украины», НАЭК «Энергоатом», Национального авиационного университета.

В рамках конференции планируются заседания отраслевых секций:

- ✓ охрана труда
- ✓ железнодорожный транспорт
- ✓ метрология и сертификация НК
- ✓ нефтегаз
- ✓ атомная энергетика
- ✓ авиация

Участие в конференции-выставке фирм-экспонентов предполагает демонстрацию продукции, доклад на общем собрании конференции и доклады на заседаниях отраслевых секций.

По всем вопросам просим обращаться в оргкомитет конференции-выставки:
Ассоциация ОКО
тел./факс: (044) 531-37-26, 531-37-27
E-mail: ndt@carrier.kiev.ua; www.ndt.com.ua



ИНЖЕНЕРНЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ДОПУСКАЕМЫХ РАЗМЕРОВ ГЕРМЕТИЧНЫХ «ПУЗЫРЕЙ» ПРИ ТЕХНИЧЕСКОМ ДИАГНОСТИРОВАНИИ НЕФТЕХИМИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ, ПОДВЕРГНУТОГО НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОМУ ВОДОРОДНОМУ РАСТРЕСКИВАНИЮ

В. П. ДЯДИН, Е. А. ДАВЫДОВ, А. Е. ЛИТВИНЕНКО, Е. А. ГОНЧАР

Рассмотрены особенности оценки технического состояния корпусов нефтехимического оборудования, подвергнутых низкотемпературному водородному растрескиванию. Предложен упрощенный инженерный подход для предварительной оценки степени поврежденности металла при наличии герметичных «пузырей». Представлены практические результаты УЗ-контроля и тензометрирования в месторасположении «пузырей» при гидравлическом нагружении натурного сепаратора.

Considered are the features of assessment of the technical condition of petrochemical equipment cases susceptible to low-temperature hydrogen cracking. A simplified engineering approach is proposed for preliminary assessment of the degree of metal damage in the presence of air-tight Ybubbles. The paper gives practical results of UST and strain gauging in the Ybubble location at hydraulic loading of the full-scale separator.

На установках первичной переработки нефти, эксплуатирующихся более 20 лет, в результате электрохимической коррозии в водных сероводородсодержащих средах довольно часто наблюдаются случаи низкотемпературного водородного растрескивания оборудования. При техническом диагностировании аппаратов, подвергшихся такого рода повреждениям, следует отметить ряд трудностей, связанных с определением их технического состояния и оценкой дальнейшего срока службы.

Так, на практике при оценке работоспособности оборудования принято вычитать весь поврежденный слой металла или в случае локального повреждения стенки рассматривать как ослабление коррозионной выемкой [1, 2]. Данный 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. Растущее давление молекулярного газа в несплошностях в зависимости от степени сопротивления материала росту трещиноподобных дефектов может вызвать его пластическое деформирование и формирование вздутий. Как следствие, это приводит к снижению прочности корпуса аппарата, что не исключает возможной разгерметизации стенки и выхода пожаро- и взрывоопасных углеродистых соединений.

Определение фактической величины давления и скорости притока молекулярного водорода при постоянном росте несплошности в общей постановке также является довольно сложной задачей и требует, помимо интегральных оценок состава среды и электрохимических процессов в ней, дополнительной вы-

резки пробы металла для проведения специальных лабораторных исследований. А это практически исключается при техническом диагностировании действующего оборудования.

В первую очередь, это связано с определением скорости развития растрескивания как в плоскости листа, так и в направлении его толщины. При этом необходимо дополнительно учитывать, что данный процесс в зависимости от размеров несплошностей, глубины залегания и вязкости разрушения металла K_{1c}^z может развиваться с пластическим деформированием прослойки и без него.

В случае, когда слоистое растрескивание корпуса аппарата происходит при низких значениях K_{1c}^z (без пластического деформирования прослойки), то несущую способность можно оценить исходя из критериев механики разрушения и результатов испытаний на ударную вязкость [3, 4]. Однако, это также требует привлечения специальных методов контроля и дополнительных лабораторных исследований вырезанной пробы металла из действующего оборудования.

При пластическом деформировании прослойки ($\epsilon > 0,2\%$) над расслоенной полостью (наличие «пузыря») появляется практическая возможность с помощью визуального и упрощенных неразрушающих методов контроля следить за изменением степени поврежденности (перегрузки) данных участков в процессе эксплуатации.

Систематическое наблюдение за такими дефектами при условии определения внутреннего давления в «пузыре» дает возможность практически оценить скорость стока молизованного газа в несплошность (можно принять, что состояние среды

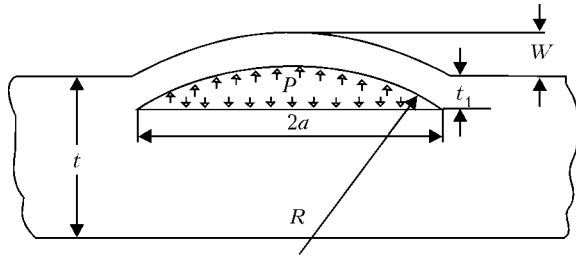


Рис. 1. Модель пластического выпучивания

в полости описывается уравнением состояния идеального газа и все процессы изотермические) и прогнозировать дальнейший срок службы оборудования. В этом случае при диагностическом обследовании наиболее полную и документированную картину степени и характера поврежденности слоистыми растрескиваниями действующего оборудования дают ультразвуковые компьютеризированные системы контроля, позволяющие визуализировать и сохранять результаты сканирования поврежденных участков. Это в дальнейшем позволяет по результатам повторного контроля реперных участков оценить скорость развития растрескивания и определить, на какой стадии находится данный процесс. Последнее базируется на многочисленных результатах обследований оборудования, полученных при использовании ультразвуковой автоматизированной системы и расчетных моделях достижения критических состояний в зависимости от характера слоистого растрескивания в водородосодержащих средах.

В данной статье предложен упрощенный инженерный подход к оценке внутреннего давления в «пузыре» и его влияния на напряженно-деформированное состояние наружной стенки корпуса поврежденного аппарата. Для решения данной задачи в первом приближении предлагается пластическая модель выпучивания прослойки (рис. 1) по аналогии гидравлического нагружения защемленной круглой пластины с постоянным радиусом кривизны. Основанием для данного допущения можно принять результаты работы [5], где отмечается, что при гидравлическом выпучивании защемленной пластины отклонение ее формы от сферической невелико.

В этом случае давление внутри сферической полости и ее объем (без учета упругого прогиба основания) при условии деформационного упрочнения материала можно описать простыми зависимостями:

$$V = \pi w(3a^2 + w^2) / 6, \quad (1)$$

$$P = 4\sigma_{0,2}(2/(3\varepsilon_r))^n(a/w + w/a)^{-(2n+1)} \times (1+2/3(a/w + w/a)^{-2})^{-1}t_1/a, \quad (2)$$

где w — прогиб выпученного участка; a — радиус полости; t_1 — толщина пластического слоя; t — толщина листа; $\sigma_{0,2}$ — предел текучести материала; ε_r — деформация соответствующая $\sigma_{0,2}$; n — величина деформационного упрочнения материала.

Полный вывод зависимости (2) не приводится в виду его очевидности. Он вытекает из геомет-

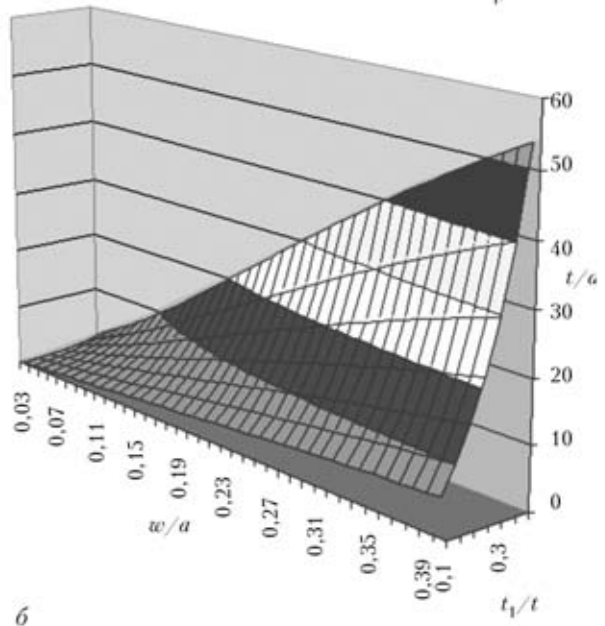
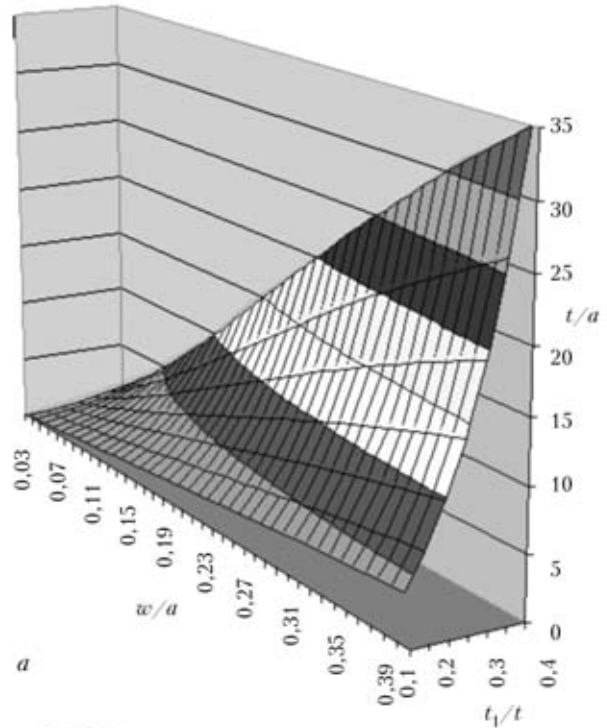


Рис. 2. Области допускаемых относительных размеров несплошностей, рассчитанные по формулам (5), (6) соответственно (а) и (б) для сталей марок 09Г2С и 16ГС

рического решения определения напряжения через пластическое деформирование срединного слоя выпучивающейся полосы по степенному закону упрочнения $\sigma = \sigma_{0,2}(\varepsilon/\varepsilon_r)^n$ (см. рис. 1) и разложения в ряд до второго члена функции угла половины дуги ($\text{arc sin } x \approx x + x^3/6$). При этом следует отметить, что для упрощения вывода зависимости (2) выражение для степенного упрочнения принималось как для одноосного растяжения.

В случае, когда относительная толщина пластического слоя мала по сравнению с толщиной листа, для равномерно нагруженной круглой пластины толщиной $(t - t_1)$, защемленной по контуру,



максимальные упругие изгибные напряжения σ_r на контуре и в центре соответственно определяются следующими выражениями [6]:

$$(\sigma_r)_{r=a} = -3Pa^2 / (4(t - t_1)^2), \quad (3)$$

$$(\sigma_r)_{r=0} = 3Pa^2(1 + \nu) / (8(t - t_1)^2), \quad (4)$$

где P — давление в полости; ν — коэффициент Пуассона.

Для упрощения выкладок пока достаточно рассмотреть изгиб на плоскости, а не на цилиндрической поверхности.

Подставляя выражение (2) в зависимость (3) и принимая за предельное состояние, например, по первой теории прочности, появление локальной пластической деформации на наружной поверхности корпуса в центре поврежденной зоны, можно оценить допустимые размеры несплошностей в зависимости от глубины их залегания $t - t_1$ и высоты выпучивания пластической прослойки w :

$$1 \geq 3(2 / (3\epsilon_T))^n (a/w + w/a)^{-(2n+1)} \times \\ \times (1 + 2/3(a/w + w/a)^{-2})^{-1} \times \\ \times (1 + \nu) / (2t/a(t/t_1 + t_1/t - 2)). \quad (5)$$

Для края, исходя из зависимостей (2) и (4), условие появления пластической деформации определяется выражением:

$$1 \geq 3(2 / (3\epsilon_T))^n (a/w + w/a)^{-(2n+1)} \times \\ \times (1 + 2/3(a/w + w/a)^{-2})^{-1} / (t/a(t/t_1 + t_1/t - 2)). \quad (6)$$

Как пример, на рис. 2 представлены области относительных критических размеров несплошностей, рассчитанные по формулам (5), (6) в зависимости от $(t/a, t_1/t, w/a)$ для сталей марок О9Г2С и 16ГС с принятыми значениями пределов текучести и временного сопротивления по ГОСТ14249-89. Величина деформационного упрочнения n определялась по инженерной зависимости, предложенной в работе [8]:

$$n = -0,182 + 0,222(\sigma_B / \sigma_{0,2}). \quad (7)$$

Как следует из выражений (5), (6), область допустимых размеров дефекта на рис. 2 должна лежать выше расчетной плоскости по оси t/a .

Представленные данные могут быть полезны для предварительной оценки технического состо-

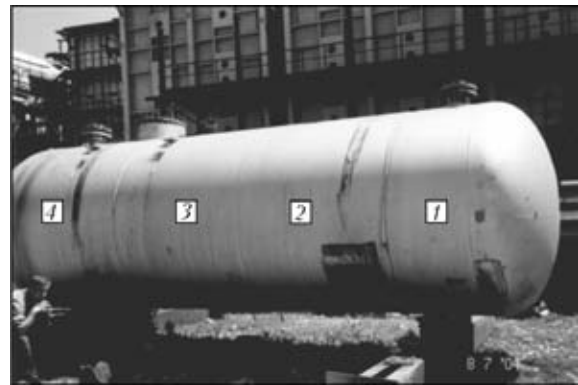


Рис. 3. Сепаратор, подвергнутый низкотемпературным водородным повреждениям (1-4 — номера обечаек)

яния и степени безопасной поврежденности технологического оборудования нефтеперерабатывающей промышленности соответствующими службами технического надзора.

Следует, однако, отметить, что в данном случае не учитываются рабочие напряжения в стенке аппарата, которые могут несколько ужесточить требования к предложенным допускаемым размерам дефекта. Для предварительной оценки их влияния на изменения напряженного состояния в зонах напряженных герметичных несплошностей были проведены экспериментальные исследования при условии гидравлического нагружения натурального сепаратора (рис. 3).

Данный аппарат находился в работе более 30 лет в газовой среде с содержанием H_2 до 95 % объема $\gamma = 0,16$ кг/мм²; H_2S до 0,004 % и в результате низкотемпературного водородного растрескивания корпуса на большую глубину был выведен из эксплуатации. Рабочее давление в сепараторе объемом 20 м³ составляло не более 3,9 МПа при температуре плюс 35 °С. Внутренний диаметр обечаек (общей длиной 5400 мм) составляет 2000 мм при толщине стенки и полуэллиптических днищ 36 мм. Аппарат был изготовлен в 1971 г. из стали марки 16ГС по ГОСТ 5520-62 (временное сопротивление разрыву не ниже $\sigma_B = 470$ МПа; предел текучести не ниже $\sigma_{0,2} = 300$ МПа; относительное удлинение в процентах $\delta_5 = 21$).

Простой аппарата на момент проведения тензометрирования, ультразвукового контроля и гидравлического нагружения составил 4 месяца.

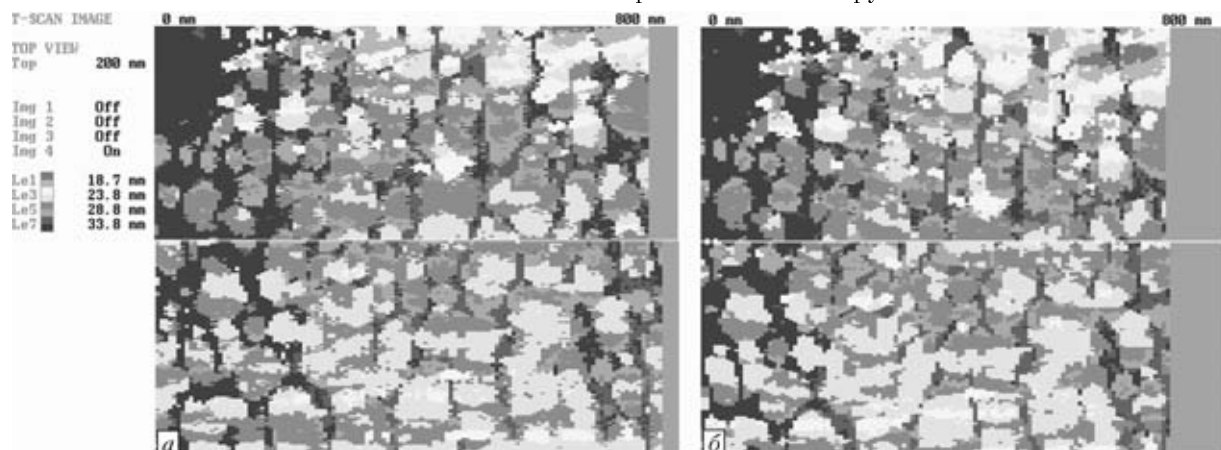


Рис. 4. Результаты ультразвукового сканирования участка с дефектом № 1 до (а) и после (б) гидравлического нагружения



Геометрические размеры дефектов

Дефект	Диаметр дефекта, мм (рис. 1, 2а)	Средняя толщина t_1 пластического слоя, мм	Толщина корпуса t , мм	Высота w пластического выпучивания, мм	Давление в полости по (2), МПа	Расчетные напряжения на внешней стенке, МПа	
						на краю дефекта (3)	в центре дефекта (4)
№ 1	80	7,0	35	3,0	15,8	24,2	15,7
№ 2	190	10,5	35	7,5	10,7	120,4	78,3

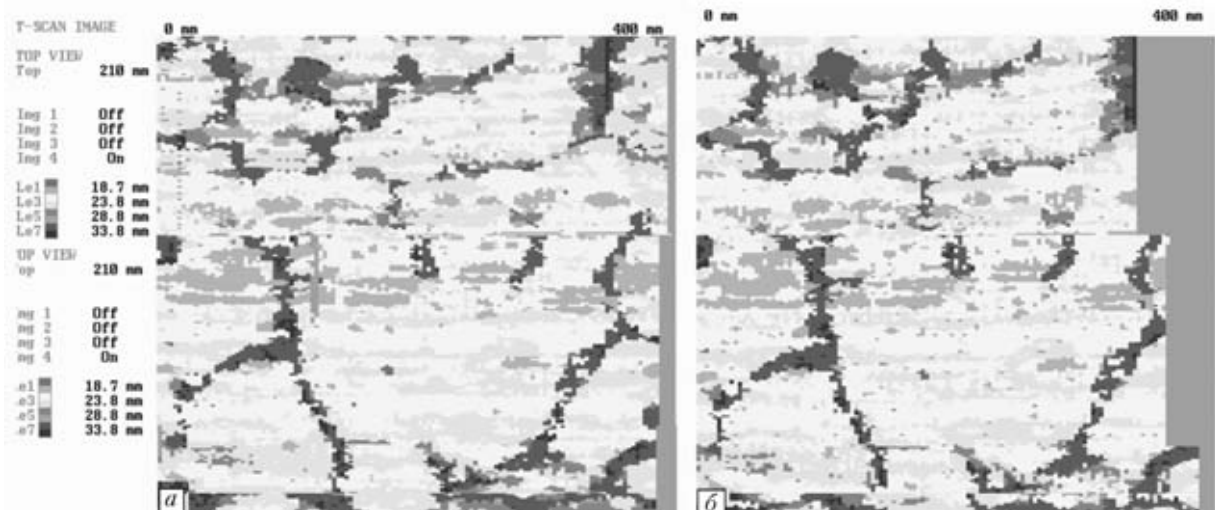


Рис. 5. Результаты ультразвукового сканирования участка с дефектом № 2 до (а) и после (б) гидравлического нагружения

В результате проведенного визуального контроля были выбраны два участка на корпусе, подвергнутые различным степеням низкотемпературного водородного повреждения. За основу в первую очередь выбирались зоны с герметичными вздутиями, залегающие на различных глубинах. Так, на обечайке № 2 (см. рис. 3, отсчет обечайек ведется справа налево) был выбран участок с дефектом № 1, расположенным на удалении 460 мм от кольцевого шва, а на нижней части обечайки № 3 дефект № 2, расположенный на удалении 570 мм от кольцевого шва. Дефекты выбирались таким образом, чтобы можно было максимально исключить влияние дниц и сварных соединений на напряженно-деформированное состояние данных участков при гидравлическом нагружении цилиндрической оболочки. Геометрические размеры дефектов и глубины их залегания представлены в таблице.

Результаты сканирования ультразвуковой компьютеризированной системой контроля указанных участков с дефектами № 1 и 2 до и после гидроиспытания аппарата представлены на рис. 4, 5. Как видно из рисунков, каких-либо значительных изменений в геометрических размерах исследуемых дефектов в плоскости проката после гидроиспытания аппарата не наблюдается.

При тензометрировании использовались тензорезисторы с базой 20 мм 2ПКБ-20-200ХБ с сопротивлением $R = 198,00...198,49 \text{ Ом}$.

Для измерения деформаций применялась тензостанция ИСД-3, в которой реализована мостовая схема с питанием на постоянном токе, позволяющая осуществлять схему термокомпенсацию.

Наклейка тензорезисторов осуществлялась на наружной поверхности корпуса согласно разрабо-

танным схемам тензоизмерений (рис. 6). Поскольку цилиндрическая оболочка при нагружении внутренним давлением испытывает основное воздействие от окружающих усилий, то и монтаж датчиков выполнялся также в этом направлении. Для их наклейки применялся согласно инструкции изготовителя клей Циакрин ЭО. Перед проведением измерений выполнялась тарировка тензорезисторов. Для этого использовалась тарировочная балочка, нагружавшаяся чистым изгибом. Результаты тарировки показали, что единица изменения сопротивления тензорезистора, зафиксированное посредством тензостанции, соответствует изменению напряжения 1,86 МПа.

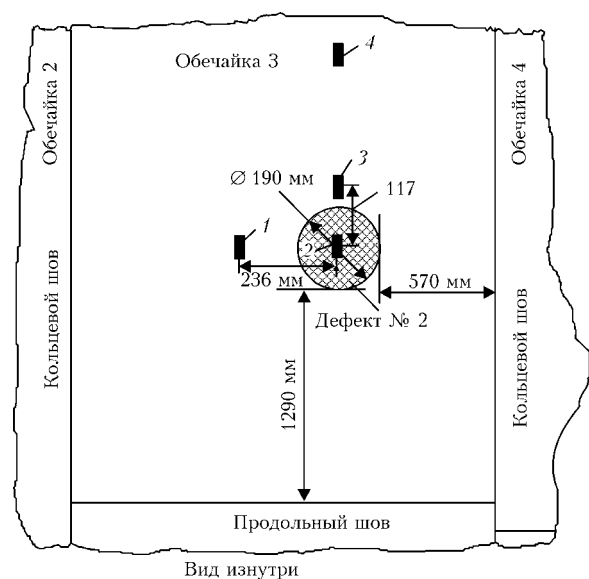


Рис. 6. Схема наклейки тензорезисторов 1-4 в зоне дефекта № 2

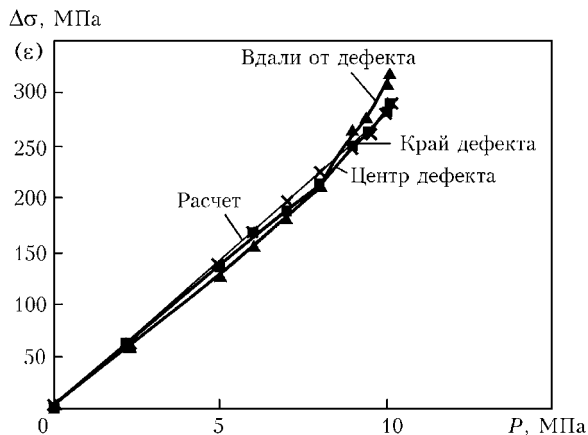


Рис. 7. Результаты тензометрирования по наружной стенке в центре, на краю и вдали от дефекта № 1

Нагружение сепаратора внутренним давлением осуществлялось поэтапно с шагом 1,0 МПа с помощью гидравлического насоса. Перед нагружением, а также после каждого этапа нагружения с выдержкой соответствующего давления не менее 5 мин осуществлялся опрос тензорезисторов с помощью переносной станции.

Измеренные изменения величины условных напряжений $\Delta\sigma$ (деформаций) на наружной стенке в центре исследуемых дефектов, на их краю и вдали от них представлены на рис. 7, 8.

Как видно из рис. 8, приращение условных напряжений (деформаций) на краю дефекта № 2 при росте гидравлического давления до 8,0 МПа практически совпадают с расчетными значениями и в 1,5 раза выше, чем в его центре. При увеличении давления свыше 8,0 МПа отмечается перелом кривой приращения условных напряжений (деформаций) для края дефекта, что косвенно свидетельствует о локальном изменении напряженно-деформированного состояния в этой области.

Определенный интерес также представляют полученные значения изменения напряжений (деформаций) в центральной части дефекта (приращение деформаций (напряжений) ниже расчетных значений на 25%), что, по всей видимости, является следствием возможного влияния изгибных моментов в данной области при нагружении аппарата [7].

Для дефекта № 1 каких-либо отклонений в приращении условных напряжений (деформаций) от расчетных не наблюдается, что косвенно свидетельствует об отсутствии резкого изменения в напряженно-деформированном состоянии в этой области в процессе нагружения (рис. 7).

Таким образом, даже исходя из предварительной оценки влияния внутреннего давления в аппарате на напряженно-деформированное состояние в зоне рассматриваемых дефектов, следует отметить его неоднозначную зависимость от геометрических размеров несплошностей и глубины их

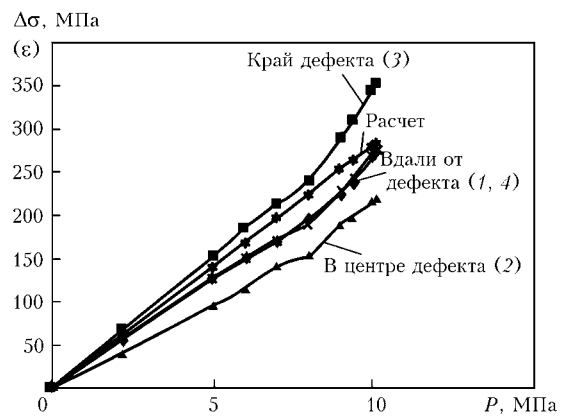


Рис. 8. Результаты тензометрирования по наружной стенке в центре, на краю и вдали от дефекта № 2 (1-4 — см. рис. 6)

залегания. Детальное рассмотрение такого влияния выходит за рамки данной работы и будет рассмотрено отдельно.

Выводы

На основе гидравлической модели выпучивания разработан упрощенный подход к оценке внутреннего давления в герметичном «пузыре» в зависимости от его геометрических размеров и глубины залегания.

Предложен критерий к допустимым размерам дефектов и представлены области их определения, которые могут быть полезны для предварительной оценки технического состояния оборудования соответствующими службами технического надзора.

Отмечено неоднозначное влияние внутреннего давления в аппарате на изменение деформированного состояния в зонах «пузырей» в зависимости от их геометрических размеров и глубины залегания.

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. 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.
4. Балуева А. В., Дашевский И. Н. Рост водородных отслоений в металле // Изв. РАН. Механика твердого тела. — 1999. — № 1. — С. 119-123.
5. Куркин С. А. Прочность сварных тонкостенных сосудов, работающих под давлением. — М.: Машиностроение, 1976. — 184 с.
6. Тимошенко С. П., Войновский-Кригер С. Пластины и оболочки. — М.: Наука, 1966. — 635 с.
7. Концентрация напряжений на участках коррозионных повреждений трубопроводов / Э. Ф. Гарф, М. А. Нетребский, П. С. Юхимец, С. В. Кобельский // Автомат. сварка. — 2000. № 6. — С. 3-6.
8. Дядин В. П. Сопоставление значений ударной вязкости образцов Шарпи и Менаже при вязком разрушении // Там же. — 2004. — № 4. — С. 24-29.



ПОДХОДЫ К СОЗДАНИЮ СТАНДАРТНЫХ ОБРАЗЦОВ ДЛЯ ТЕПЛООВОГО НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

В. А. СТОРОЖЕНКО, Н. Ф. ХОРЛО, С. Н. МЕШКОВ, В. А. МАСЛОВА

Рассмотрена одна из актуальных проблем развития теплового метода неразрушающего контроля в Украине, а именно — создание стандартных образцов для настройки и поверки тепловизоров. Предложено в качестве прототипа использовать решения, известные в ультразвуковом контроле. Разработана конструкция стандартного образца для тепловой дефектоскопии изделий с нарушениями сплошности и разнотолщиной. На ее основе создан виртуальный (компьютерный) стандартный образец, обладающий универсальными функциями.

One of the urgent problems in development of thermal method of NDT in Ukraine is considered, namely development of standard samples for adjustment and checking of thermovisors. It is proposed to use solutions known in UT as the prototype. A design of a standard sample has been developed for thermal flaw detection of items with discontinuities and different thickness. It was the basis to develop a virtual (computer) standard sample having unique functions.

Введение и постановка задачи. Тепловой неразрушающий контроль (ТНК) играет все более важную роль в технической диагностике промышленного оборудования. Тепловые методы контроля оборудования позволяют проводить технический мониторинг — диагностику в процессе эксплуатации, т. е. без отключения на время проведения профилактических работ, что особенно актуально для непрерывных производственных процессов. Современные приборы для термографии обладают широкими возможностями для отслеживания тепловой информации в реальном времени, что существенно повышает оперативность контроля. Поэтому тепловой контроль как один из методов НК находит все большее применение в экспертизе промышленной безопасности.

Анализ зарубежных публикаций [1–3] показывает, что наибольшее распространение тепловой метод получил в перечисленных ниже отраслях: электрооборудовании и электроэнергетике; машиностроении; металлургической промышленности; химической и нефтехимической промышленности; здания и сооружения; транспорт.

Важным и перспективным применением теплового контроля является также экологический мониторинг. Воздушная и космическая тепловизионная съемка ландшафта может быть использована для ряда целей, имеющих большое прикладное значение, а также принести стране и крупным предприятиям значительные экономические выгоды.

Для развития теплового метода НК необходимо не только всестороннее теоретическое и научно-техническое обоснование, но и наличие базы нормативно-технической документация, регламентирующей его применение на промышленных объектах. При создании системы нормативно-технической документации по тепловому НК необходимо придерживаться принципов комплексной стандартизации, которая обеспечила бы взаимную связь объектов стандартизации согласованием показателей, норм и требований к этим объектам.

Основные виды стандартов, необходимые, для комплексного развития метода:

общетехнические стандарты (термины и определения, обозначения, номенклатура и т. д.);

организационно-методические стандарты (основные положения, порядок и т. д.);

стандарты на продукцию (параметры и размеры, методы контроля, приемка, хранение и т. д.).

Главная задача стандартизации состоит в создании системы нормативно-технической документации, устанавливающей прогрессивные требования к продукции, ее разработке, производству и применению. Большое значение в настоящее время придается созданию стандартов с перспективными требованиями, качество и уровень которых должны оказывать решающее влияние на технические характеристики машин, приборов и средств автоматизации.

В СССР был разработан ряд государственных нормативных документов, регламентирующих применение теплового метода на промышленных объектах: ГОСТ 23483–79 «Контроль неразрушающий. Методы теплового вида. Общие требования»; ГОСТ 25314–82 «Контроль неразрушающий тепловой. Термины и определения»; ГОСТ 26782–85 «Контроль неразрушающий. Дефектоскопы оптические и тепловые. Общие технические требования»; ГОСТ 28243–96 «Пирометры. Общие технические требования»; ГОСТ 26629–85 «Метод тепловизионного контроля качества. Теплоизоляция ограждающих конструкций»; ГОСТ 26254–84 «Здания и сооружения. Методы определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций»; ГОСТ 26629–85 «Метод тепловизионного контроля качества. Теплоизоляция ограждающих конструкций».

Метод теплового контроля широко применяется в различных отраслях промышленности Российской Федерации. В последнее время принято ряд новых документов, среди них: РД 34.45-51.300–97 «Объемы и нормы испытаний электрооборудования». РАО «ЕЭС России»; ВСН 43–96 «Ведом-



ственные строительные нормы по теплотехническим обследованиям наружных ограждающих конструкций зданий с применением малогабаритного тепловизора». Департамент строительства г. Москвы; СП 13-101-99 «Правила надзора, обследования, проведения технического обслуживания и ремонта промышленных дымовых и вентиляционных труб». Госстрой РФ; «Методические указания по инфракрасной диагностике тепломеханического оборудования». РАО «ЕЭС России».

Ситуация, сложившаяся в нашей стране, не позволяет говорить о должном развитии теплового метода. Одна из причин, сдерживающих внедрение теплового НК на Украине, — отсутствие современной нормативной базы. К настоящему времени имеется только один нормативный документ — ГКД 34.20.302-2002 «Нормы испытаний электрооборудования», который практически является повторением документа РД 34.45-51.300-97.

Многие положения перечисленных выше ГОСТ, разработанных практически 20... 25 лет назад, устарели и требуют пересмотра. В частности, в них не отражено применение тепловизоров, существенно расширяющих возможности метода. Вследствие этого очевидные преимущества метода, связанные с применением тепловизоров, остаются слабо востребованными в промышленности, строительстве, энергетике и других отраслях, заинтересованных в обеспечении и поддержании высокого уровня надежности объектов повышенной опасности.

Для настройки и периодической проверки работоспособности аппаратуры ГОСТ 23483-79 рекомендует использование контрольных образцов, которые должны изготавливаться по технической документации разработчика аппаратуры. В документе практически отсутствуют конкретные требования к техническим параметрам контрольных образцов, что снижает достоверность контроля и затрудняет интерпретацию полученных результатов контроля.

Исходя из сказанного, для эффективного использования теплового метода необходимо провести ряд научно-исследовательских и организационных работ по стандартизации и метрологическому обеспечению метода.

Среди задач, которые необходимо решить, следует выделить следующие: а) сформулировать понятие чувствительности теплового метода контроля (в частности, при проведении дефектоскопии объекта контроля, т. е. обнаружении нарушений сплошности объектов контроля), определить и классифицировать факторы, определяющие чувствительность метода;

б) обосновать и установить определенные уровни чувствительности метода, позволяющие унифицировать применение теплового метода в различных отраслях промышленности, строительства и энергетики;

в) разработать требования к настроечным (стандартным) образцам, которые позволят проводить настройку чувствительности метода, определение геометрических размеров обнаруженных

дефектов (например, методом сравнения с тест-образцом), глубины залегания дефекта и т. д.;

г) разработать требования к методикам проведения контроля, так как от качества методики зависит достоверность и воспроизводимость результатов контроля;

д) выработать основные принципы расшифровки термограмм и термофильмов, получаемых в процессе проведения теплового контроля, позволяющие правильно интерпретировать полученные результаты (определение по характерным особенностям типов обнаруженных дефектов и артефактов).

Первоочередной задачей стандартизации теплового метода НК является разработка методологического подхода по разработке системы стандартных и настроечных образцов. Представляется целесообразным решение данной задачи строить по аналогии со стандартизацией УЗ неразрушающего контроля, нашедшего достаточно широкое применение.

Стандартные образцы в УЗ контроле. В УЗ неразрушающем контроле способы проверки параметров аппаратуры группируются по двум классам задач.

К первому относят проверку, выполняемую после выпуска аппаратуры, ее капитального ремонта и при промежуточной аттестации. Такую проверку выполняют согласно ГОСТ 23049-78 и ГОСТ 23667-85 с помощью стенов и электронных приборов, как правило, в специальных метрологических организациях. Проверку преобразователей осуществляют в соответствии с ГОСТ 23702-90 и ГОСТ 26266-90. Дефектоскопы и преобразователи проверяются при этом отдельно. Более совершенные стандарты на проверку преобразователей и дефектоскопов разработаны Европейским сообществом, это EN 12668-1 и EN 12668-2.

К задачам второго класса относят повседневную (оперативную) проверку аппаратуры, которая должна подтвердить ее работоспособность и установить значения характеристик, меняющихся во время эксплуатации. Проверяют совместно дефектоскоп, преобразователь и соединяющий их кабель. Такую проверку осуществляют с помощью стандартных образцов (СО), не используя дополнительных приборов. Специальный стандарт на такую проверку отсутствует, в значительной степени роль такого стандарта играет ГОСТ 14782-86. В Европейской системе стандартизации задачи второго класса выполняются согласно EN 12668-3.

Как видим, при решении задач второго класса необходимо наличие СО, которые выполняют роль универсального средства при проверке и настройке аппаратуры УЗ. Стандартный образец для средств акустического НК — средство измерения в виде твердого тела, предназначенное для хранения и воспроизведения значений физических величин, принятых в качестве единиц для измерения метрологических характеристик, отражающих показатели качества продукции в соответствии с назначением средств акустического НК и физическими особенностями реализуемых ими методов [7].



Различают государственные стандартные образцы (ГСО) и стандартные образцы предприятия (СОП).

ГСО предусмотрены стандартами, в которых указаны материал, из которого они изготовлены, их конструкция. Эти образцы, как правило, применяют для проверки и настройки аппаратуры при контроле широкого ассортимента продукции.

СОП рекомендованы ведомственными нормативно-техническими документами (НТД) или НТД предприятий. Они предназначены для проверки и настройки аппаратуры при контроле определенного вида продукции, где ГСО неприменимы (например, при контроле изделий с большой кривизной поверхности) или где применение СОП технически более удобно. Из числа СОП иногда выделяют отраслевые стандартные образцы (ОСО), которые рекомендуются ведомственными НТД.

ГСО, СОП и ОСО являются обязательной принадлежностью, без них невозможен достоверный контроль в соответствии с требованиями НТД.

В акустическом НК основным элементом СО является искусственный отражатель.

Искусственный отражатель — модель дефекта или поверхность стандартного образца, предназначенные для получения эхосигнала [7].

Существует множество типов искусственных отражателей, наиболее часто применяемых в технике

контроля ультразвуком. Вот некоторые из них: плоскодонный; плоский угловой; сферический; цилиндрический; сегментный.

В качестве примера рассмотрим государственный стандартный образец СО-1, который применяется для измерения и проверки основных параметров аппаратуры и контроля при эхоимпульсным методе УЗ неразрушающего контроля [6].

Стандартный образец СО-1 (рис. 1) применяют для определения условной чувствительности, проверки разрешающей способности и погрешности глубиномера дефектоскопа.

Образец СО-1 должен быть изготовлен из органического стекла марки ТОСП по ГОСТ 17622-72. Скорость распространения продольной УЗ волны на частоте $(2,5 \pm 0,2)$ МГц при температуре (20 ± 5) °С должна быть равна (2670 ± 133) м/с. Измеренное с погрешностью не хуже 0,5% значение скорости должно быть указано в паспорте на образец.

Принципы создания стандартных образцов для тепловой дефектоскопии. Физическую сущность процессов обнаружения дефектов (например, типа нарушения сплошности) при тепловой дефектоскопии можно кратко изложить следующим образом.

Информационным признаком наличия внутренней неоднородности (дефекта) является аномалия

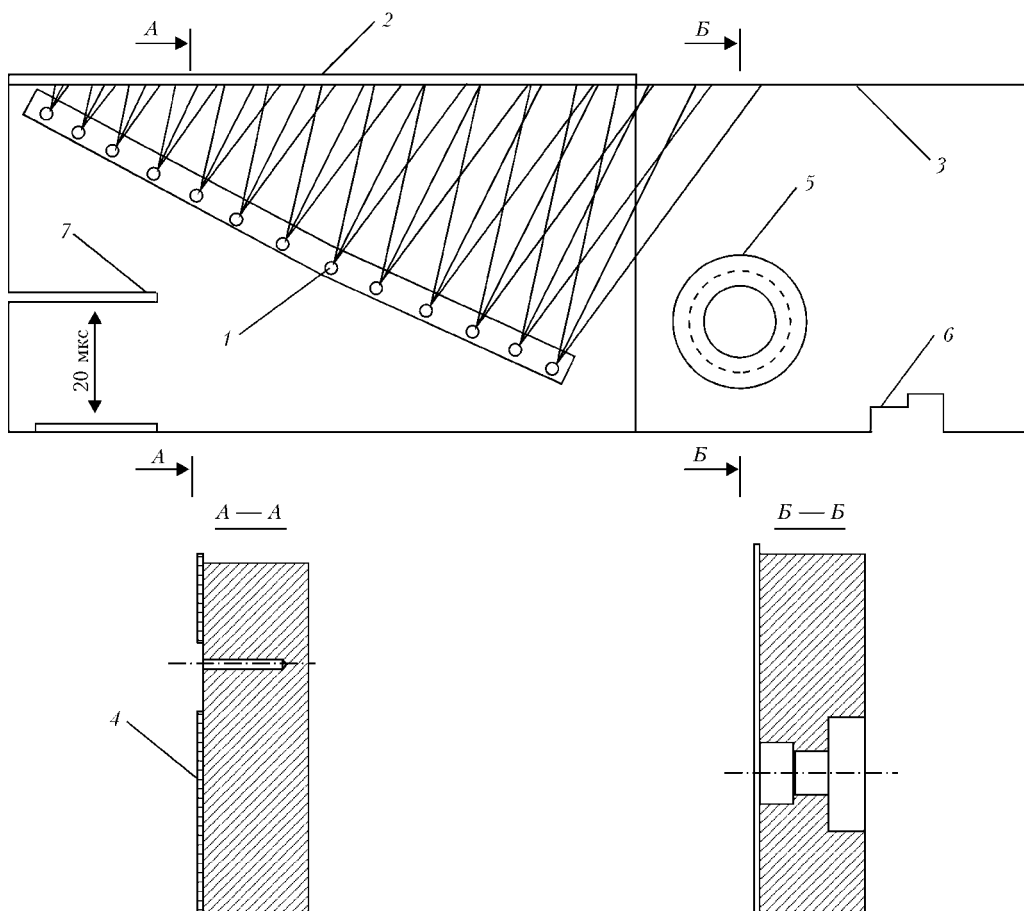


Рис. 1. Стандартный образец СО-1: 1 — отверстия для определения условной чувствительности; 2 — стенка; 3 — основание; 4 — прокладка, защищающая отверстия 1 от загрязнения; 5 — отверстия для определения разрешающей способности; 6 — пазы для определения разрешающей способности; 7 — паз для определения погрешности глубиномера; «20 мкс» — время, измеренное до целых значений микросекунд

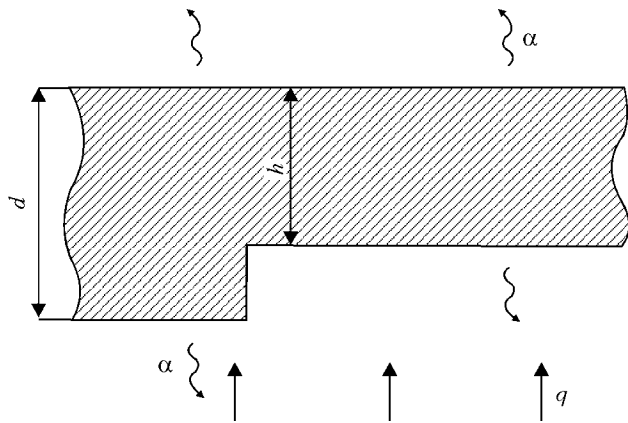


Рис. 2 Разнотолщинность однородной пластины

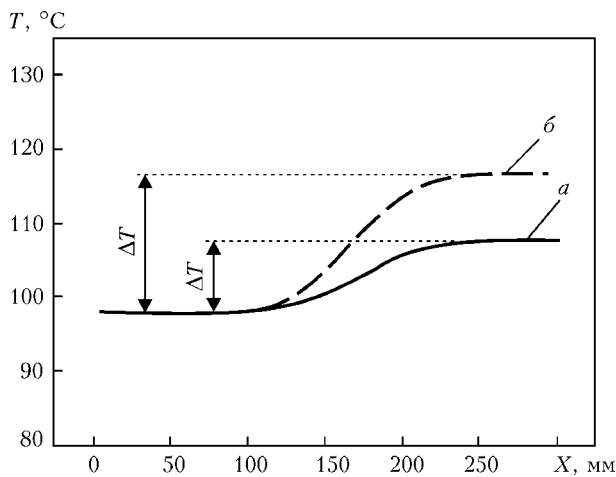


Рис. 3. Температурное распределение на верхней поверхности пластины, имеющей разнотолщинность $\Delta h/h$: 10 % (а) и 30 % (б)

температурного поля ΔT на поверхности объекта контроля. Влияние внутренней неоднородности (дефекта) на температурное поле теоретически обосновывается решением нестационарного уравнения теплопроводности для неоднородной структуры при соответствующих граничных условиях [4]. Иллюстрацией этого механизма может служить анализ влияния разнотолщинности пластины на ее температурное поле (рис. 2) [5].

В исходном состоянии температура пластины равна температуре окружающей среды T_c .

Для создания неравновесного теплового режима применяется воздействие на нижнюю поверхность пластины тепловым потоком плотностью q и учитывается теплоотдача в окружающую среду с коэффициентом α на внешних поверхностях.

Для нахождения температурного поля на верхней поверхности пластины решается уравнение теплопроводности [5] при соответствующих граничных условиях численным методом (методом конечных разностей).

Особенностью решения является то, что при нестационарном режиме температурное распределение на поверхности пластины с течением времени изменяется, при этом меняется и ΔT , обусловленное дефектом (разнотолщинностью).

На рис. 3 представлено температурное распределение на верхней поверхности пластины из

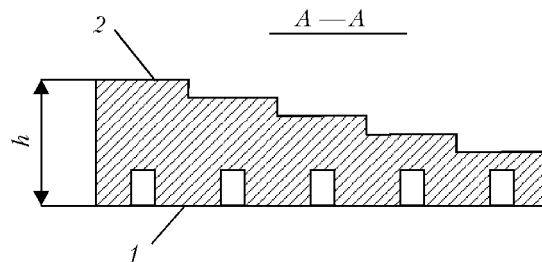
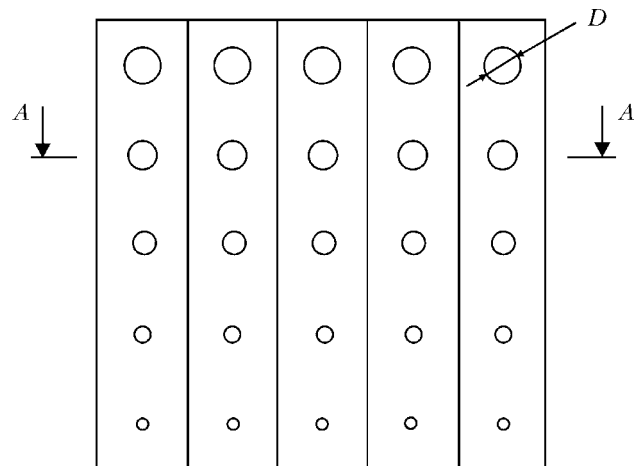


Рис. 4. Стандартный образец для ТНК: 1 — нагреваемая поверхность; 2 — контролируемая поверхность

материала с низкой теплопроводностью, полученное для момента времени, когда ΔT максимально (а). Здесь же показано распределение (б) при большей разнотолщинности. Видно, что температурный перепад ΔT существенно зависит от параметра дефекта $\Delta h/h$.

Рассмотренный пример подтверждает положение о том, что нестационарное температурное поле, создаваемое в объекте контроля искусственным путем, несет в себе информацию о его внутренней структуре.

Специфика процессов формирования сигнала от дефекта при ТНК не позволяет применять СО, заимствованные из акустического (или любого другого) метода, однако некоторые принципы можно использовать, например, наличие набора моделей дефектов как в образце, показанном на рис. 1.

Прототипом СО для теплового контроля может являться конструкция, предложенная Х. Малдагом [2], показанная на рис. 4.

Отличительной особенностью этой конструкции являются наличие в модели одновременно двух видов дефектов (нарушение сплошности и разнотолщинность), параметры которых (h , Δ) варьируются в определенных пределах.

Как показано выше, назначением СО является повседневная проверка и настройка аппаратуры (применительно к ТНК — тепловизора) перед проведением контроля.

Для этого предлагаемый СО достаточно установить в поле зрения тепловизора, включив нагрев СО со стороны поверхности 1 (рис. 4). При этом на поверхности 2 возникает температурное поле с перепадами ΔT , вызванными дефектами.



Температурное поле регистрируется тепловизором в виде термограммы, представляющей собой видимое изображение температурных неоднородностей, форма и расположение которых соответствуют заложенным в СО дефектам. При этом диапазон геометрических параметров дефектов (для отверстий — диаметра D , для разнотолщинности — $\Delta h/h$) в СО выбран таким, что определенная часть дефектов на термограмме не обнаруживается, что позволяет проверять порог чувствительности метода. Этот параметр фиксируется в паспорте СО и используется при тестировании и настройке тепловизора перед проведением контроля изделий данного типа.

Очевидно, что конкретный СО может использоваться в качестве настроечного образца только для одного конкретного вида изделий — из определенного материала и с определенной толщиной стенки.

Вместе с тем СО необходим и для решения другой задачи — определения порога чувствительности метода для разнообразных изделий с последующим принятием решения о целесообразности применения теплового метода. С этой целью предлагается физический вариант СО дополнить его компьютерной моделью, разработанной на основе теплофизических расчетов температурных перепадов на поверхности объекта, вызванных дефектами (т. е. сигнала от дефекта) [4]. Фактически речь идет о виртуальном СО, обладающем определенной универсальностью.

С помощью виртуального СО можно найти решения следующих задач: оценить применимость теплового метода к дефектоскопии конкретного вида изделия; определить оптимальный режим контроля и соответствующий ему порог чувствительности; сформулировать требования к изготовлению физического контрольного (настроечного) образца для данного вида изделия.

Для этого достаточно в компьютерную модель ввести данные о предполагаемом объекте контроля и параметрах предполагаемых дефектов (типа нарушения сплошности или разнотолщинности). Компьютер в реальном времени выдает ожидаемые значения полезного сигнала от дефектов, сравнение которых с чувствительностью регистрирующего устройства (тепловизора) позволяет определить параметры порогового дефекта и на этом основании принять решение о целесообразности применения теплового метода.

В случае положительного решения с помощью компьютерной модели можно определить опти-

мальный режим контроля, т. е. продолжительность теплового воздействия, время запаздывания и т. д.

Полученные данные являются исходной информацией для изготовления физического контрольного (настроечного) образца для данного вида изделия, что необходимо для внедрения тепловой дефектоскопии в производство.

Иллюстрацией данных, получаемых с помощью виртуального СО, может служить таблица чувствительности теплового метода, приведенная в [5]. Представленные в ней данные охватывают широкий диапазон материалов по теплофизическим характеристикам, что свидетельствует об универсальности предлагаемого виртуального СО.

Выводы

Для активизации внедрения теплового метода в промышленность Украины необходимо создание соответствующей нормативной базы.

Одним из ключевых моментов в решении этой проблемы является создание стандартных (настроечных) образцов. Для этого предложен подход, состоящий в использовании физического образца в сочетании с виртуальным СО. Такой подход позволяет придать СО определенную универсальность и использовать его в повседневной практике контроля определенного вида изделия и при оценке применимости метода к новым видам изделий.

Предложена конструкция физического образца, моделирующего дефекты типа нарушения сплошности и разнотолщинности и ему соответствующий виртуальный СО (компьютерная модель).

1. *Неразрушающий контроль*: Справ.: В 7 т. / Под общ. ред. В. В. Клюева. Т. 5: В 2 кн. Кн. 1: Тепловой контроль / В. П. Вавилов. Кн. 2: Электрический контроль / К. В. Подмастерьев, Ф. Р. Соснин, С. Ф. Корндорф и др. — М.: Машиностроение, 2004. — 697 с.
2. *Xavier P., Maldaque V. Theory and Practice of Infrared Technology for Nondestructive Testing.* — John Wiley & Sons, Inc., 2001. — P. 684.
3. *Вавилов В. П., Климов А. Г. Тепловизоры и их применения.* — М.: Интел универсал, 2002. — 88 с.
4. *Стороженко В. А., Вавилов В. П., Волчек А. Д. Неразрушающий контроль качества промышленной продукции активным тепловым методом.* — Киев: Техника, 1988. — 126 с.
5. *Маслова В. А., Стороженко В. А. Термография в диагностике и неразрушающем контроле.* — Харьков: Компания СМІТ, 2004. — 160 с.
6. *ГОСТ 14782-86. Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Методы ультразвуковые.* — М.: Изд-во стандартов, 1987. — 38 с.
7. *ГОСТ 23829-85. Контроль неразрушающий акустический. Термины и определения.* — М.: Изд-во стандартов, 1986. — 15 с.

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УПРУГИХ, ДЕФОРМАЦИОННЫХ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

В. А. СТРИЖАЛО, Л. С. НОВОГРУДСКИЙ, М. П. ЗЕМЦОВ

Изложен достаточно простой экспериментальный метод определения достоверных значений упругих, деформационных и энергетических характеристик конструкционных материалов, позволяющий учесть упругую деформацию силонагружающей цепи испытательной машины.

This paper describes a sufficiently simple experimental procedure for determination of valid values of the elastic, deformation and energy characteristics of structural materials, which allows for the elastic deformation of a loading force circuit of the testing machine.

Одними из основных показателей качества современных конструкционных материалов являются механические характеристики. При их определении возникает необходимость измерения с достаточно высокой точностью малых изменений геометрических размеров образцов (например, при определении упругих деформаций). Для реализации таких измерений обычно используют высокоточные тензометры либо тензорезисторные преобразователи, устанавливаемые (наклеиваемые) непосредственно на образец [1, 2]. Однако в определенных условиях испытаний при высоких, низких и криогенных температурах, в агрессивных средах, на облученных материалах и т. д., а также при измерении геометрических параметров образцов малых размеров (например, при определении модуля упругости при сжатии тонколистовых материалов) непосредственное определение изменяющихся размеров образцов весьма затруднено. В таких случаях используют довольно сложные системы крепления тензометров, которые позволяют вынести средство измерения из зоны влияния воздействующих факторов [3], но при этом являются источником дополнительных погрешностей измерения. В таких условиях испытаний об изменении размеров образцов также судят по изменению взаимного расположения подвижных и неподвижных нагружающих элементов испытательной машины, например, траверс или частей захватных устройств, находящихся вне зоны влияния воздействующих факторов. Для этой цели обычно используют механические или тензорезисторные измерители, считая, что изменение геометрических параметров образцов в направлении действия силы равно перемещению подвижного захвата или траверсы машины.

При проведении массовых испытаний в условиях заводских лабораторий, как правило, подобные измерения также осуществляют с помощью измерителей, устанавливаемых не на образцах.

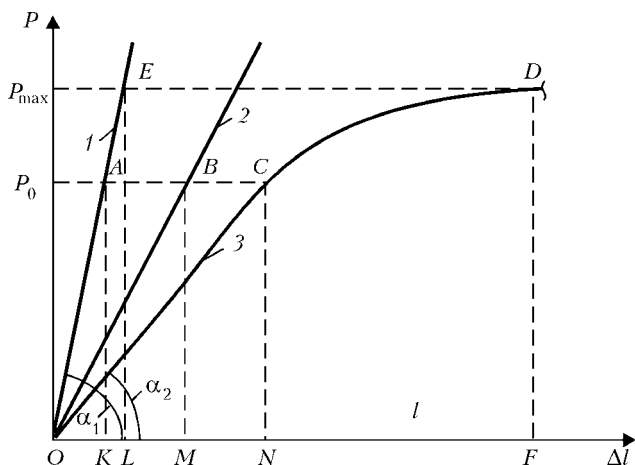
Однако при таких «внешних» схемах размещения измерителей перемещения фиксируется суммарное изменение геометрических размеров об-

разцов $\Delta l_{обр}$, упругих удлинений элементов силонагружающей цепи машины и возможное смятие материала $\Delta l_{см}$ в местах их сопряжений, головках образцов и т. д.:

$$\Delta l_g = \Delta l_{обр} + \Delta l_m + \Delta l_{см}$$

Если величина $\Delta l_{см}$ зависит от качества конструирования и изготовления элементов силовой цепи машины и образцов и может быть практически полностью устранена в результате предварительного обжатия, то величина определяется жесткостью испытательной машины $K_m = P/\Delta l_m$, характеризующей изменение упругого удлинения элементов цепи силонагружения машины Δl_m при изменении нагрузки P , возрастает пропорционально росту нагрузки и не устраняется. Величина жесткости силовой рамы устанавливается в технических условиях на конкретную машину [4], как правило, известна, что позволяет вычислить часть удлинения Δl_m , вызванную упругой деформацией силовой рамы. Однако суммарная жесткость переходных узлов, тяг, захватов, устройств герметизации ввода тяг в рабочую полость камеры и др., является величиной неизвестной и трудно рассчитываемой. Прогнозируемость изменения жесткости такой части силовой цепи, состоящей из ряда разнородных элементов, например, при изменении температуры, также недостоверна из-за неадекватного изменения жесткости каждого ее элемента. Таким образом, рассчитать величину части удлинения Δl_m , вызванную упругой деформацией указанных элементов с высокой точностью, не представляется возможным. А именно, удлинение этих элементов вносит, как правило, основной вклад в упругое удлинение силонагружающей цепи машины, так как силовые рамы испытательных машин обладают высокой жесткостью.

Данный подход позволяет определять указанные характеристики материалов с помощью серийных испытательных машин при «внешнем» расположении измерителей перемещения и не требует измерения изменений геометрических параметров непосредственно на образце.



Учет упругой деформации цепи силовонагружения машины при определении упругих, деформационных и энергетических характеристик материала (схема)

Сущность рассматриваемого подхода заключается в том, что установление истинных значений характеристик достигается за счет предварительного определения величины упругой деформации (упругого удлинения) элементов силовонагружающей цепи машины. Для этой цели применяется жесткий образец с весьма малым, практически нулевым, приращением упругой деформации при максимальной нагрузке, создаваемой машиной. Эффект максимальной жесткости достигается за счет использования для изготовления образца материала с высоким модулем упругости и выбора соответствующих данному требованию его размеров. При этом нагружение жесткого образца осуществляется в условиях абсолютно идентичных условиям испытаний исследуемых образцов. В результате нагружения жесткого образца до нагрузки, соответствующей максимально допустимому значению для данной машины, определяется жесткость цепи силовонагружения машины и значение $\Delta l(P) = P \operatorname{ctg} \alpha_1$, где α_1 — угол между диаграммой деформирования жесткого образца и осью удлинений на диаграммной плоскости (рисунок). Истинное значение упругого удлинения исследуемого образца $\Delta l_{\text{км}}$ определяется как разность между регистрируемыми при нагрузке P_0 значением его удлинения Δl_{0N} ($\Delta l_{0N} = P_0 \operatorname{ctg} \alpha_2$, где α_2 — угол между линией упругости исследуемого образца ОС и осью удлинений на диаграммной плоскости деформирования), и значением удлинения жесткого образца $\Delta l_{\text{ок}}$:

$$\Delta l_{\text{км}} = \Delta l_{0N} - \Delta l_{\text{ок}} = P_0(\operatorname{ctg} \alpha_2 - \operatorname{ctg} \alpha_1). \quad (1)$$

Здесь $P_0 \leq P_{\text{пн}}$ ($P_{\text{пн}}$ — нагрузка, при которой начинается пластическое деформирование исследуемого материала).

Общая величина полного удлинения образца Δl_{LF} по аналогии с (1) может быть определена как

$$\Delta l_{\text{обр}} = \Delta l_{LF} = \Delta l_{OF} - \Delta l_{OL} = \Delta l_{OF} - P_{\text{max}} \operatorname{ctg} \alpha_1.$$

Весьма существенные погрешности в определение характеристик разрушения материала может

внести неучет податливости испытательной машины при вычислении энергии, затрачиваемой на его деформирование и разрушение. При «внешнем» расположении измерителя перемещения площадь под регистрируемой в процессе нагружения образца диаграммы соответствует энергии W , затрачиваемой на его деформирование (разрушение) и упругое деформирование элементов силовонагружающей цепи машины. Площадь под диаграммой (см. рисунок) описывается выражением

$$S_{\text{OCD}F} = \int_0^{\Delta l_{\text{OF}}} P d(\Delta l),$$

а энергия упругого деформирования, определяемая при испытаниях жесткого образца, будет

$$A_{\text{упр}} = S_{\text{OEL}} = \frac{1}{2} P_{\text{max}} \Delta l(P_{\text{max}}).$$

Здесь P_{max} — значение нагрузки, соответствующее наибольшему, зафиксированному при нагружении исследуемого образца в точке Δ диаграммы. Работа, затраченная именно на деформирование (разрушение) образца определяется как $A_{\text{обр}} = W - A_{\text{упр}}$.

В качестве примера определили энергию, необходимую для продвижения трещины (на участке ее стабильного роста) в образцах стали 03X20H16AG6 при температуре 4,2 К. Для того, чтобы реализовать такой температурный режим, прямоугольный призматический образец с боковым надрезом и иницированной в нем трещиной (СТ 0,5), установленный в захватах испытательной машины гидравлического типа помещали в криостат с односторонним вводом силовых элементов, который закрепляли на неподвижной траверсе машины ZD-10 и заполняли жидким гелием. Значения перемещения точек приложения нагрузки к образцу, необходимые для вычисления энергии, определяли, измеряя перемещение подвижной траверсы относительно неподвижной. Поправку на упругое деформирование элементов силовонагружающей цепи машины находили с помощью образца, изготовленного из материала с высоким значением модуля упругости — термообработанной по специальному режиму стали 40X. При этом образец, представляющий собой прямоугольную призму без надреза и исходной трещины, закрепляли в тех же захватах, помещали в криостат с жидким гелием и нагружали до нагрузки, соответствующей максимальной при нагружении образца стали 03X20H16AG6. Вычисленное по диаграмме значение работы, затраченной на продвижение трещины в образце стали 03X20H16AG6, составило 12,5 Дж. Максимальное значение нагрузки, зафиксированное в процессе испытаний достигало 39500 Н. Для указанного уровня нагрузки накопленная элементами силовонагружающей цепи машины энергия равна 2,2 Дж. Следовательно энергия, затраченная собственно на продвижение трещины, составит 10,3 Дж или 82,5 % от вычисленного по диаграмме значения. Иными словами, погрешность определения величины указанной энергии при неучете



чете упругой деформации элементов цепи силонагружения могла бы составить 21,3 %!

Дальнейшее развитие указанного подхода позволяет определять модули упругости материалов с использованием серийных испытательных машин в условиях ограниченного доступа к объекту испытаний и без специальных измерительных устройств, устанавливаемых непосредственно на нем. Для этой цели необходимо в абсолютно одинаковых условиях испытаний зафиксировать начальные, соответствующие упругому деформированию, участки диаграмм растяжения образца исследуемого материала, жесткого образца и образца материала с известным в данных условиях модулем упругости.

Последовательность операций при определении модуля упругости исследуемого материала следующая:

1) нагружение жесткого образца и регистрация диаграммы деформирования ОА (поз. 1, см. рисунок);

2) нагружение образца с известным модулем упругости $E_{изв}$ и регистрация начального участка ОВ диаграммы деформирования (поз. 2);

3) нагружение образца исследуемого материала с одинаковыми с образцом по п. 2 геометрическими параметрами и регистрация начального участка ОС диаграммы деформирования (поз. 3);

4) определение истинных значений упругих деформаций образца с известным модулем упругости $E_{изв}$ и образца исследуемого материала E при одинаковом уровне нагрузки P_0 :

$$\epsilon_{изв} = \frac{\Delta l_{ОМ} - \Delta l_{ОК}}{l_0} \text{ и } \epsilon = \frac{\Delta l_{ОН} - \Delta l_{ОК}}{l_0},$$

где l_0 — начальная расчетная длина образца.

Несложно показать, что при соблюдении изложенных в пп. 1–4 требований модуль упругости исследуемого материала E будет

$$E = E_{изв} K, \text{ где } K = \epsilon_{изв} / \epsilon.$$

С использованием такого подхода был определен модуль упругости пластин слоистого стеклопластика толщиной 10 мм в поперечном направлении при сжатии на машине Инстрон. В качестве материала с известным модулем упругости использовали сплав Д16.

Поправку на упругое деформирование цепи силонагружения определяли в результате сжатия опор без образца. При одинаковых уровнях нагрузки перемещение при сжатии без образца составило 0,038 мм, при сжатии образца сплава Д16 — 0,050 мм, а при сжатии образца из стеклопластика — 0,059 мм. Расчетное значение модуля упругости слоистого стеклопластика — 11000 МПа. Паспортное значение модуля упругости — не менее 10800 МПа.

Выводы

Рассмотренные в работе подходы позволяют учесть упругую деформацию цепи силонагружения испытательной машины при определении упругих, деформационных и энергетических характеристик материалов, избежав тем самым весьма значительных погрешностей при нахождении их значений, а также определять значения статического модуля упругости материалов без применения специальных измерительных устройств.

1. *E111-61*. Standard Method of Test for Young's modulus at Room Temperature. — Annual book of Standards, Part 31, 1973. — P. 414–418.
2. *Тарнопольский Ю. М., Кинцис Т. Я.* Методы статических испытаний армированных пластиков / 3-е изд. перераб. и дополн. — М.: Химия, 1981. — 271 с.
3. *Алексюк М. М., Борисенко В. А., Краценко В. П.* Механические испытания материалов при высоких температурах. — Киев: Наук. думка, 1980. — 208 с.
4. *ГОСТ 28840-90*. Машины для испытания материалов на растяжение, сжатие и изгиб. Общие технические требования. — Введен 01.01.93. — М.: Изд-во стандартов, 1991. — 10 с.

К ВОПРОСУ ПОЛУЧЕНИЯ ПРОЕКЦИОННЫХ ДАННЫХ В УЛЬТРАЗВУКОВОЙ РЕКОНСТРУКТИВНОЙ ТОМОГРАФИИ: ПРЯМОУГОЛЬНАЯ ДИСКРЕТИЗАЦИЯ И ВЫБОР КОЛИЧЕСТВА НАПРАВЛЕНИЙ ЗОНДИРОВАНИЯ

О. Е. ЛЕВИЦКИЙ

Сформированы условия корректного выбора линейного шага дискретизации и числа направлений зондирования в азимутальной плоскости объекта при получении проекционных данных в ультразвуковой трансмиссионной реконструктивной томографии.

The main requirements for UT patterns for tomographic investigation of the structure of the material are defined, and a practical pattern of tomographic scanning is considered for sheet materials, using the shadow method of sounding and its features with one-sided access to one of the surfaces.

Введение. Главная задача реконструктивной вычислительной томографии состоит в восстановлении пространственной функции по конечному числу ее линейных интегралов (проекций), причем процедура восстановления должна соответствовать схеме сканирования. Следует отметить, что дискретный характер сбора проекционных данных в томографии носит принципиальный характер. При реализации произвольной практической схемы сканирования исследуемой области или участка всегда возникает дискретизация либо по линейному перемещению, либо по углу поворота, или по первому и второму. Поэтому влияние конечности выборки и схемы сканирования (схемы получения проекционных данных) на точность и разрешающую способность восстановления — один из важнейших вопросов реконструктивной томографии.

В этой работе сформулированы условия корректности дискретизации: выбор линейного шага перемещения сканирующего устройства и количество направлений зондирования в азимутальной плоскости.

Двумерная функция $f(x, y)$ с областью определения D , что описывает объект зондирования по исследуемой характеристике или параметру, однозначно определяется функцией Радона $\bar{f}(p, \varphi)$ [1–3]:

$$\bar{f}(p, \varphi) = \iint_{\infty} f(x, y) \delta[p - (x \cos \varphi + y \sin \varphi)] dx dy, \quad (1)$$

где согласно рис. 1: p — расстояние от начала координат до прямой L , по которой идет интегрирование (определяет положение лучевой проекции); φ — угол между прямой p и координатной осью x ; $\delta(\bullet)$ — дельта-функция.

Согласно (1) преобразование Радона определяется как интегрирование функции f вдоль всех возможных прямых L , которые пересекают область определения D .

Выражение (1) можно представить в более лаконичной форме, если воспользоваться векторной записью уравнения прямой на плоскости [4]:

$$\bar{f}(p, \bar{\tau}) = \iint_{\infty} f(\bar{x}) \delta[p - (\bar{x}, \bar{\tau})] d\bar{x}, \quad (2)$$

где $p = (\bar{x}, \bar{\tau})$ — уравнение прямой на плоскости в векторной форме; $(\bar{x}, \bar{\tau}) = x \cos \varphi + y \sin \varphi$ — скалярное произведение векторов \bar{x} и $\bar{\tau}$; $\bar{\tau}$ — единичный вектор вдоль прямой p с координатами соответственно $(\cos \varphi, \sin \varphi)$.

В случае функции трех переменных $f(x, y, z)$, используя векторную запись $\bar{\tau} = (x, y, z)$ и единичный вектор $\bar{\tau}$, преобразование Радона записывается аналогично (2):

$$\bar{f}(p, \bar{\tau}) = \iiint_{\infty} f(\bar{x}) \delta[p - (\bar{x}, \bar{\tau})] d\bar{x}, \quad (3)$$

где $(\bar{x}, \bar{\tau}) = \tau_1 x + \tau_2 y + \tau_3 z = p$ — уравнение плоскости интегрирования; p — расстояние до плоскости интегрирования; $\bar{\tau}$ — единичный вектор вдоль прямой p , определяющий ориентацию плоскости.

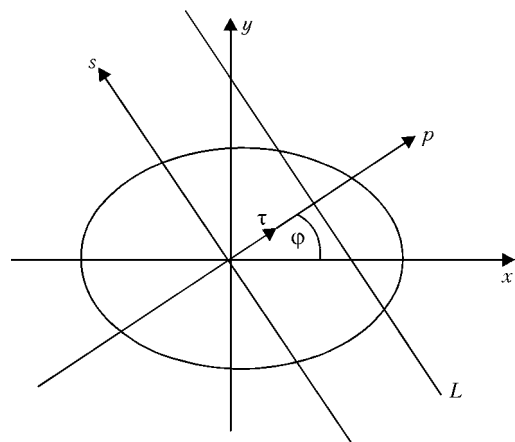


Рис. 1. К определению лучевой проекции

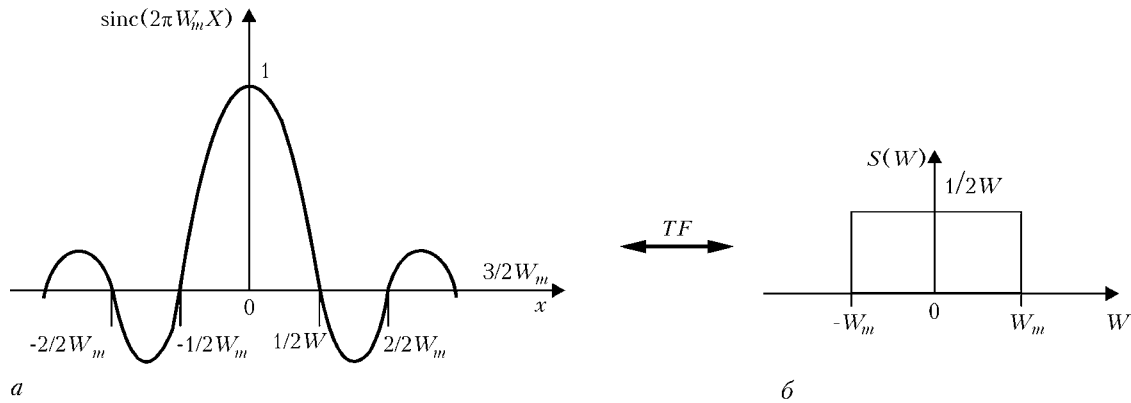


Рис. 2. Функция $\text{sinc}(2\pi W_m x)$ и ее фурье-спектр

Следует отметить, что согласно (3) *интегрирование выполняется по плоскостям*, а не по прямым согласно (2).

Однако, как было отмечено выше, эта функция известна для конечного множества точек области его определения (ρ, φ) . Возникают очевидный вопрос: возможно ли однозначно восстановить распределение f , имея ограниченную информацию об объекте, или иначе — возможно ли точно восстановить сечение объекта по конечному числу дискретных проекций? Эта задача имеет утвердительный ответ для определенного класса объектов [2]. Так, например, для осесимметричного распределения исследуемой характеристики объекта, когда функция Радона переходит в уравнение Абеля, достаточно одной проекции. Для объектов, сечения которых можно представить через произведение двух функций с разделенными переменными, — достаточно иметь две проекции.

В общем случае, данная проблема с математической точки зрения исследовалась Ф. Наттерером (детальнее см. [2], розд. II.3). Согласно Ф. Наттереру (выводы к теореме II.3.7) значения лучевых интегралов $\bar{f}(\rho, \varphi)$ (луч-проекций) для конечного числа направлений φ_i , не определяют однозначно функцию f из класса C_0^∞ , если даже ρ пробегает все значения из интервала определения. Как отмечает автор, для получения положительного результата на функцию f необходимо наложить определенные ограничения. Наилучшие результаты получаются для функций с ограниченной шириной спектра.

В данной работе мы будем рассматривать именно такие функции и получим для них корректные условия дискретизации, а также получим оценку разрешающей способности для случая, когда наборы проекций определяются для конечного числа азимутальных направлений.

Теорема отсчетов. Поскольку произвольное изображение (двумерное или трехмерное) можно описать с помощью некоторой функции $s(\bar{x})$, математическая задача состоит в дискретизации функции $s(\bar{x})$ и ее восстановлении по дискретному множеству значений отсчетов. Здесь \bar{x} — вектор координат: $\bar{x} = (x_1, x_2)$ и $\bar{x} = (x_1, x_2, x_3)$ соответственно в 2- и 3-мерном случаях. Фундаментальным результатом в этой области является теорема отсчетов или теорема Шеннона. Эта теорема

собственно формулируется для функций (сигналов) с ограниченной полосой спектра [5–7]. Прежде чем перейти к содержанию теоремы Шеннона сделаем несколько предварительных замечаний.

Будем говорить, что определенная в n -мерном действительном пространстве R^n функция имеет ширину спектра $B = W_m$, если фурье-спектр этой функции локально интегрирован и равен нулю вне границ сферы радиусом W_m . Наглядным примером функции с ограниченным спектром в одномерном случае является sinc -функция

$$\text{sinc}(2\pi W_m x) = \begin{cases} \frac{\sin 2W_m x}{2\pi W_m x}, & x \neq 0; \\ 1, & x = 0. \end{cases}$$

Ширина спектра функции $\text{sinc}(2\pi W_m x)$ равна $B = 2W_m$, поскольку она представляет собой обратное преобразование Фурье «прямоугольной функции» $S(f)$ (рис. 2), которая тождественно равна нулю за пределами отрезка $[-W_m, +W_m]$:

$$S(f) = F[\text{sinc}(2\pi W_m x)] = \begin{cases} \frac{1}{2W_m}, & -W_m < f < +W_m; \\ 0 & \text{при } f \leq -W_m \text{ и } f \geq +W_m. \end{cases}$$

Заметим, что для непрерывного действительного сигнала $s(x)$ с ограниченным спектром, верхняя частота которого равна W_m , его фурье-спектр всегда симметричная функция с полной шириной спектра, равной $2W_m$ (см. рис. 2, б)

В двумерном $[\bar{x} = (x_1, x_2)]$ и трехмерном $[\bar{x} = (x_1, x_2, x_3)]$ случаях функция sinc задается формулами соответственно

$$\begin{aligned} \text{sinc}(\bar{x}) &= \text{sinc}(x_1)\text{sinc}(x_2), \\ \text{sinc}(\bar{x}) &= \text{sinc}(x_1)\text{sinc}(x_2)\text{sinc}(x_3). \end{aligned}$$

Как видно из графика функции $\text{sinc}(2\pi W_m x)$ (рис. 2, а), она положительна при $|x| < 1/2W_m$, а за пределами этого интервала описывает затухающие колебания.

Рассмотрим двумерный случай. В терминах цифровой обработки изображений функция $\text{sinc}(2\pi W_m x)$ описывает «элемент изображения» размером $1/2W_{mx} \times 1/2W_{my}$. Следовательно, функция $s(x, y)$ с шириной спектра $B_x = W_{mx}$ и $B_y = W_{my}$ (рис. 3) не содержит деталей размером меньше $1/2W_{mx} \times 1/2W_{my}$ и, следовательно, для

описания деталей такого размера необходимо выбирать функцию с радиусом полосы фурье-спектра в частотной области не менее $\max(W_{mx}, W_{my})$.

Таким образом, можно принять, что детали изображения, описываемого некоторой функцией $s(x, y)$, с линейными размерами, меньшими $1/2W_m$, в спектральной (частотной) области описываются значениями спектральной функции $S(\omega)$ при $|\omega| > W_m$, и наоборот — значение $S(\omega)$ при $|\omega| < W_m$ характеризуют более крупные детали. В теории цифровой обработки изображений (двумерный случай) переменная ω определяет *пространственную частоту*.

Следует отметить, что поскольку реальные сигналы, как правило, имеют конечную длительность, они описываются функциями на ограниченном интервале. Фурье-спектр $S(\omega)$ такой функции, строго говоря, неограниченный. Однако, если значения компонент пространственного спектра при $|\omega| > W_m$ ничтожно малы (т. е. вся информация о пространственно-частотной структуре изображения сосредоточена в круге (или шаре) радиусом $B = W_m$, то говорят, что функция $s(x, y)$ имеет эффективную ширину спектра $B_e = W_m$. Функции с эффективной шириной спектра допускают такую же интерпретацию, как и функции со строго ограниченным спектром.

Сформулируем теорему отсчетов в случае дискретизации изображения двумерного распределения.

Пусть функция (сигнал) $s(x, y)$ — функция (сигнал) с шириной спектра $B = W_m$, и для шага дискретизации справедливо условие $X_0 \leq 1/2W_m$, $Y_0 \leq 1/2W_m$. Кроме того, функция (сигнал) ограничена по величине при $-\infty < x, y < \infty$, а ее спектр не имеет особенностей при $|\omega| = W_m$. Тогда функция (сигнал) $s(x, y)$ однозначно определяется по дискретным отсчетам $s(k/2W_m)$ ($k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$) и может быть представлена в виде ряда

$$s(x, y) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} s\left(\frac{k}{2W_{mx}}\right) \frac{\sin 2\pi W_{mx}(x - \frac{k}{2W_{mx}})}{2\pi W_{mx}(x - \frac{k}{2W_{mx}})} \times$$

$$\times \sum_{k=-\infty}^{\infty} s\left(\frac{k}{2W_{my}}\right) \frac{\sin 2\pi W_{my}(y - \frac{k}{2W_{my}})}{2\pi W_{my}(y - \frac{k}{2W_{my}})}, \quad (4)$$

где W_{mx}, W_{my} — граничные значения частоты спектра функции $s(x, y)$ в прямоугольной сетке частот соответственно по осям w_x и w_y (рис. 3).

Иначе говоря, отсчеты функции $s(x, y)$ в точках, которые расположены равномерно в прямоугольной сетке с шагом $X_0 = k/2W_{mx}$ и $Y_0 \leq 1/2W_m$, полностью определяют $s(x, y)$ во всех других точках.

Условие $X_0 = k/2W_{mx}$, $Y_0 \leq 1/2W_{my}$ называется условием Найквиста. Если принять во внимание, что фурье-спектр дискретизованной функции $S_s(\omega)$ представляет собою периодическое

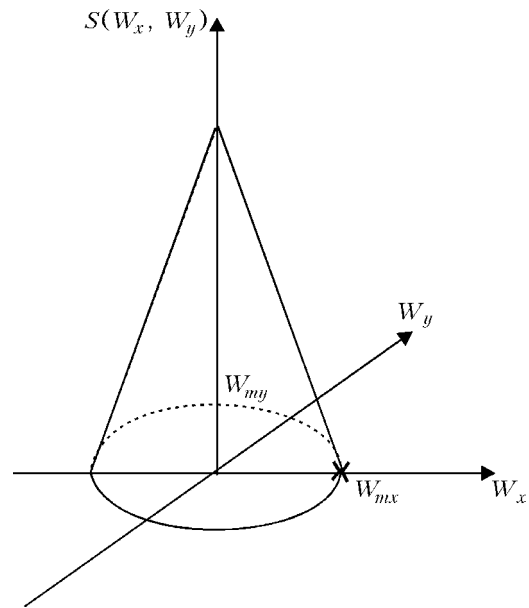


Рис. 3. Спектр исходной функции $s(x, y)$ в прямоугольной сетке координат

продолжение спектра исходной функции (сигнала) $S(\omega)$ с периодами соответственно $2W_{mx}$ и $2W_{my}$, то условие Найквиста обеспечивает отсутствие эффекта наложения частот, который при восстановлении согласно (4) приводит к заметной разности между восстановленным сигналом после дискретизации и исходным, что подлежал дискретизации [5, 6].

Теорема Шеннона нашла широкое применение в теории и практике обработки сигналов (одномерный вариант теоремы), цифровой обработки изображений (двумерный вариант теоремы) и цифрового спектрального анализа (одно- и двумерные варианты теоремы).

В отечественной и технической литературе советских времен указанную теорему связывают с именем В. А. Котельникова, в иностранной (в основном американской и английской) подобную теорему называют теоремой Шеннона или теоремой отсчетов.

Соотношение продолжительность — полоса и разрешающая способность по частоте. Функции, которые используются в теории сигналов (одномерные функции или временные функции-сигналы) или в теории обработки изображений (двумерные функции или пространственные функции-сигналы), известны лишь на ограниченном интервале — временном или пространственном. Согласно теореме отсчетов для точного восстановления функции с ограниченным спектром необходимо проводить дискретизацию по неограниченной области определения носителя функции (во временных или пространственных координатах). Однако, функция или сигнал не могут быть одновременно ограничены по продолжительности и полосе спектра [5, 8, 9]. И хотя любая функция-сигнал не может быть строго ограниченной по продолжительности или полосе, ее все-таки можно охарактеризовать в некоторой конечной пространственной области диаметром L_e или в конечном

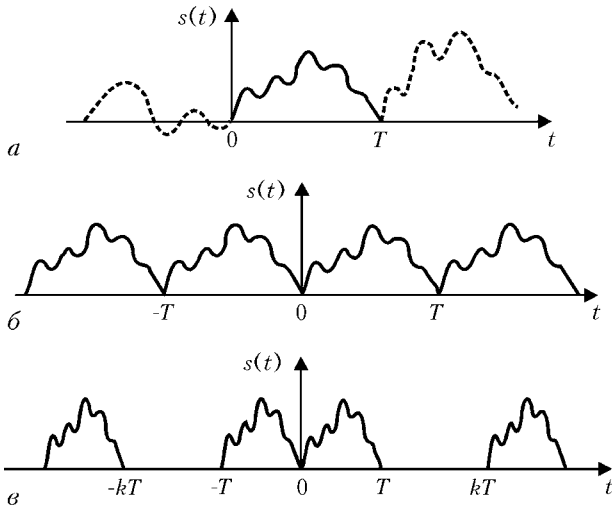


Рис. 4. Сигнал $s(t)$ с ограниченным временным интервалом задания $(0, T)$

временном интервале T_e , в которых сосредоточена доминирующая часть ее энергии при представлении соответственно в пространственных или временных координатах, и некоторой областью диаметром (интервалом) W_e , в которой сосредоточена доминирующая часть ее энергии при представлении ее в частотной области. В этом случае говорят об эффективной продолжительности функции-сигнала $L_e(T_e)$ и эффективной ширине частотной полосы W_e .

Можно показать, что при задании непрерывной функции-сигнала $s(\bar{x})$ (с ограниченным спектром) на конечном интервале нельзя получить больше, чем определенное число точек спектра, причем это число определяется продолжительностью функции в области ее задания. Для наглядности и удобства осмысления математических выкладок рассмотрим одномерный случай во временной области.

Пусть сигнал $s(t)$ с ограниченным спектром на уровне F_m известен нам на ограниченном временном интервале $(0, T)$ (рис. 4, а). Пройгнорируем поведение сигнала за пределами интервала $(0, T)$. Так как функция задана на конечном интервале, то согласно дуальной теореме отсчетов для частотной области (теорема Шеннона справедлива для функций безотносительно к природе ее носителя), ее фурье-спектр определен только для дискретных значений частот, разделенных

промежутками $1/T$ (аналогичная картина имеет место, если сигнал во временной области *периодический*). В то же время, частотный спектр начального сигнала $s(t)$ ограничен на уровне F_m . Это равноценно заданию сигнала на интервале $(0, T)$ лишь N отсчетами через периодические промежутки времени продолжительностью $T_s = 1/2F_m$ (прямая теорема Шеннона). Покажем, что при таком задании сигнала во временной области согласно теореме отсчетов невозможно получить больше, чем $N/2$ отсчетов спектра.

В самом деле, длина интервала определения сигнала составляет $T = NT_s$. Поэтому величина разрешающей способности по частоте равна $\Delta f = 1/T = 1/NT_s$. Если максимальная частота спектр составляет F_m , то согласно прямой теореме отсчетов период корректной дискретизации должен удовлетворять условию

$$T_s \leq 1/2F_m = 1/2\gamma F_m, \quad \gamma \geq 1.$$

Отсюда

$$\Delta f = 1/NT_s = 2\gamma F_m/N. \quad (5)$$

Максимальное значение числа отсчетов спектра достигается при $\gamma = 1$:

$$N_F = \frac{F_m}{\Delta f} = \frac{N}{2}. \quad (6)$$

Таким образом, вся информация о сигнале на временном интервале $(0, T)$ помещается в $N/2$ точках исходного спектра сигнала, причем, совокупность этих спектральных точек адекватна фурье-спектру периодической функции с периодом T , полученной путем периодического продолжения сегмента сигнала продолжительностью T (рис. 4, б) за границы интервала $(0, T)$.

Из соотношения (5), видно, что чем больший интервал $T = NT_s$ наблюдаемого сигнала мы фиксируем, тем большую разрешающую способность по частоте мы можем получить. В предельном случае, если сигнал неограничен во времени, можно получить оценку спектра с любой заданной точностью.

Сделаем одно важное замечание. Если определить $kN/2$ точек спектра (k — натуральное число), то, очевидно, расстояние между соседними частотными отсчетами становится в k раз меньшим, что соответствует увеличению периода продолжения исходного сигнала в k раз. Это равноценно тому, что новый периодический сигнал теперь должен совпадать с нашим сигналом только на интервале $(0, T)$ и быть равным нулю между точками T и kT (рис. 4, в).

Аналогичный результат можно получить для двумерного случая. Пусть изображение $s(x, y)$ определено в прямоугольной области (L_x, L_y) (рис. 5, а). Полному изображению отвечает

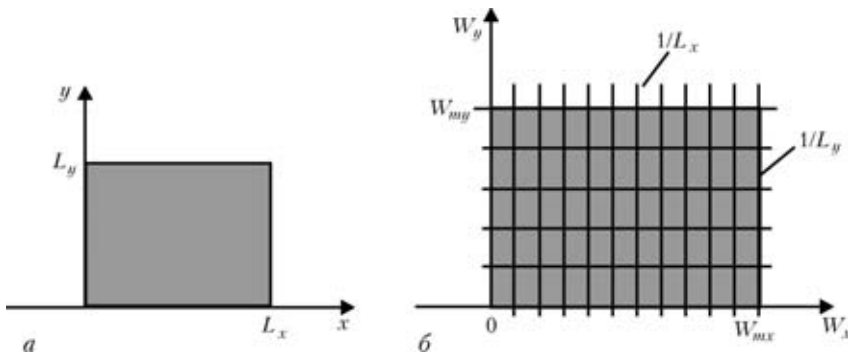


Рис. 5. Области определения изображения в прямоугольной сетке пространственных (а) и частотных (б) координат

спектр с прямоугольной областью определения с предельными частотами соответственно W_{mx} и W_{my} (рис. 5, б). Аналогично одномерному случаю получаем:

разрешающая способность по частотной оси ω_x

$$\Delta\omega_x = \frac{1}{L_x} = \frac{1}{N_x L_{sx}};$$

разрешающая способность по частотной оси ω_y

$$\Delta\omega_y = \frac{1}{L_y} = \frac{1}{N_y L_{sy}};$$

где L_{sx} и L_{sy} — пространственные интервалы дискретизации по соответствующим пространственным осям.

Если выбрать период корректной дискретизации по пространственным координатам согласно условию

$$L_{sx} \leq 1/2W_{mx} = 1/2\gamma W_{mx}, L_{sy} \leq 1/2W_{my} = 1/2\gamma W_{my}, \gamma \geq 1,$$

то аналогично предыдущему случаю получаем

$$\Delta\omega_x = 2\gamma W_{mx}/N_x, \Delta\omega_y = 2\gamma W_{my}/N_y. \quad (7)$$

Отсюда максимальное число частотных уровней отсчета ($\gamma = 1$) по оси ω_x составляет

$$\frac{W_{mx}}{\Delta\omega_x} = \frac{N_x}{2},$$

а по оси ω_y

$$\frac{W_{my}}{\Delta\omega_y} = \frac{N_y}{2}.$$

Таким образом, максимальное значение числа отсчетов спектра равняется $N_x N_y / 4$. В случае равенства предельных частот спектра ($N_x = N_y = N$) число возможных отсчетов составляет $N^2 / 4$.

Разрешающая способность по азимутальному углу зондирования. Как уже отмечалось выше, для точного восстановления внутренней структуры двумерного или трехмерного объекта по его линейным проекциям необходимо иметь неограниченное число по разному ориентированных таких проекций, т. е. угловой параметр сканирования φ пробегает все значения из области определения $(0, 180^\circ)$. Однако на практике значения линейных

проекций (набор линейных интегралов по прямым L в направления φ) можно определить только для конечного числа направлений, т. е. восстановление проводится по некоторому конечному угловому набору проекций, полученных для дискретных значений азимутального угла облучения с некоторым шагом $\Delta\varphi$. Поэтому при решении задачи дискретизации по азимутальному углу зондирования возникает ряд практических вопросов:

1. Как выбрать оптимальный интервал дискретизации $\Delta\varphi$ и какими соображениями при этом руководствоваться?

2. Какая максимально допустимая величина интервала дискретизации $\max\Delta\varphi$, при котором еще принципиально возможно корректное восстановление исходного распределения по его угловым проекциям?

Получить ответы на поставленные вопросы можно лишь в случае, если задачу дискретизации рассматривать вместе с обратной задачей — восстановление исходного распределения по его дискретным проекциям. Суть задачи заключается в том, что согласно теореме о центральном сечении [1–3] необходимо восстановить утраченные в процессе дискретизации участки непрерывного спектра распределения, которые лежат в угловых промежутках между отсчетами (вернее — восстановить поведение спектра в этих промежутках).

Рассмотрим теорему о центральном сечении (двумерный случай).

Пусть функция $f(x, y)$ абсолютно интегрируема в области определения $\Delta(x, y)$, а ее фурье-спектр ограничен некоторой областью $W(u, v)$. Тогда одномерное фурье-преобразование проекции $\tilde{f}(p)|_{\varphi=\varphi_i}$ двумерной функции $f(x, y)$, полученной под углом $\varphi = \varphi_i$ в пространстве сигналов (рис. 6, а), представляет собой центральное сечение под тем же углом $\varphi = \varphi_i$ в пространстве спектров преобразования Фурье исходной функции (рис. 6, б).

Другими словами, фурье-образ проекции $\tilde{f}(p)|_{\varphi=\varphi_i}$ для угла φ_i (рис. 6, а) представляет собой спектр функции $f(x, y)$ вдоль прямой, которая проходит через начало координат в частотной плоскости $W(u, v)$ под тем же углом φ_i (рис. 6, б) и фактически является центральным сечением двумерного фурье-преобразования исходной функции $F\varphi_i(u, v) = F(u\cos\varphi_i + v\sin\varphi_i)$.

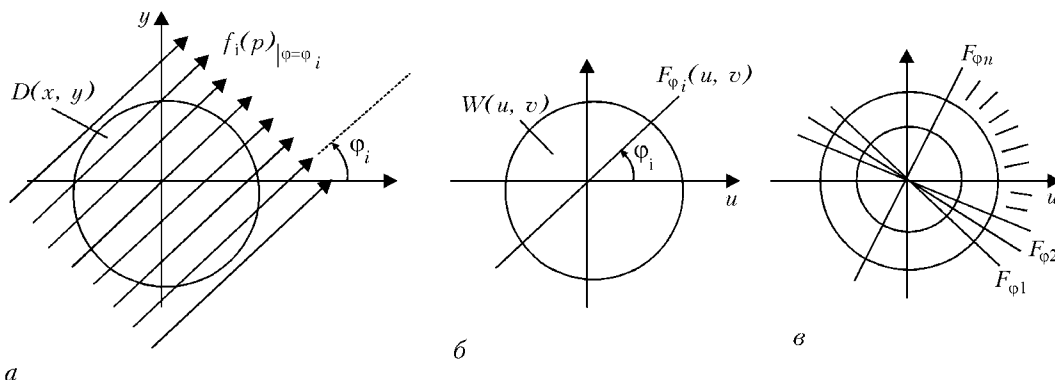


Рис. 6. К теореме о центральном сечении

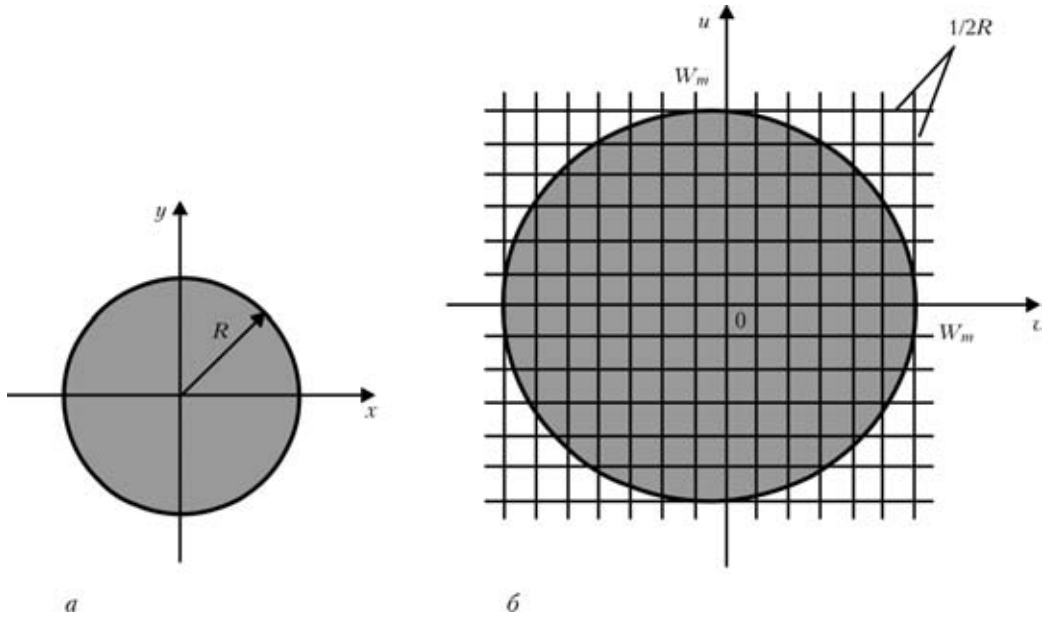


Рис. 7. Области определения двумерного изображения: а — в пространственной области (x, y) ; б — в спектральной области (u, v)

С одной стороны, теорема о центральном сечении позволяет получить преобразование Фурье исходного распределения $f(x, y)$, если известны его проекции, а следовательно, и само распределение, используя для этого известное соотношение для обратного преобразования Фурье. С другой стороны, как следует из приведенной теоремы, для точного восстановления исходного распределения необходимо иметь неограниченное количество проекций под разными углами.

Реально на практике мы обычно имеем дело с конечным числом проекций. Совершенно понятно, что чем меньшее количество отсчетов мы берем на угловом интервале $(0, 180^\circ)$, тем длиннее интервал дискретизации $\Delta\varphi = \varphi$, и более сложно выполнить процедуру точного восстановления исходного распределения $f(x, y)$. И наоборот, чем больше угловых отсчетов, тем короче интервал дискретизации и точнее процедура восстановления (рис. 6, в).

Найдем оценку разрешающей способности по углу для случая *стандартной параллельной схемы сканирования*, когда проекции (преобразование Радона) определяются для конечного числа направлений из простых эвристических соображений. Поскольку условия дискретизации по углу в трехмерном случае можно получить из условий дискретизации на плоскости, ограничимся рассмотрением двумерного случая. Теоретическое обоснование процесса дискретизации по углу содержит теорема о центральном сечении — *теорема дискретизации Шеннона*.

Пусть двумерное сечение в прямоугольной системе координат (x, y) исследуемого объекта описывается функцией распределения $s(x, y)$ (в УЗ томографии это может быть распределение скорости распространения УЗ колебаний или линейный коэффициент поглощения в рентгеновской томографии). Для определенности область задания функции распределения примем в виде круга радиусом R (рис. 7, а). Соответственно пусть эф-

фективная ширина пространственного спектра $F(u, v)$ этого сечения в прямоугольной системе координат (u, v) ограничена радиусом W_m (рис. 7, б). Так как область определения «изображения распределения» в пространственных координатах ограничена поперечником длиной $2R$, то согласно обратной теореме Шеннона его спектр определен только для дискретной прямоугольной сетки частот (рис. 6, б), разделенных промежутками $1/2R = 1/NR_s$, где R_s — шаг дискретизации изображения в пространственной области; N — число отсчетов изображения по поперечнику. Согласно теореме дискретизации функций с ограниченным спектром шаг дискретизации выбирается из условия $R_s \leq 1/2W_m$. Отсюда шаг частотной сетки

$$\Delta u = \Delta v = \Delta f = \frac{2W_m}{N}. \quad (9)$$

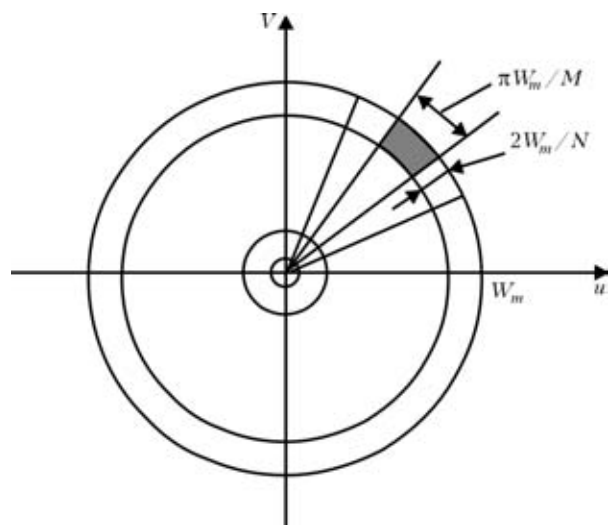


Рис. 8. Полярная дискретизационная сетка взятия отсчетов в спектральной области

Мы хотим найти такое дискретное множество M направлений, которое бы обеспечивало корректное восстановление изображения $s(x, y)$, т. е. — для разделения деталей размером $1/2W_m$, достаточно знать проекции на этом множестве. Представим область определения спектра изображения в полярной сетке, как показано на рис. 8.

Шаг сетки в радиальном направлении составляет $2W_m/N$, а по углу — $\Delta\varphi = 180^\circ/M$. Самые крупные ячейки полученной сетки, которые еще принадлежат области определения спектра лежат в кольце с верхним радиусом W_m . Каждая такая ячейка при $M, N \gg 1$ представляет собой приближенно прямоугольник со сторонами соответственно $2W_m/N$ и $\pi W_m/M$. Очевидно, что для корректной дискретизации по углу необходимо, чтобы выделенные ячейки имели форму квадратов со стороной $2W_m/N$, т. е. должно выполняться условие:

$$\frac{2W_m}{N} = \frac{\pi W_m}{M}. \quad (10)$$

Отсюда получаем:

$$M = \frac{\pi N}{2}. \quad (11)$$

При дискретизации двумерного сигнала (изображения) $s(x, y)$ с ограниченным пространственным спектром в параллельных направлениях с пространственным шагом согласно теореме Шеннона $R_s = 1/2W_m$ число азимутальных направлений зондирования должно удовлетворять условию $M \geq \pi N/2$.

Можно показать, что соотношение (11) справедливо для областей определения изображения и

спектра произвольной конфигурации с той лишь разницей, что для расчета в качестве значений R и W_m , берутся соответственно величины $\max(R_{mx}, R_{my})$ и $\max(W_{mx}, W_{my})$.

Выводы

В большинстве практических случаев можно проводить дискретизацию в ограниченном поле размером $L_m \times L_m$, предполагая, что ее спектральный носитель сосредоточен в частотном интервале радиусом W_m и что значение $L_m W_m \geq N/2$ велико. Тем не менее, необходимо проявлять осторожность при интерпретации полученных данных реконструкции, так как мы априори изъяли из рассмотрения мелкие детали оригинала исследуемого распределения.

1. Хермен Г. Восстановление изображений по проекциям: Основы реконструктивной томографии. — М.: Мир, 1983. — 352 с.
2. Натеррер Ф. Математические аспекты компьютерной томографии. — М.: Мир, 1990. — 280 с.
3. Введение в современную томографию / Под ред. К. С. Тернового, М. В. Синькова. — Киев: Наук. думка, 1983. — 232 с.
4. Ильин В. А., Позняк Э. Г. Аналитическая геометрия. — М.: Наука, 1988. — 244 с.
5. Макс Ж. Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях. — Т. 1: Основные принципы и классические методы. — М.: Мир, 1983. — 312 с.
6. Папулис А. Теория систем и преобразований в оптике. — М.: Мир, 1971. — 496 с.
7. Маркюс Ж. Дискретизация и квантование. — М.: Энергия, 1973. — 272 с.
8. Хургин Я. И., Яковлев В. П. Фinitные функции в физике и технике. — М.: Наука, 1971. — 324 с.
9. Марпл С. Л.-мл. Цифровой спектральный анализ и его приложения / Пер. с англ. под ред. И. С. Рыжака. — М.: Мир, 1990. — 584 с.

ИНСТИТУТ ЭЛЕКТРОСВАРКИ им. Е. О. ПАТОНА НАН УКРАИНЫ

объявляет ежегодный набор в

ДОКТОРАНТУРУ по специальностям:

- ✓ сварка и родственные технологии
- ✓ автоматизация технологических процессов
- ✓ металловедение и термическая обработка металлов
- ✓ металлургия высокочистых металлов и специальных сплавов

АСПИРАНТУРУ по специальностям:

- ✓ сварка и родственные технологии
- ✓ автоматизация технологических процессов
- ✓ металловедение и термическая обработка металлов
- ✓ металлургия высокочистых металлов и специальных сплавов

Прием в аспирантуру проводится в сентябре месяце.

Контактный телефон: 220-84-11

Документы направлять по адресу: 03680, Украина, Киев-150, ул. Боженко, 11
Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины,
ученому секретарю института Л. С. Кирееву

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ЭМА-ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ПО ИЗЛУЧЕНИЮ СФОКУСИРОВАННЫХ РЭЛЕЕВСКИХ ВОЛН

В. И. ГОРДЕЛИЙ, В. Е. ЧАБАНОВ

Разработан математический аппарат и получены решения для обоих типов поляризации волн Рэля, излучаемых ЭМА-преобразователями, рабочие катушки которых составлены из прямых и скругленных токопроводов. С их помощью проведен численный анализ и установлены основные закономерности, которым указанные волны подчиняются. Это позволяет конструировать соответствующие преобразователи, способные решать нужные практические задачи.

A body of mathematics has been developed and solutions have been derived for both types of polarization of Raleigh waves, emitted by EMA-transducers with working coils composed of straight and rounded current conduits. They are used to perform numerical analysis and establish the main regularities governing the above waves. The allows designing the respective transducers, capable of solving the required practical problems.

О возможности возникновения поверхностных волн на границах твердых тел впервые было заявлено Рэлеем в 1888 г. [1]. В последующем интерес к ним постоянно увеличивался [2–5]. Теоретические и экспериментальные исследования работы ЭМА-преобразователей, предназначенных для приема и генерации волн Рэля осуществлялись многими авторами [6–8, 15–15].

Вместе с тем некоторые важные особенности работы их до настоящего времени остаются не выявленными. Так, не установлено воздействие на характеристики возбуждаемого звука экранов, их параметров, различных конструктивных зазоров, неизбежных при изготовлении преобразователей. Открытыми являются вопросы влияния формы импульсных сигналов на характеристики генерируемых акустических волн, особенности работы сфокусированных ЭМА-преобразователей и т. д. Большую часть указанных проблем удалось решить в работе [19]. Однако достаточно полного исследования работы сфокусированных ЭМА-излучателей (и приемников) рэлеевских волн до настоящего времени нет. В определенной мере разрешить данную проблему призвана настоящая работа.

Для изучения волн Рэля, излучаемых сфокусированными ЭМА-преобразователями, воспользуемся следующей схемой (рис. 1). В данной схеме точка O_0 является центром используемой системы координат; O_x представляет точку наблюдения на плоскости, на которой располагается излучающий токопровод; r_1 — проекция ее расстояния до центральной части токопровода; r — то же для произвольного элемента токопровода dl , от которого исходит излучение; φ_0 — направление на точку наблюдения O_x ; φ — угол между нормалью к элементу dl и направлением на точку наблюдения; x — расстояние от O_0 до элемента dl ; b — дистанция от центра координат до середины витка; O — центр координат кругового токопровода радиусом r_0 ; угол α указывает координату элемента dl . Остальные обозначения легко прослеживаются из рисунка.

Рассмотрим основные соотношения, наблюдаемые в данной задаче. Искомыми параметрами здесь выступают оперативные значения $r(\alpha)$ и $\varphi(\alpha)$, зависящие от расположения элементарной части токопровода, равной $dl = r_0 d\alpha$. Откуда получаем:

$$r(\alpha) = \sqrt{r_1^2 + x(\alpha)^2 - 2r_1 x(\alpha)} \times \dots \times \sqrt{(\cos \varphi_0 \sqrt{x(\alpha)^2 - r_0^2 \sin^2 \alpha} - r_0 \sin \varphi_0 \sin \alpha)} \dots$$

$$x(\alpha) = \sqrt{(b + r_0)^2 + r_0^2 - 2r_0(b + r_0)\cos \alpha}, \quad (1)$$

$$\varphi(\alpha) = \arcsin [(r_0 + b)\sin \alpha / x(\alpha)] - \arccos \left[\frac{r(\alpha)^2 + x(\alpha)^2 - r_1^2}{2x(\alpha)r(\alpha)} \right].$$

Изучение работы системы токопроводов необходимо начать с проблемы их приведения к одной системе координат. Для этого введем параметр $b_n = g[n - (N - 1)/2]$, где n — порядковый номер токопровода; N — общее их число. Тогда центр выбранной системы координат совпадает с центром всей катушки из токопроводов. В результате, применяя соотношения (1), получаем

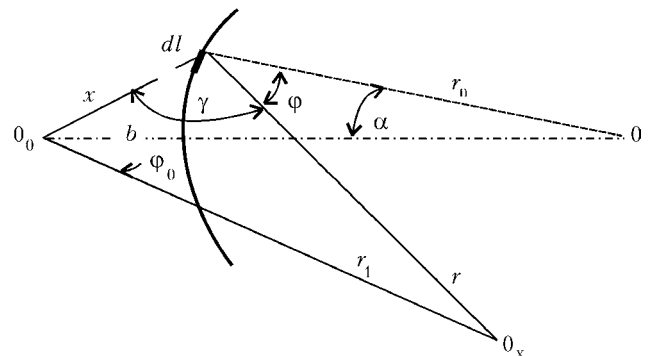


Рис. 1. Схема расположения одного токопровода катушки и точки наблюдения в горизонтальной плоскости

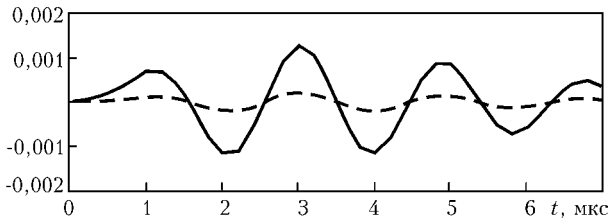


Рис. 2. Временная характеристика вертикальной (большая амплитуда) и горизонтальной составляющих акустического импульсного сигнала, излучаемого одним токопроводом, на расстоянии 8 см от его центра в направлении вогнутости (угол наблюдения — 0)

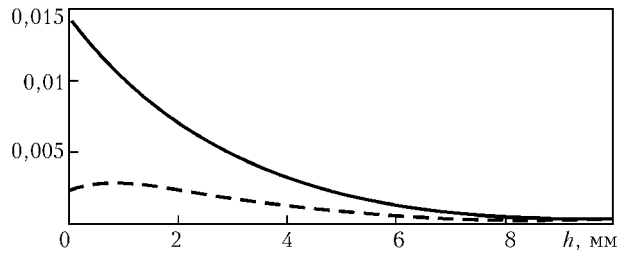


Рис. 3. Зависимость соответствующих амплитуд волн Рэлея от глубины их наблюдения

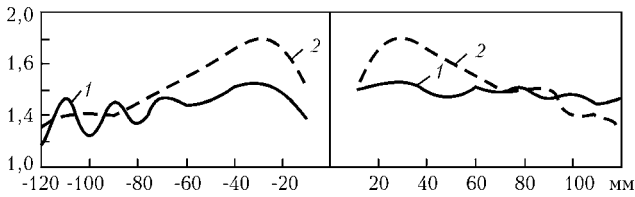


Рис. 4. Зависимость амплитуды вертикальной составляющей рэлеевской волны, излучаемой одним токопроводом, по нормали к нему, от расстояния до точки наблюдения: 1 — фокус 8 см; 2 — фокус 8 м

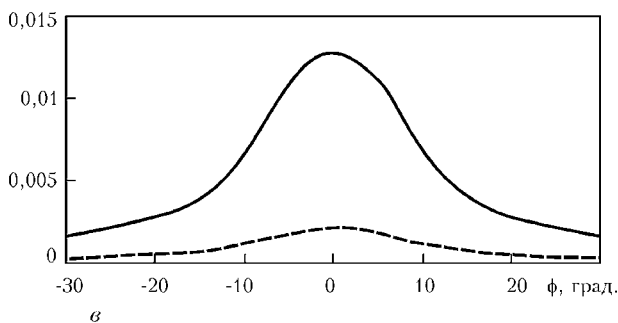
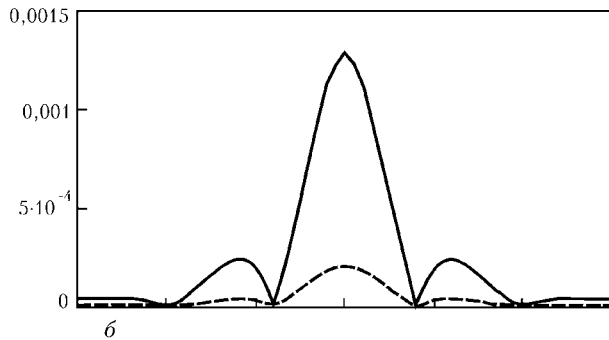
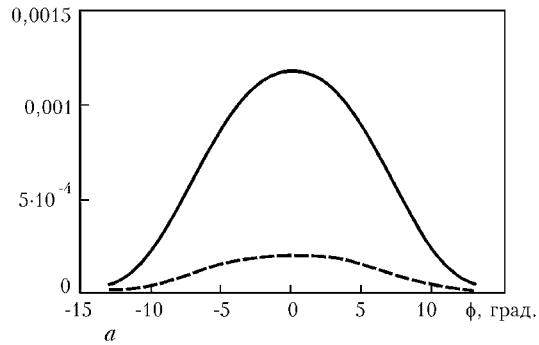


Рис. 5. Направленность излучения волн Рэлея у прямого токопровода (а), у скругленного токопровода в фокусе (б) и на том же расстоянии с другой стороны скругленного токопровода (в)

$$r(\alpha)_n = \sqrt{r_1^2 + x(\alpha)_n^2 - 2r_1 \times \dots} \\ \times \sqrt{(\cos \varphi_0 \sqrt{x(\alpha)_n^2 - r_0^2 \sin^2 \alpha} - r_0 \sin \varphi_0 \sin \alpha)}, \\ x(\alpha)_n = \sqrt{(b_n + r_0)^2 + r_0^2 - 2r_0(b_n + r_0) \cos \alpha}, \\ \varphi(\alpha)_n = \arcsin [(r_0 + b_n) \sin \alpha / x(\alpha)_n] - \\ - \arccos \left[\frac{r(\alpha)_n^2 + x(\alpha)_n^2 - r_1^2}{2x(\alpha)_n r(\alpha)} \right]. \quad (2)$$

Подставляя указанные результаты в полученные ранее решения для излучения волн Рэлея катушкой, составленной из прямых токопроводов [19], и осуществляя интегрирование по параметру α , проведем искомые вычисления для поля преобразователей с круговыми витками:

$$u_z(t) = - \frac{D_{00}}{4\alpha_0} \left(\frac{e\eta}{\gamma} \right)^\gamma \sqrt{\frac{(2\pi m)^3}{c}} \times \\ \times \int_{-\alpha_0}^{\alpha_0} \frac{[E_1(\omega_0 - i\eta) + E_1(-\omega_0 - i\eta)]}{Z(\alpha)r(\alpha)^{0,5}} d\alpha, \\ u_r(t) = - \frac{iD_{00}}{4\alpha_0} \left(\frac{e\eta}{\gamma} \right)^\gamma \sqrt{\frac{(2\pi)^3 m}{c}} \times \\ \times \int_{-\alpha_0}^{\alpha_0} \frac{[E_2(\omega_0 - i\eta) + E_2(-\omega_0 - i\eta)]}{Z(\alpha)r(\alpha)^{0,5}} d\alpha, \quad (3)$$

где $D_{00} = \frac{\mu_0 I_0 B_0 \sigma_2}{4\pi}$;

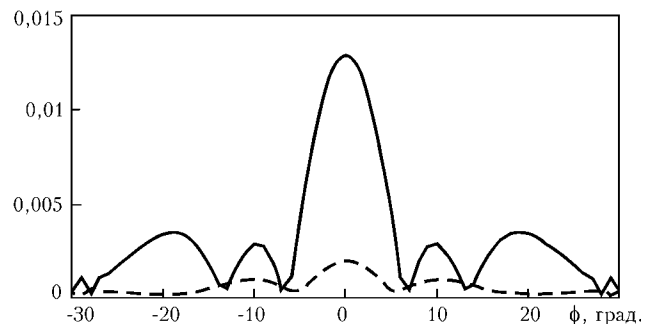


Рис. 6. Направленность излучения сигналов от преобразователя рэлеевских волн на расстоянии, равном фокусу



$$Z(\alpha) = m [2m^2(1 + \cos^2 \varphi(\alpha)) - p^2/2(3 + \cos^2 \varphi(\alpha)) - m^2 \left(\frac{\sqrt{m^2 - p^2}}{\sqrt{m^2 - 1}} + \frac{\sqrt{m^2 - 1}}{\sqrt{m^2 - p^2}} \right) - 2\cos^2 \varphi(\alpha) \sqrt{m^2 - p^2} \sqrt{m^2 - 1}];$$

$$E_1(\omega) = \frac{d^2}{d\omega^2} [\Psi^0 \omega^{-1,5} (\sqrt{m^2 - 1} M(\alpha)_1 e^{-k\sqrt{m^2 - 1}z} + M(\alpha)_2 e^{-k\sqrt{m^2 - p^2}z}) e^{-i\omega t_R}];$$

$$E_2(\omega) = \frac{d^2}{d\omega^2} [\Psi^0 \omega^{-1,5} (m^2 M(\alpha)_1 e^{-k\sqrt{m^2 - 1}z} + \sqrt{m^2 - p^2} M(\alpha)_2 e^{-k\sqrt{m^2 - p^2}z}) e^{-i\omega t_R}].$$

Здесь

$$t_R = t - r(\alpha)_n + r_0 \sin \varphi(\alpha)_n \frac{a}{C_R};$$

$$M(\alpha)_1 = \cos(\alpha) [\sqrt{m^2 - p^2} (F_1^0 \sqrt{m^2 - p^2} - F_3) + m^2 \cos^2 \varphi(\alpha) (F_2 \sqrt{m^2 - p^2} + F_1^0)];$$

$$M(\alpha)_2 = m^2 \cos^2 \varphi(\alpha) \times [F_2^0 (m^2 - \frac{p^2}{2}) + 2F_1^0 \sqrt{m^2 - 1}] - F_3 (m^2 - \frac{p^2}{2});$$

$$F_1^0 = \frac{1}{\sqrt{m^2 - n^2}} [\frac{p^2/2 - 1}{\sqrt{m^2 - 1} (\sqrt{m^2 - n^2} - \sqrt{m^2 - 1})} + \frac{2n^2(p^2/2 - 1)}{n^2 - 1} - \frac{\sqrt{m^2 - 1}}{\sqrt{m^2 - n^2} - \sqrt{m^2 - 1}} - \frac{2(m^2 - n^2)}{n^2 - 1}] + \frac{1}{\sqrt{m^2 - n^2} - \sqrt{m^2 - p^2}} + \frac{2\sqrt{m^2 - n^2}}{n^2 - p^2};$$

$$F_2^0 = \frac{2}{\sqrt{m^2 - n^2}} \left(\frac{1}{\sqrt{m^2 - n^2} - \sqrt{m^2 - 1}} + \frac{2\sqrt{m^2 - n^2}}{n^2 - 1} \right) - \frac{1}{\sqrt{m^2 - p^2} (\sqrt{m^2 - n^2} - \sqrt{m^2 - p^2})} - \frac{2}{n^2 - p^2};$$

$$F_3^0 = \frac{\sqrt{m^2 - p^2}}{\sqrt{m^2 - n^2} - \sqrt{m^2 - p^2}} + \frac{2(m^2 - n^2)}{n^2 - p^2};$$

$$\Psi_0 = \frac{e^{k_i q_1^0 (H-h)} (Q_1^0 + Q_4^0) + Q_1^0 (e^{k_i q_1^0 h} + W^0 e^{-k_i q_1^0 h}) (Q_1^0 + Q_4^0) + W^0 e^{-k_i q_1^0 (H-h)} (Q_1^0 - Q_4^0)}{(e^{k_i q_1^0 h} - W^0 e^{-k_i q_1^0 h}) (Q_1^0 + Q_2^0 Q_4^0)} - \dots$$

электромагнитное поле в поверхностном объеме контролируемого тела.

Для теоретического исследования сигналов, излучаемых сфокусированными токопроводами, с помощью полученных выше выражений сделаем требуемые расчеты (рис. 2, 3). Они проводились для токопровода радиусом 8 см, расположенного на расстоянии 1 мм от поверхности контроля. Рабочая частота применяемого импульсного сигнала равнялась 0,538 МГц, форма сигнала типовая, расстояние между токопроводами — 3 мм. Рассматривается вертикальная U_{lz} и горизонтальная U_{lr} составляющие смещений, образованных волной Рэлея в основном на глубине 0 мм. Сила тока, возбуждающего токопроводы, как и ранее, считалась равной 1 А. В реальности она достигает в пике 100 А, а поэтому соответствующим образом увеличивается и амплитуда изучаемых волн Рэлея. Напряженность магнитного поля — 0,934 Тл, амплитуда смещений отсчитывается в ангстремах.

Ослабление акустических сигналов с глубиной осуществляется экспоненциально. Исключение составляет только горизонтальная составляющая волны, которая до глубины 2 мм практически не убывает (рис. 4).

Нетрудно видеть, что амплитуда сигналов волн Рэлея при наличии радиуса искривления токопроводов по сравнению с отсутствием такового (радиус 8 м) по нормали к центральной их части в целом оказывается более низкой. Причем, в направлении искривления (положительные значения координат точки наблюдения) сигнал убывает более монотонно, чем в противоположном направлении.

В этой связи требуется более внимательно рассмотреть изменение направленности излучения (рис. 5).

Из сравнения полученных кривых следует, что направленность излучения в фокусе, как и следовало ожидать, существенно выше, чем у прямого токопровода, а тем более с противоположной стороны скругления.

Далее рассматривается излучение всего преобразователя рэлеевских волн, состоящего из восьми неравномерных токопроводов, возбуждаемых асинфазно. При этом очевидно, что многие зависимости сигналов рэлеевской волны от параметров оказываются точно такими же, как и для одного токопровода (рис. 6).

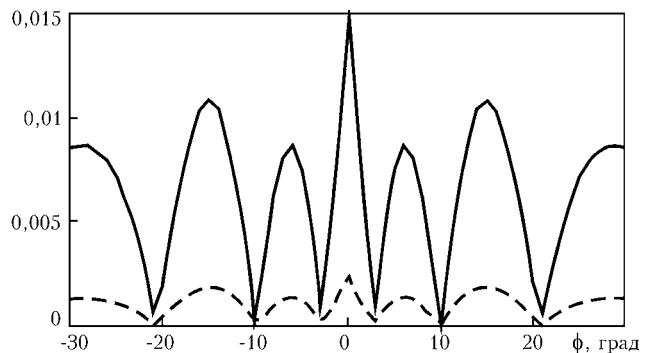


Рис. 7. Направленность излучения преобразователя рэлеевских волн в направлении, обратном фокусу, и расстоянии, равном его величине

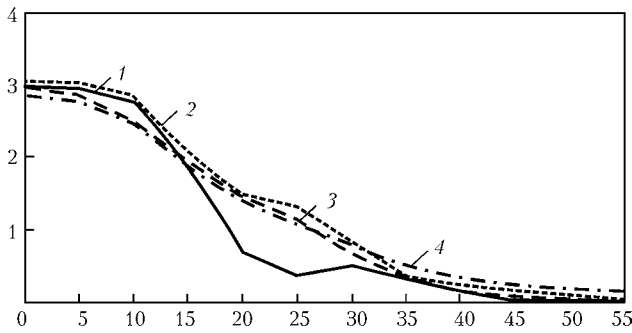


Рис. 8. Направленность излучения сфокусированного ЭМА-преобразователя при измерении на различных расстояниях от него: 1 — Φ_0 — прямые токопроводы; 2 — Φ_1 — расстояние 11 см; 3 — Φ_2 — расстояние 20 см; 4 — Φ_3 — расстояние 28 см

По сравнению с сигналами от одного токопровода (см. рис. 5, б), направленность излучения оказалась более узкой, амплитуда максимума увеличилась более чем в 10 раз. Кроме того, появились более значительные лепестки направленности на углах $\pm 20^\circ$ (рис. 7).

Здесь появились достаточно ярко выраженные дифракционные пики. Удивляться их возникновению не приходится, поскольку по длине токопроводов укладывается чуть больше трех длин рэлеевских волн, а значит их концы не могут оказывать заметного воздействия на направленность излучения. Кроме того, сигналы от выпуклой части различных токопроводов, интерферируя на углах, отличных от нормального, не могут формировать монотонную картину.

Далее приводятся результаты экспериментально измеренной направленности сфокусированного преобразователя, сформированного типовой катушкой, каждый из витков которой имеет закругление, равное 8 см, т. е. здесь имеются сфокусированные витки, но не сам преобразователь (рис. 8).

В целом направленности при различных расстояниях идентичны и шире, чем у ненаправленного преобразователя. И это неудивительно, поскольку все они измерялись на дистанциях, больших фокуса (8 см). Эксперимент достаточно хорошо согласуется с расчетом.

Выводы

Разработан математический аппарат и получены решения для обоих типов поляризации волн Рэлея, излучаемых ЭМА-преобразователями, рабочие катушки которых составлены из прямых и скругленных токопроводов. С их помощью удалось провести

численный анализ и установить основные закономерности, которым указанные волны подчиняются. Это позволяет конструировать соответствующие преобразователи, с помощью которых можно решать нужные практические задачи.

1. Rayleigh J. W. On Waves Propagated Along the Plane Surface of an Elastic Solid // Proc. Math. Soc. London, 17 (1885). — P. 4–11.
2. Чабанов В. Е. Лазерный ультразвуковой контроль материалов. — Л.: МГУ, 1986. — 231 с.
3. Новацкий В. Теория упругости. — М.: Мир, 1975. — 872 с.
4. Скучик Е. Простые и сложные колебательные системы. — М.: Мир, 1971. — 557 с.
5. Викторов И. А. Звуковые поверхностные волны в твердых телах. — М.: Мир, 1981. — 287 с.
6. Ильин И. В. Исследование электромагнитно-акустического метода возбуждения и приема волн Рэлея в ферромагнетиках: Дис. ... канд. техн. наук. — Л.: Ленингр. электротехнич. ин-т им. В. И. Ульянова (Ленина), 1979.
7. Ильин И. В., Харитонов А. В. К теории ЭМА-метода приема волн Рэлея для ферромагнитных материалов // Дефектоскопия. — 1980. — № 7. — С. 86–93.
8. Шубаев С. Н. Возбуждение волн Рэлея и Лэмба в ферромагнитных металлах электромагнитным методом // Неразрушающие методы и средства контроля и их применение в промышленности. — Минск: Наука и техника, 1973. — С. 319–323.
9. Шубаев С. Н., Шкарлет Ю. М. Расчет датчиков, применяемых при электромагнитном приеме волн Рэлея и Лэмба // Дефектоскопия. — 1969. — № 1. — С. 121–123.
10. Шубаев С. Н., Шкарлет Ю. М. Переменные поля, возникающие при электромагнитном приеме волн Рэлея и Лэмба // Там же. — 1972. — № 6. — С. 62–68.
11. Шубаев С. Н., Шкарлет Ю. М. Общие закономерности электромагнитного метода приема волн Рэлея и Лэмба // Там же. — 1972. — № 5. — С. 63–72.
12. Шубаев С. Н., Шкарлет Ю. М. Переменные поля, возникающие при электромагнитном приеме волн Рэлея и Лэмба // Там же. — 1972. — № 6. — С. 62–68.
13. Шкарлет Ю. М. Бесконтактные методы ультразвукового контроля. — М.: Информприбор, 1974. — 57 с.
14. Комаров В. А. Квазистационарное ЭМА преобразование в металлах. — Свердловск, УНЦ АН СССР, 1986.
15. Комаров В. А., Мужикский В. Ф., Гуревич С. Ю. Теория физических полей. Т. 2. — Челябинск-Ижевск, 1998. — 300 с.
16. Пауштин А. В. Расчет для периодических магнитных систем электромагнитно-акустических преобразователей нормальных волн // Изв. ЛЭТИ. — 1974. — Вып. 145. — С. 16–22.
17. Пауштин А. В., Харитонов А. В. Некоторые вопросы теории электромагнитно-акустических преобразователей нормальных волн, имеющих периодическую структуру // Там же. — 1975. — Вып. 165. — С. 12–19.
18. Dobbs R. Phys. Acoustics. V.10. Ch.3. Academic Press. New York and London, 1973.
19. Чабанов В. Е., Горделий В. И. Исследование волн Рэлея, излучаемых электромагнитно-акустическими преобразователями // Неразрушающий контроль и диагностика материалов, конструкций и окружающей среды // Сб. докл. V Всероссийск. науч.-практ. семинара. — СПб. — 2004. — С. 111–123.

НПП «ВИГОР»,
Москва, РФ

Поступила в редакцию
27.04.2004



ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ИСКАЖЕНИЙ СИГНАЛА НА СООТНОШЕНИЕ СИГНАЛ-ШУМ ПРИ ДВОЙНОМ ЭМАП

В. В. ГОРОДНИЧИЙ, Д. С. АСТАХОВ

Рассмотрено влияние длительности прямоугольного импульса на соотношение сигнал-шум при двойном ЭМА преобразовании. Рассмотрены случаи ЭМА преобразования в материалах с малыми электропроводностью и магнитной проницаемостью. Выполнены расчеты на математической модели двойного ЭМАП, которые показывают, что искажения прямоугольного радиоимпульса для продольных и поперечных волн незначительны.

Influence of square-wave pulse duration on the signal-to-noise ratio at double EMA transformation is considered. Cases of EMA transformation in materials with a low electric conductivity and magnetic permeability are analyzed. Calculations have been made, using a mathematical model of double EMAT, which show that distortions of a square-wave radio pulse are negligible for the longitudinal and transverse waves.

В связи с применением новых материалов все больший интерес проявляется к бесконтактным системам неразрушающего контроля (НК), в частности к электромагнитно-акустическим (ЭМА) системам УЗ. Большинство ЭМА систем позволяют контролировать изделия из материалов с высокой проводимостью и сильно выраженными ферромагнитными свойствами [2, 4, 5]. Анализируя эти источники, можно сделать вывод, что при контроле изделий со слабо выраженными электрическими и магнитными свойствами, например, некоторых сортов нержавеющей стали, эффективность ЭМА преобразования значительно уменьшается. Так, для нержавеющей сталей уровень принятого сигнала на порядок, а иногда на 2-3 порядка ниже сигнала, полученного при контроле углеродистых сталей. Для проведения контроля изделий из подобных материалов необходимо существенно повысить чувствительность системы контроля, например, путем применения сложных сигналов большой длительности [1, 3]. При этом необходимо применять оптимальный прием этих слабых сигналов.

Следует отметить, что электроакустический тракт ЭМА системы контроля искажает сигналы, что влияет на эффективность оптимального приема и, в свою очередь, на соотношение сигнал/шум. При существенных искажениях может возникнуть вопрос о целесообразности использования сложных сигналов для повышения чувствительности системы НК.

Учитывая, что сложные сигналы состоят из отдельных составляющих, наиболее часто представляющих собой прямоугольные радиоимпульсы [6], исследования искажений в первую очередь нужно провести для таких одиночных радиоимпульсов.

Для проведения теоретических исследований выберем математическую модель [2], которая наиболее просто описывает двойное ЭМА преобразование для сигнала произвольной формы.

Рассмотрим двойное ЭМАП одиночного прямоугольного радиоимпульса длительностью 2 мкс

с частотой заполнения $f_0 = 2$ МГц. Материал, в котором происходит ЭМАП — немагнитная сталь 30Х2Н25 с электропроводностью $\gamma = 7 \cdot 10^5$ Ом/м и магнитной проницаемостью $\mu = 1$. При этом диаметр провода 0,3 мм, число витков 10, число слоев 1, зазор катушка — изделие 5 мм.

Продольные акустические волны возникают в результате объемного магнитного и электродинамического взаимодействия [2]

$$P_M(j\omega) = \frac{1}{2\sqrt{\omega} \sqrt{2\pi\mu\gamma}} \left(1 - \frac{1}{\mu}\right) \times [\mu_0 n^2 F\{i^2(t)\}K_1 + 2B_0 n F\{i(t)\}K_2], \quad (1)$$

$$P_E(j\omega) = -\frac{\sqrt{\omega}}{16} \frac{\sqrt{2\gamma}}{\mu} n K_3 F\{i(t)\} \left[B_0 K_4 + \frac{\mu_0}{z} n K_3 F\{i(t)\} \right], \quad (2)$$

где $P_M(j\omega)$ — спектральная плотность давления акустической волны, вызванной объемным магнитным взаимодействием; ω — круговая частота; μ_0 — магнитная постоянная; z — зазор между передающей (приемной) катушкой и изделием; n — эффективное число витков катушки; $F\{i^2(t)\}$ — энергетическая спектральная плотность возбуждающего тока; $F\{i(t)\}$ — спектральная плотность возбуждающего тока; $F\{x\}$ — оператор преобразования Фурье; K_x — коэффициенты, зависящие от размеров передающей (приемной) катушки и расстояния между катушкой и изделием; B_0 — индукция подмагничивающего поля; $P_E(j\omega)$ — спектральная плотность давления акустической волны, вызванной электродинамическим взаимодействием.

Суммарная спектральная плотность будет

$$P_S(j\omega) = P_M(j\omega) + P_E(j\omega). \quad (3)$$

Подставив в формулы (1) и (2) выражение для спектральной плотности и энергетической спектральной плотности прямоугольного радиоимпульса и выполнив обратное преобразование Фурье от $P_S(j\omega)$, получим комплексный сигнал $U_2(t)$, который наводится в приемной катушке.



Преобразование Фурье достаточно просто реализовать с помощью численных методов. В результате были вычислены спектральные плотности давления акустической волны $P_M(j\omega)$, $P_E(j\omega)$ и $P_S(j\omega)$, а также огибающая сигнала $|\dot{U}_2(t)|$ и сам сигнал $\text{Re}\{\dot{U}_2(t)\}$.

Поперечные волны возникают за счет электромагнитного воздействия. Спектральная плотность давления поперечной волны определяется так [2]:

$$P_{nn}(j\omega) = -j\sqrt{\omega} \frac{\mu_0 n K_3 \sqrt{2\gamma}}{16\sqrt{\mu}} F\{i(t)\} \times \left[B_0 K_7 + \frac{\mu_0}{2} n K_2 F\{i(t)\} \right]. \quad (4)$$

Найдем спектральную плотность ЭДС, наведенную в приемной катушке [2]:

$$U(j\omega) = n S_{\text{эф}} B_0 K_2 \frac{1}{z_B} P_{nn}(j\omega), \quad (5)$$

где z_B — волновое сопротивление материала для поперечной волны; $S_{\text{эф}}$ — эффективная площадь катушки.

С помощью численных методов были получены значения $P_{nn}(j\omega)$, $U(j\omega)$ и $\text{Re}\{U(j\omega)\}$, а также проведена оценка отношения сигнал-шум импульса при его искажении после двойного ЭМАП.

Оценка влияния искажений на процесс оптимальной фильтрации после ЭМАП проводилась по изменению соотношения сигнал-шум. Так, расчеты по приведенным выше выражениям показывают,

что соотношение сигнал-шум уменьшается приблизительно на 13 % для продольных волн и на 10 % для поперечных волн.

Вывод

Расчеты на математической модели двойного ЭМАП показывают, что искажения прямоугольного радиоимпульса для продольных и поперечных волн незначительны, что в свою очередь доказывает предположение о возможности использования сложных сигналов для ЭМА систем контроля с целью повышения их чувствительности.

1. *Городничий В. В.* Системы ультразвукового контроля с большим ослаблением сигнала. — Днепропетровск: Навчальна книга, 2000 // Сб. наук. статей «Системне проектування та аналіз характеристик аерокосмічної техніки». — С. 61–66.
2. *Городничий В. В., Серьга М. А., Астахов Д. С.* Упрощенные выражения для расчета электромагнитно-акустического преобразования // Техн. диагностика и неразруш. контроль. — 2004. — № 1. — С. 38–40.
3. *Городничий О. В.* Применение импульсных сигналов большой длительности в ультразвуковых системах контроля с воздушной акустической связью. — Днепропетровск: Навчальна книга, 2000 // Сб. наук. статей «Системне проектування та аналіз характеристик аерокосмічної техніки». — С. 67–70.
4. *Ермолов И. Н.* Теория и практика ультразвукового контроля. — М.: Машиностроение, 1981. — 240 с.
5. *Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий / В 2-х кн. Кн. 2 // Под. ред. В. В. Клюева.* — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 1986. — 488 с.
6. *Варакин Л. Е.* Теория сложных сигналов. — М.: Сов. радио, 1970. — 376 с.

Физ.-техн. ин-т Днепропетровского нац. ун-та

Поступила в редакцию
01.11.04

Уважаемые коллеги!

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

Двадцать Пятая Юбилейная ежегодная международная конференция и блиц-выставка «КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ»

Научное руководство: Министерство промышленной политики Украины, АНТК «Антонов», ГКБ «Южное», ЗМКБ «Прогресс», ОАО НПО «Композит» при участии: Института механики металлополимерных систем НАН Беларуси, ФГУП ОНПП «Технология», ИХВС НАН Украины, ГК НПЦ им. Хруничева, ЦГУП НПО им. Лавочкина, ОАО «УкрНИИТМ», ОАО «УкрНИИАТ», УНИКТИ «ДИНТЭМ».

Место и время проведения: г. Ялта, начало июня 2005 г., оргвзнос из расчета 250 у. е. (с питанием, проживанием, участием в выставке).

Тринадцатая ежегодная международная конференция «СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И СРЕДСТВА НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ»

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

Место и время проведения: г. Ялта, начало октября 2005 г., оргвзнос из расчета 250 у. е. (с питанием, проживанием, без участия в выставке).

Оргкомитет конференций: тел.: (+38 044) 573-30-40
E-mail: office@conference.kiev.ua, glavackaya@softhome.net, www.conference.kiev.ua

НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ РАДИОГРАФИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ

Н. Г. БЕЛЫЙ, В. К. ПОНОМАРЕНКО, М. М. КАРМАНОВ, Н. В. ТРОИЦКАЯ

Рассмотрены новые возможности, которые открывают автоматизированные установки для радиографического контроля, использующие стандартные (серийно выпускаемые) средства компьютерной техники. Это позволит существенно улучшить визуальное восприятие (расшифровку) рентгеновских снимков, повысить достоверность и эффективность работы дефектоскопов.

The paper considers new possibilities provided by automated radiography units, using standard (batch-produced) computer systems. This enables an essential improvement of visual perception (interpreting) of the radiographs, improving the validity and effectiveness of flaw detector operation.

В настоящее время в Украине находятся в эксплуатации около 36 млн. тонн металлоконструкций, 80 % которых практически исчерпали свой ресурс, часть из них превысили допустимый срок эксплуатации.

В сложившейся ситуации актуальной является задача неразрушающего контроля жизненно важных сооружений для определения их остаточного ресурса и локализации потенциально опасных участков. В конечном итоге это позволяет сформулировать и обосновать комплекс мероприятий по обеспечению безопасного функционирования соответствующих конструкций, их замене или ремонту.

Традиционные формы организации неразрушающего контроля и диагностики сварных металлоконструкций, где значительное место занимает ручной труд дефектоскопистов, неадекватны возрастающим требованиям к безопасности работы промышленных объектов при увеличении объемов таких металлоконструкций в стране. В этих условиях кардинальное решение проблемы массовой паспортизации сварных конструкций возможно при автоматизации контроля качества с использованием современных средств вычислительной техники.

В Институте электросварки им. Е. О. Патона НАНУ постоянно ведутся работы по созданию автоматизированных установок, позволяющих определить вид, месторасположение, размеры внутренних дефектов. В настоящее время в отделе № 4 ИЭС им. Е. О. Патона совместно с компанией «Aristos» проводятся исследования по созданию автоматизированных рабочих мест дефектоскописта (АРМ-Д) по радиографическому контролю качества сварных соединений с использованием стандартной (серийно выпускаемой и доступной) компьютерной техники.

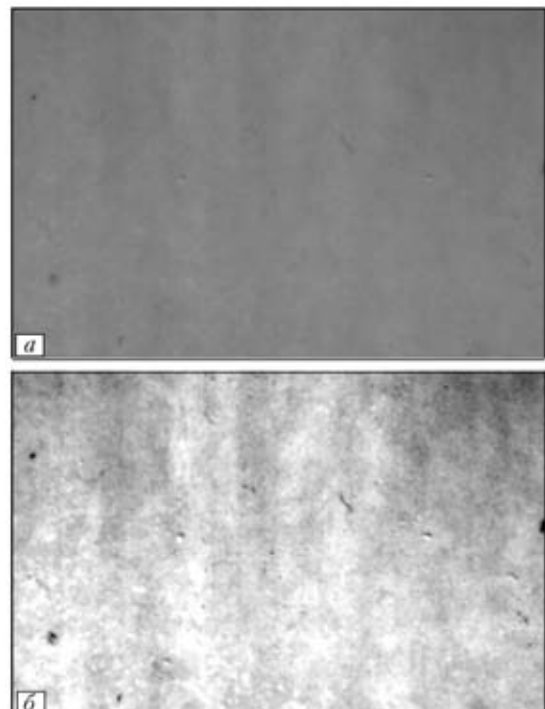
Создание АРМ-Д в основном сводится к разработке соответствующего специализированного программного обеспечения, предназначенного для работы с ПК. Это открывает возможности для широкого и быстрого практического внедрения АРМ-Д на заводах, промышленных предприятиях, их квалифицированного обслуживания в существующей в настоящее время сети компьютерного

сервиса, а также модификации и адаптации к различным потребностям производства, в том числе и к уже имеющимся у потребителя средствам радиографического контроля.

АРМ-Д включает в себя компьютер на операционной системе Windows, слайдсканер (сканер, работающий на просвет) формата А4 или А3. Для архивации данных (рентгеновских изображений) используется привод CD RW или DVD RW, документирование (получение изображений) осуществляется на лазерном принтере.

Ввод и оцифровка исходных данных (рентгеновских изображений) могут проводиться с различных носителей: рентгеновский снимок на пленке (позитив или негатив), снимок на фотобумаге (позитив или негатив). На рисунке показан фрагмент рентгеновского снимка детали до (а) и после (б) компьютерной обработки изображения.

Как видно на этом примере, АРМ-Д позволяют улучшать визуальное восприятие (расшифровку) рентгеновских снимков и таким образом повышать





достоверность и эффективность работы дефектоскопистов при анализе изображений, обеспечивать хранение и архивацию большого количества рентгеновских снимков. При этом ввод/вывод контролируемых рентгеновских снимков позволяют осуществлять стандартные средства вычислительной техники по локальным сетям, электронной почте, по интернет.

Набор стандартных средств вычислительной техники позволяет организовать доступ к локальным сетям (например, на уровне участка, лаборатории или производственного комплекса), обеспечивает возможность приема/передачи информации по электронной почте, по сетям интернета. Такие АРМ-Д могут стать составным элементом, обеспечивающим доступ к интегрированным базам данных по неразрушающему контролю, используемым на всех этапах в процессе производства, при строительстве, на монтаже, в процессе эксплуатации и ремонта соответствующих металлоконструкций. Например, при диагностике и ремонте металлоконструкций можно на месте, автоматически запросить и получить все исходные данные по контролю качества изделия, инспекционному контролю данного изделия, которые хранятся в базе данных. Кроме того, соответствующие данные могут быть оперативно получены и переданы на дальние расстояния по стандартным каналам связи (например, телефонным и радиотелефонным линиям), а также представлены оператору визуально на экране монитора компьютера. Обобщение результатов обработки может быть чрезвычайно полезным для оценки остаточных ресурсов различных объектов.

Регулярная массовая обработка архивов снимков, особенно для жизненно важных систем (атомные электростанции, магистральные трубопроводы, мосты и другие сооружения) может дать сведения о потенциально отказоопасных участках, которые требуется тщательно проверить и при необходимости отремонтировать или заменить.

Комплекс прост в применении, его можно использовать в лабораториях и заводских условиях. Он может обеспечивать доступ к электронному архиву различного уровня для дальнейшей обработки, хранения и передачи накопленных данных.

В настоящее время для предприятий, которые работают с радиографическими снимками на основе применения разработанного комплекса для компьютерной обработки рентгеновских снимков, есть возможность:

- повысить качество изображения рентгеновских снимков;
- повысить оперативность и достоверность анализа изображений;
- создать компьютерную базу изображений, полученных при радиографическом контроле сварных металлоконструкций.

1. Румянцев С. В. Радиационная дефектоскопия. — М.: Атомиздат, 1974. — 510 с.
2. Троицкий В. А. Пособие по радиографии сварных соединений. — Киев, ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины, 2000. — 266 с.
3. Уинкун С. Microsoft SQL server. — С.-Петербург. — BHV. — 1999. — 516 с.
4. Цифровая обработка рентгеновских снимков / В. А. Троицкий, В. К. Пономаренко, Н. Г. Белый и др. // Современные методы и средства неразрушающего контроля и технической диагностики. Матер. 12-й Международной конф. (20–24 сентября 2004 г.), Ялта. — С. 74–76.

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

Поступила в редакцию 07.02.2005

Средства неразрушающего контроля и технической диагностики / Серия справочников. — Т.1. Оборудование, принадлежности и расходные материалы для промышленного неразрушающего контроля и технической диагностики // Справочник покупателя. Вып. 2. — СПб.: ВВМ, 2004. — 152 с. Формат 210×290 мм, мягкий переплет.

ISBN 5-9651-0045-0

Справочник содержит информацию об оборудовании, принадлежности и расходных материалах для неразрушающего контроля и технической диагностики, предоставленную российскими и зарубежными фирмами. В издании справочника приняли участие 102 фирмы из России, Украины, Молдовы, Беларуси, Германии, США, Франции, Великобритании, Чехии, Израиля, Италии, Швеции и Швейцарии.

Предназначается для специалистов лабораторий (подразделений) неразрушающего контроля промышленных и строительных предприятий и транспорта, а также для сотрудников отделов снабжения.

Заказы на книгу просьба направлять:

195220, Санкт-Петербург, а/я 277
Тел.: (812) 324 0668, факс: (812) 324 0669
E-mail: editor@ndtworld.com www.ndtworld.com



ПО СТРАНИЦАМ ЖУРНАЛА «ДЕФЕКТОСКОПИЯ»

Ю. Н. ПОСЫПАЙКО, Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАНУ

В 2005 г. журналу «Дефектоскопия» исполняется 40 лет. Он издается с февраля 1965 г. Российской Академией наук, а его редакция находится в Екатеринбурге, в Институте физики металлов Уральского отделения РАН. На страницах этого журнала печатались все пишущие дефектоскописты стран СНГ. Предоставлял свои страницы он и специалистам Института электросварки им. Е. О. Патона НАНУ. И сегодня журнал «Дефектоскопия» остается одним из наиболее авторитетных изданий в мире технического контроля. Поэтому первый обзор в рубрике «По страницам журналов» мы посвящаем нашему давнему другу, советчику, воспитателю не одного поколения профессиональных дефектоскопистов — журналу «Дефектоскопия». Мы предлагаем краткий обзор публикаций 2004 г., которые обратили на себя наше внимание и должны вызвать интерес у всех практикующих дефектоскопистов.

УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОНТРОЛЬ

Автоматизация проверки характеристик пьезопреобразователей / И. Н. Ермолов, А. Х. Вопилкин // Дефектоскопия. — 2004. — № 6. — С. 12–25.

Авторы, известные специалисты по ультразвуковому контролю, обсуждают возможности и способы автоматической проверки характеристик ультразвуковых преобразователей в соответствии с EN 12668. Предлагаются оборудования, стандартные образцы, методические подходы, а также некоторые усовершенствования этого стандарта.

Ультразвуковая дефектоскопия головными волнами — физические предпосылки и практическое применение / Н. П. Разыграев // Дефектоскопия. — 2004. — № 9. — С. 27–37.

В 1972 г. при проведении исследований по УЗ контролю металла оборудования АЭС в ЦНИИТМАШ обнаружили явление возбуждения с помощью наклонного преобразователя и дальнейшего распространения вдоль контактной поверхности продольных волн. В дальнейшем это явление подверглось всестороннему исследованию, получило название головных волн применительно к УЗ дефектоскопии металлов. Головные волны нашли применение в практике УЗ контроля как в России, так и за рубежом. В настоящей статье представлены некоторые основные моменты развития теории и практики УЗ контроля головными волнами.

Достижения в теоретических вопросах ультразвуковой дефектоскопии, задачи и перспективы / И. Н. Ермолов // Дефектоскопия. — 2004. — № 10. — С. 13–48.

Такие публикации не часто появляются в журналах. Их смело можно отнести к «явлениям года». Предлагаемый материал подготовлен по просьбе организаторов XVIII Санкт-Петербургской конференции «Ультразвуковая дефектоскопия металлоконструкций УЗДМ 2004». В работе рассмотрены достижения в теоретических вопросах ультразвуковой дефектоскопии за последние 20 лет, затронуты также некоторые практические вопросы. Сформулированы

отдельные задачи, ждущие своего решения, и представлен взгляд автора на перспективы развития ультразвуковой дефектоскопии.

Методологические аспекты оценки прочности и остаточного ресурса сосудов давления на основе акустико-эмиссионной диагностики / В. Волковас, В. Дорошевас, В. И. Эльманович, Д. В. Багмутов // Дефектоскопия. — 2004. — № 11. — С. 50–61.

Анализируется состояние акустико-эмиссионной диагностики сосудов давления. Показано, что широко используемая качественная связь метода неразрушающего контроля и науки о прочности может быть заменена количественной на основе специально организованного неразрушающего контроля в процессе эксплуатации. В ряде примеров по оценке состояния сосудов давления, подверженных низкотемпературной водородной (сероводородной) коррозии, а также питтинговой коррозии, изложены основные положения и возможности предложенной методологии и приведены результаты оценки остаточного ресурса некоторых сосудов. Проведенные исследования показывают целесообразность разработки новых нормативных документов оценки пригодности к эксплуатации дорогостоящего оборудования нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятий на основе акустико-эмиссионной диагностики, прикладной механики разрушения и анализа рисков.

МАГНИТНЫЙ КОНТРОЛЬ

Магнитометр дефектоскопический МФ-23ИМ / В. М. Мужижкий, А. С. Бакунов, Д. А. Кудрявцев // Дефектоскопия. — 2004. — № 1. — С. 12–16.

Описан созданный в НИИИИ МНПО «Спектр» новый магнитометр МФ-23ИМ для измерения напряженности и индукции постоянных, переменных (промышленной частоты) и импульсных магнитных полей при контроле ферромагнитных изделий магнитопорошковым методом. Магнитометр обладает большим диапазоном измерения индукции магнитных полей и может графически отображать формы импульсов магнитного поля.



Некоторые вопросы определения оптимальных размеров намагничивающих систем на постоянных магнитах / В. Ф. Мужичкий, Д. А. Кудрявцев // Дефектоскопия. — 2004. — № 2. — С. 67–75.

Рассмотрена задача определения оптимальных параметров П-образного магнита для намагничивания контролируемых изделий при магнитном контроле. Приведены формулы для вычисления оптимальных размеров полюсов, длины магнитопровода и межполюсного расстояния.

Портативные электромагнитоакустические толщинометры (ЭМАТ) / Г. Я. Безлюдько, Е. В. Долбня, Н. Г. Лещенко, В. Ф. Мужичкий, В. Б. Ремазов // Дефектоскопия. — 2004. — № 4. — С. 29–35.

Наш коллега из Харькова Геннадий Безлюдько и его московские соавторы описывают две разновидности бесконтактных электромагнитоакустических переносных толщиномеров с автономным питанием, созданных на базе современных цифровых технологий, в которых реализована новая высокоэффективная конструкция концентратора магнитного поля, разработанная на базе новых магнитных материалов. Толщиномер КРМ-Ц-Дельта снабжен мощной микропроцессорной системой обработки данных, что расширяет его возможности. Толщиномер ЭМАТ-100 обладает малыми габаритами и весом. Основным достоинством обоих приборов является возможность работы на корродированных необработанных поверхностях без применения контактной жидкости. Оба прибора могут осуществлять контроль через покрытие значительной толщины (до 2 мм), пригодны для работы в цеховых и полевых условиях.

Комплект портативного оборудования для магнитолюминесцентной дефектоскопии / В. Ф. Мужичкий, А. С. Бакунов, А. Ю. Королев, Д. А. Кудрявцев, В. П. Петров / Дефектоскопия. — 2004. — № 4. — С. 54–59.

Рассмотрены область применения, особенности работы и основные технические характеристики оборудования, входящего в комплект для магнитолюминесцентной дефектоскопии — намагничивающего устройства УН-5 с гибким магнитопроводом, портативного ультрафиолетового облучателя УФО-303500, контрольного образца и магнитной суспензии Cerkle Safe 778А и 840А.

Магнитно-тепловой метод контроля геометрических характеристик проплавления соединений, выполненных контактной и дуговой сваркой / В. П. Куликов, С. В. Болотов // Дефектоскопия. — 2004. — № 4. — С. 73–85.

На основе исследований взаимодействия тепловых и электромагнитных полей при сварке стали предложен новый подход в оценке качества соединений, выполненных контактной точечной и дуговой сваркой. Свариваемые контактной точечной сваркой детали намагничиваются соленоидом непосредственно после отключения сварочного тока.

По изменению уровня нормальной составляющей остаточной индукции в центре контактного пятна электрода оценивается диаметр литого ядра. Свариваемые дуговой сваркой детали намагничиваются до сварки. По величине зоны размагничивания, непосредственно прилегающей к сварному шву, судят о его глубине проплавления.

Повышение надежности магнитопорошкового контроля при использовании автоматизированной установки магнитолюминесцентного контроля торцов труб УМЛК-10 / А. С. Бакунов, В. П. Курозаев, Д. А. Кудрявцев, В. К. Бронников, В. Г. Кравченко // Дефектоскопия. — 2004. — № 4. — С. 32–39.

Описано устройство автоматизированной установки магнитолюминесцентного контроля торцов труб в поточном производстве. Приведена структурная схема установки. Рассмотрен вопрос определения магнитного поля, создаваемого установкой. Описана технология создания контрольного образца, необходимого для проверки работоспособности установки.

К вопросу об анализе результатов внутритрубной дефектоскопии, характеризующих состояние магистрального газопровода с коррозионными дефектами / В. А. Горчаков, И. А. Долгов, Ю. П. Сурков, В. Г. Рыбалко, А. Ю. Сурков // Дефектоскопия. — 2004. — № 10. — С. 79–88.

В настоящее время результаты внутритрубной дефектоскопии (ВТД) используются главным образом для решения оперативных задач обеспечения надежности эксплуатации действующих газопроводов (путем удаления или выборочного ремонта дефектных труб). Однако задачей неразрушающего контроля является не только определение дефектов, но и установление основных причин их возникновения. Это требует использования количественных показателей параметров дефектов для оценки устойчивых тенденций развития повреждаемости, определения наиболее существенных причин возникновения выявляемых дефектов и прогнозирования возможной динамики их развития с увеличением срока наработки системы магистральных газопроводов. Данные задачи могут решаться на основании анализа первичных результатов ВТД путем выбора и использования устойчивых количественных показателей общей повреждаемости с применением методов статистики.

КОНТРОЛЬ ГЕРМЕТИЧНОСТИ

Выявление сквозных микродефектов конструкций путем локализации акустических полей, создаваемых истечением воздуха / А. Я. Розинов, О. В. Ярыгин // Дефектоскопия. — 2004. — № 6. — С. 26–35.

Проводится описание нового спектрального анализатора акустических полей, предназначенного для выявления сквозных дефектов. Рассматривается экспериментальное опробование аппаратуры.



5-й Юбилейный семинар-выставка «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ПРИБОРЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ»

23–25 ноября 2004 г. в Харькове состоялся 5-й Юбилейный семинар-выставка «Современные технологии и приборы неразрушающего контроля и технической диагностики». Семинар был организован Восточным региональным отделением Украинского общества неразрушающего контроля и технической диагностики совместно с ОАО «Производственно-техническим предприятием «Укрэнергочермет». Подготовка мероприятия осуществлялась при поддержке Правления УО НКТД, Ассоциации «Укрэксперт», НТЦ «Термоконтроль» ХНУРЭ, кафедры «Приборов и методов НК» НТУ «ХПИ», группы предприятий «Ультракон» и др.

В работе 5-го Юбилейного семинара-выставки приняли участие свыше 180 участников из 65-ти предприятий и организаций Украины, а также эксперт Немецкого головного органа по аккредитации (TGA) доктор Гансгеорг Тиле. На семинаре были широко представлены научные организации и учреждения, производственные и эксплуатационные предприятия в области НК и ТД. Среди них:

- ✓ Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины (г. Киев);
- ✓ Национальный авиационный университет (г. Киев);
- ✓ Национальный технический университет «ХПИ» (г. Харьков);
- ✓ Межотраслевой институт повышения квалификации НТУ «ХПИ» (г. Харьков);
- ✓ Национальный научный центр «ХФТИ» (г. Харьков);
- ✓ ГП «Харьковстандартметрология» (г. Харьков);
- ✓ Испытательный центр «УкрНИИМет» УкрГНТЦ «Энергосталь» (г. Харьков);
- ✓ ОАО «Турбоатом» (г. Харьков);
- ✓ УкрНИИхиммаш (г. Харьков);
- ✓ НТЦ «Термоконтроль» ХНУРЭ (г. Харьков);
- ✓ Корпорация «Интерподъемтрансмаш», (г. Харьков);
- ✓ ВУЗ УНПЦ «Укртехпрогресс» (г. Харьков);
- ✓ Инженерный центр «Энергомаш» (г. Харьков);
- ✓ ГПУ «Шебелинкагаздобыча» (Харьковская область, пгт Червоный Донец);
- ✓ ЗАО Лозовской завод «Трактородеталь» (Харьковская область, г. Лозовая);
- ✓ Ремонтно-диагностическая фирма «Аргон-люкс» (г. Полтава);
- ✓ ОАО «Кременчугский колесный завод» (г. Кременчуг);
- ✓ ЗАО «Кременчугское управление механизации строительства» (г. Кременчуг);
- ✓ Государственное КБ «Южное» им. М. К. Ягеля (г. Днепропетровск);
- ✓ ОАО «Приднепровский РМЗ» (г. Днепропетровск);
- ✓ ОАО «Мотор Сич» (г. Запорожье);
- ✓ ОАО «Донецкий металлургический завод» (г. Донецк);
- ✓ ОАО «Мариупольский завод тяжелого машиностроения» (г. Мариуполь);



Выступление на пленарном заседании доктора Гансгеорга Тиле (Немецкий головной орган по аккредитации (TGA), г. Дюссельдорф, Германия).

- ✓ ЗАО Строительно-монтажная фирма «Донбассмеханомонтаж» (г. Мариуполь);
 - ✓ ОАО «Авдеевский КХЗ» (г. Авдеевка);
 - ✓ ОАО «Николаевпромсантехмонтаж» (г. Николаев);
 - ✓ НПЦ «Диагностика и контроль» (г. Николаев)
 - ✓ ДП «Иршанский ГОК» (Житомирская область, г. Иршанск);
 - ✓ Локомотивное депо «Коростень» (Житомирская область, г. Коростень)
 - ✓ ООО НПФ «Зонд» (г. Ивано-Франковск);
 - ✓ ОАО «Западэнерго» (г. Львов);
 - ✓ ОАО «Ровногаз» (г. Ровно);
 - ✓ ОАО «Ровногазстрой» (г. Ровно) и др.
- Были широко представлены экспертно-технические центры Госнадзорохрантруда Украины:
- ✓ Днепропетровский ЦС и ККС нефтегазового комплекса Украины;
 - ✓ Криворожский ЭТЦ;
 - ✓ Восточный ЭТЦ;
 - ✓ Дорожный экспертно-технический центр ЮЖД;



Участники семинара-тренинга экзаменаторов системы сертификации персонала по НК Ассоциации «Укрэксперт» (слева направо: Хорло Н. Ф., Тиле Гансгеорг, Щупак С. А., Стороженко С. В., Радько В. И.)



- ✓ Сумской ЭТЦ;
- ✓ Николаевский ЭТЦ.

Традиционно высокую активность в работе семинара-выставки проявили учебные и аттестационные центры по неразрушающему контролю системы сертификации персонала Ассоциации «Укрэксперт» Госнадзорхрантруда Украины. Среди них:

- ✓ АЦНК при ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины;
- ✓ УЦ и АЦНК ТК «Спецмонтаж»;
- ✓ АЦНК НПФ «Зонд»;
- ✓ УЦ и АЦНК ОАО «ПТП «Укрэнергочермет»;
- ✓ ХР УЦ и АЦНК СП «Харьковский профессиональный колледж»;
- ✓ Приднепровский УЦ и АЦНК;
- ✓ АЦНК «Нефтегаз»;
- ✓ АЦНК НТЦ «Сич Серт»;
- ✓ АЦНК ГАЭК «Западэнерго».

В ходе двух пленарных заседаний, проведенных в рамках семинара-выставки, представлено и заслушано 20 докладов. Были заслушаны выступления по следующим направлениям программы семинара:

1. Теория и технология физических методов контроля качества — 3 доклада;
2. Средства, системы, методики НК и ТД — 4 доклада;
3. Определение остаточного ресурса и эксплуатационных характеристик — 7 докладов;
4. Стандартизация методов и средств НК — 1 доклад;
5. Метрологическое обеспечение средств НК — 1 доклад;
6. Сертификация специалистов и аккредитация лабораторий НК и ТД — 4 доклада.

При проведении пленарных заседаний неоднократно возникали дискуссии (порой довольно острые) при обсуждении докладов. В частности, большой интерес вызвали выступления:

— *Сучков Г. М.*, Национальный технический университет «ХПИ», г. Харьков. — Разработка приборов для неразрушающего контроля ЭМА способом;

— *Соколов С. Л.*, Национальный университет кораблестроения, г. Николаев. — К вопросу ультразвукового контроля сварных соединений узлов газовых турбин, выполненных электронно-лучевой сваркой на основе сплавов ЭП-609 и ЭИ-961;

— *Штомпель И. О.*, ЗАО «ТЭЦ-3», г. Харьков. — Настройка чувствительности по боковому цилиндрическому отверстию при УЗК контроле сварных швов в диапазоне от 6 до 12 мм;

— *Белый Н. Г.*, ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ, г. Киев. — Техническая диагностика и неразрушающий контроль промышленных установок, работающих в условиях истощения эксплуатационного ресурса;

— *Попов В. А.*, ООО «Подъемсервис» Корпорации «Интерподъемтрансмаш», г. Харьков. — Основные направления исследований и практики применения магнитной структуроскопии;

— *Жадап Б. Р.*, ОАО «ПТП «Укрэнергочермет», г. Харьков. — Техническое диагностирование объектов котлонадзора;

— *Мешков С. Н.*, НТЦ «Термоконтроль» ХНУРЭ, г. Харьков. — Обследование гидротехнических сооружений термографическим методом;

— *Тиле Гансгеорг*, Немецкий головной орган по аккредитации (TGA). — Аккредитация испытательных лабораторий и сертификация специалистов по НК в Германии;

— *Радько В. И.*, Ассоциация «Укрэксперт», г. Киев. — Порядок признания сертификатов компетентности, выданных вне системы сертификации персонала по НК Ассоциации «Укрэксперт».

В работе выставки приборов и средств неразрушающего контроля и технической диагностики приняли участие экспоненты из: ОАО «ПТП «Укрэнергочермет» (г. Харьков), НПЦ «Диагностика и контроль» (г. Николаев), кафедра «Приборов и методов НК» Национального технического университета «ХПИ». Кроме того, свои рекламно-информационные материалы представили: НТЦ «Термоконтроль» ХНУРЭ (г. Харьков), ООО «НПФ «Ультракон» (г. Киев), НПФ «Диагностические приборы» (г. Киев), ДП-Тест (г. Киев).

В рамках 5-го Юбилейного семинара-выставки «Современные технологии и приборы неразрушающего контроля и технической диагностики» было проведено несколько автономных мероприятий.

23 ноября на базе Аттестационного центра по неразрушающему контролю (АЦНК) ОАО «ПТП «Укрэнергочермет» был проведен семинар-тренинг экзаменаторов системы сертификации персонала по НК Ассоциации «Укрэксперт» с участием эксперта Немецкого головного органа по аккредитации (TGA) доктора Гансгеорга Тиле. Программа семинара-тренинга включала в себя проведение процедуры квалификационного экзамена кандидата по одному из методов неразрушающего контроля согласно требований EN 473:2000. В качестве кандидата на аттестацию выступал эксперт TGA (доктор Гансгеорг Тиле), в качестве экзаменатора — директор АЦНК ОАО «ПТП «Укрэнергочермет» (Хорло Н. Ф., специалист МТ-III). В программе семинара-тренинга были затронуты следующие вопросы:

- ✓ подготовительные работы по проведению квалификационного экзамена;
- ✓ процедура проведения общей, специальной и практической части квалификационного экзамена;
- ✓ оценка экзаменатором действий кандидата;
- ✓ анализ действий экзаменатора;
- ✓ анализ протоколов частей квалификационного экзамена;
- ✓ рекомендации по выполнению процедуры проведения квалификационного экзамена.

Эксперт TGA доктор *Гансгеорг Тиле* при подведении итогов семинара-тренинга отметил должный уровень подготовки экзаменаторов системы сертификации персонала по НК Ассоциации «Укрэксперт». Данный семинар дал ответы на многие вопросы, связанные с введением процедуры аттестации по европейскому стандарту EN 473:2000 в АЦНК, аккредитованных в Органе по сертификации персонала по НК Ассоциации «Укрэксперт».

По окончании пленарных заседаний 5-го Юбилейного семинара-выставки было проведено совещание руководителей учебных и аттестационных центров системы сертификации персонала по НК Ассоциации «Укрэксперт» Госнадзорхрантруда Украины. На совещании были затронуты вопросы по приведению бланков протоколов контроля и протоколов общего, специального и практического экзаменов к требованиям



стандарта EN 473:2000. Также была рассмотрена возможность использования в процедурах обучения и аттестации единых форм протоколов контроля экзаменационных образцов. Экзаменаторы были ознакомлены с руководством по снижению баллов при оценке результатов практического экзамена. Обсуждались текущие вопросы сертификации персонала по НК.

В заключение семинара-выставки было проведено отчетно-выборное собрание Восточного регионального отделения Украинского общества неразрушающего контроля и технической диагностики. На собрании был заслушан отчетный доклад Председателя Восточного отделения *Хорло Н. Ф.* о проделанной работе за 2003–2004 гг. После обсуждения доклада участниками председателем собрания был поставлен вопрос об избрании на следующий период (2 года) Председателя и Научно-технический совет Восточного отделения УО НКТД. По предложению председателя собрания члена Правления УО НКТД *Белого Н. Г.* был выдвинут на пост председателя Восточного регионального отделения УО НКТД и переизбран *Хорло Н. Ф.*, директор АЦНК ОАО «ПТП «Укрэнергочермет». Вновь избранный председатель Восточного регионального отделения предложил оставить в том же составе Научно-технический совет регионального отделения, так как данный состав участников хорошо зарекомендовал себя в процессе функционирования отделения за истекший период. В ходе собрания были заслушаны предложения и утвержден план работ Восточного регионального отделения на 2005 г. В заключение собрания председатель Восточного регионального отделения *Хорло Н. Ф.* отметил активных членов УО НКТД Восточного регионального отделения почетными грамотами и выразил благодарность руководителям предприятий и ведущим

специалистам, работающим в области НК и ТД, по таким номинациям:

- ✓ за внедрение новых технологий в области НК;
- ✓ за развитие новых направлений НК;
- ✓ за профессиональные достижения в области НК;
- ✓ за научные разработки в области НК;
- ✓ за значительный вклад в развитие НК на производстве и др.

Информационная поддержка семинара традиционно осуществлялась Интернет сайтом Восточного регионального отделения УО НКТД www.ndt-vostok.com.ua. По окончании мероприятия участники 5-го Юбилейного международного семинара-выставки получили именные свидетельства об участии в семинаре, сборник докладов пленарных заседаний, а также рекламно-информационные материалы выставки технических средств НК. Участники семинара-выставки высказали в адрес организаторов предложения по оптимизации статуса данного мероприятия. Были предложения о переводе семинара-выставки на уровень конференции, что позволит более полно осветить вопросы программы мероприятия не только на пленарных заседаниях, но и в отдельных секциях — отраслевых, и в научных направлениях. Организаторы заверили участников семинара-выставки, что приложат все усилия для реализации в будущем 2005 г. данного мероприятия о статусе конференции.

Информационное сообщение подготовлено председателем Восточного рег. отд-я УО НКТД Н. Ф. Хорло

— ✧ — ✧ — ✧ —

8-я Международная конференция «Применение современного неразрушающего контроля в технике» 1–3 сентября, 2005 в г. Портороч, Словения

Тематика:

- применение НК для испытания конструкций
- контроль материалов и конструкций различными методами НК
- разработка новых методов для НК материалов и конструкций
- математическое моделирование при НК
- компьютеризованные методы НК материалов и конструкций
- применение различных методов НК для испытания материалов при изготовлении и эксплуатации
- автоматизация НК материалов и продукции массового производства
- совершенствование методов испытаний

- презентация новых методов и оборудования для НК материалов и конструкций
- оценка признаков, оценка надежности и допустимости дефектов
- обучение НК
- квалификация и сертификация персонала для НК
- сертификация баз и оборудования и выдача разрешений на проведение НК
- стандарты по НК и их применение.

The Slovenian Society for Non-destructive Testing
Prof. Dr. Janez Grum
Askerceva 6
1000 Ljubljana, Slovenia
E-mail: janez.grum@f.uni-lj.si



ВСЕУКРАЇНСЬКИЙ ФОРУМ «СТАНДАРТИ ТА ЯКІСТЬ — 2005»

22–25 березня 2005 р.

Торгово-промислова палата України, м. Київ, вул. Велика Житомирська, 33

Девіз форуму «Через забезпечення якості до успіхів у бізнесі»

Сьогодні в усьому світі активно розвиваються нові методи контролю якості і безпеки продукції, принциповою відмінністю яких є націленість на запобігання відхилень на етапах життєвого циклу продукції, а не боротьба з виявленими дефектами. На сучасному підприємстві система контролю якості продукції стала невід'ємною складовою виробничого процесу.

Забезпеченню високої якості товарів і послуг, досягненню успіхів у бізнесі сприяє впровадження на вітчизняних підприємствах принципів загального управління якістю, ефективних систем управління. Це особливо ак-

туально в умовах глобалізації ринку та перспективи приєднання України до СОТ.

Всеукраїнський форум «Стандарти та Якість» пропонує обговорення та рішення проблем, пов'язаних із застосуванням сучасних технологій і методів контролю, з комплексним забезпеченням випробувальних лабораторій.

В програмі Форуму:

- Спеціалізована виставка «Час Якості».
- Науково-практична конференція «Контроль і випробування: проблеми, рішення, перспективи».

Перша міжнародна спеціалізована виставка «Час Якості — 2005»

Основні розділи виставки:

- Лабораторний контроль
- Аналітика
- Дефектологія

Тематичні напрямлення виставки:

- винаходи та випробування — світ нових можливостей, нова конкурентна продукція; дефектологія — неруйнівний контроль та технічна діагностика (НК — безконтактні вимірювання в промисловості);
- аналітичні прилади та обладнання, засоби комплексного забезпечення безпеки роботи; лабораторна техніка, обладнання, прилади, матеріали, меблі, спецодяг;
- автоматизація та робототехніка, ексклюзивні прилади, обладнання для високих сучасних технологій; контрольні-вимірювальне обладнання, прилади, повірочний та промисловий інструмент;
- ваговимірювальна та дозуюча техніка;
- оптичні прилади;
- обладнання для хроматографії;
- біотехнології та засоби біологічної безпеки;

- прилади для хімічного аналізу, хімічні реактиви, надчисті речовини та каталізатори;
 - аспекти контролю для медицини, фармацевтики, харчової промисловості,
 - агротехнічного комплексу та ветеринарії; комплектні мобільні, пересувні та польові лабораторії для хімічно-аналітичного контролю;
 - екологічний контроль;
 - стандартизація, сертифікація;
 - повний спектр сервісних послуг НК;
 - експертні організації, атестаційні центри;
 - програмне забезпечення науково-дослідних центрів;
 - спеціалізовані видання, методична література
- Контакти:** Торгово-промислова палата України (Управління міжнародних та іноземних виставок): 33, вул. Велика Житомирська, 01601, Київ, Україна, тел.: + 38 044 2722805, 494 0397; факс: + 38 044 568 57 51; e-mail: expo@uccr.org.ua, http: www.uccr.org.ua

Перша науково-практична конференція «КОНТРОЛЬ І ВИПРОБУВАННЯ: ПРОБЛЕМИ, РІШЕННЯ, ПЕРСПЕКТИВИ»

23–25 березня 2005 року

Організатори — Торгово-промислова палата України, Українська асоціація якості

ПОПЕРЕДНЯ ПРОГРАМА

I сесія. Менеджмент випробувальної лабораторії: акредитація згідно з вимогами ДСТУ ISO/IEC 17025-2001; система управління якістю за МС ISO 9001; метрологічне забезпечення; проекти міждержавних стандартів щодо проведення випробувань із застосуванням міжлабораторних порівнянь, інформаційні технології; секрети ділового успіху, досвід підвищення досконалості.

II сесія. Технології і методи контролю (в т. ч. неруйнівного), випробувальне, діагностичне і контрольне устаткування, засоби автоматизації, робототехніка, сучасні прилади діагностики, винаходи.

III сесія. Якість і безпека життя: екологічний контроль; безпека продукції; методи контролю

Семінар. Економне виробництво. Новий підхід до організації виробничих процесів.

Круглий стіл. Досвід випробувальних і калібрувальних лабораторій із забезпечення високої якості вимірювань.

Контакти: Українська асоціація якості, 40, пр-т Академіка Глушкова, 03680, Київ, Україна, тел./факс: + 38 044 252 5928, 252 3601, 268 1172; e-mail: ntz@quality.kiev.ua



ИТОГИ ПРОВЕДЕНИЯ МЕЖДУНАРОДНОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ФОРУМА «ПРОИЗВОДСТВО И ЗАЩИТА — 2004»

Индустриальный блок ✧ Безопасность производства ✧ Образцы, стандарты, эталоны, приборы

Второй год Международная специализированная выставка «Образцы, стандарты, эталоны, приборы» проходила в рамках Международного выставочного форума «Производство и защита — 2004» с активным участием организаций и предприятий Госпотребстандарта Украины, экспозиция которых продемонстрировала весь спектр сферы технического регулирования.

Тематические направления:

- Контрольно-измерительные приборы и аппаратура
- Сертификация, стандартизация, метрология
- Неразрушающий контроль и техническая диагностика

Организация выставки проходила при поддержке Государственного комитета Украины по вопросам технического регулирования и потребительской политики.

Организаторы выставки:

- Украинский научно-производственный центр стандартизации, метрологии и сертификации
- Украинское общество неразрушающего контроля и технической диагностики
- ЗАО «Международный выставочный центр»

В выставке были представлены услуги 14 региональных ГЦСМС, продукция 62 предприятий — производителей контрольно-измерительных приборов, диагностического оборудования и приборов для неразрушающего контроля и технической диагностики, весового и лабораторного оборудования. Укрметртестстандартом и Харьковстандартметрологией были организованы научно-практические семинары по метрологичес-

кому обеспечению производства и стандартизации, по вопросам аккредитации испытательных лабораторий, актуальным проблемам отечественных производителей весоизмерительной техники.

В рамках выставки прошла широкая программа семинаров по неразрушающему контролю и технической диагностике, организатором которых выступило Украинское общество неразрушающего контроля и технической диагностики. На семинарах рассматривались проблемы неразрушающего контроля промышленных объектов с целью предотвращения их разрушения, вопросы стандартизации, сертификации и метрологического обеспечения, средств НК ТД. Непосредственное участие в работе семинаров приняли ведущие специалисты и ученые Института электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, Харьковского национального университета радиоэлектроники, Ивано-Франковского национального университета нефти и газа, Физико-механического института им. Г. В. Карпенко НАН Украины, Украинского научно-исследовательского и проектно-конструкторского института Минтопэнерго, Украинского научно-исследовательского института химического машиностроения, специалисты машиностроительной, топливно-энергетической и транспортной отраслей промышленности практически из всех регионов Украины.

Промышленный форум освещали 47 аккредитованных журналистов.

За время работы форума его посетили около 2,5 тысяч экспертов, профессионалов и топ-менеджеров отрасли. Статус целевой аудитории посетителей дал возможность подавляющему большинству экспонентов заключить ряд выгодных контрактов на поставку оборудования, оценить результаты своей работы в целом как положительные, и сделать заявки на участие в промышленном форуме 2005 г., который состоится в Киеве с 29 ноября по 2 декабря.



ОБРАЗЦЫ, СТАНДАРТЫ,
ЭТАЛОНЫ, ПРИБОРЫ

30 ноября-2 декабря 2004

МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА
КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО, ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ,
РАБОТ И УСЛУГ В ОБЛАСТИ СТАНДАРТИЗАЦИИ, СЕРТИФИКАЦИИ, МЕТРОЛОГИИ
«ОБРАЗЦЫ, СТАНДАРТЫ, ЭТАЛОНЫ, ПРИБОРЫ - 2004»

Украина, г. Киев, Международный выставочный центр, Броварской пр. 15, ст. М «Левобережная»



УВАЖАЕМЫЕ СПЕЦИАЛИСТЫ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА!

Приглашаем принять участие в крупных событиях 2005 г. (научный туризм)

Международная выставка «SCHWEISSEN & SCHNEIDEN» (Эссен, Германия, 12–17 сентября), «Мир металлообработки — ЕМО 2005» (Ганновер, Германия, 14–21 сентября)

Крупнейшими событиями в области машиностроения и сварки в 2005 г. будут Международная выставка «Сварка и резка» («SCHWEISSEN & SCHNEIDEN», Эссен, 12–17 сентября), на которой будут представлены мировые достижения в области сварки и родственных процессов, резки, поверхностной обработки, а также контроля качества и испытания материалов (QTI) и Международная выставка «Мир металлообработки — ЕМО 2005» (Ганновер, 14–21 сентября), на которой будут представлены мировые достижения в области станкостроения, обработки металлов и других материалов, современное оборудование, роботы, инструмент.

ЦНИИТМАШ (г. Москва) совместно с РСНТО организует в рамках проведения научно-технического семинара «Новые технологические процессы в машиностроении» недорогую поездку, включающую посещение выставок в Эссене и Ганновере. 10-дневная поездка, организуемая ЦНИИТМАШ, включает железнодорожный и автобусный переезд по маршруту: Москва–Брест–Кельн (Эссен)–Ганновер–Берлин–Москва с возможностью 3-дневной работы на сварочной выставке в Эссене и 2-дневной работы на выставке «ЕМО» в Ганновере, а также культурной программы (экскурсии в Кельне, Ганновере, Берлине, однодневные поездки в Амстердам и по городам «Рейнская Романтика»). РСНТО организывает на выставке в Эссене коллективный стенд.

Программа научно-технического семинара «Новые технологические процессы в машиностроении» включает обсуждение вопросов по проблемам машиностроения: новые материалы, технология и оборудование для выплавки стали, литейное производство, горячая и холодная обработка металла, сварка и родственные процессы, неразрушающие методы контроля, проблемы прочности и эксплуатации материалов и конструкций, проблемы экологии и безопасности. Работа семинара будет проходить в ЦНИИТМАШ и во время переездов автобусом международного класса, в котором будут созданы необходимые условия для работы семинара, в т. ч. заслушивание выступлений и просмотр видеofilмов по обсуждаемым проблемам, включая сообщения участников о собственных разработках и рекламе выпускаемой продукции. Участникам будут переданы материалы о последних разработках ЦНИИТМАШ.

Ориентировочная стоимость участия в работе семинара и поездке — 550 евро, включая все переезды, проживание в отеле, визу и медстраховку, экскурсии.

Программа поездки в Эссен (9–18 сентября 2005 г.)

- 09.09. Работа семинара в ЦНИИТМАШ. Выезд из Москвы.
- 10.09. Размещение в автобусе. Пересечение границы. Переезд через Польшу. Отель.
- 11.09. Пересечение Германии и прибытие в Кельн. Размещение в отеле.
- 12.09. Поездка в Эссен и работа на выставке. Для желающих, свободное время.
- 13.09. Работа на выставке в Эссене или однодневная поездка в Амстердам.
- 14.09. Работа на выставке или однодневная поездка «Рейнская романтика».
- 15.09. Выезд в Ганновер и работа на выставке «ЕМО». Знакомство с г. Ганновером.
- 16.09. Продолжение работы на выставке. Переезд в Берлин. Отель в Польше.
- 17.09. Пересечение Польши. Прибытие в Брест. Выезд в Москву.

Конгресс Международного института сварки (Прага, Чехия, 8–17 июля 2005 г.)

Поездка в Прагу с возможностью участия в работе Конгресса Международного института сварки. Жд + автобус: Краков–Прага (6 дн.) — Варшава и большая экскурсионная программа. Стоимость участия ориентировочно — 450 евро.

Выставка и конференция по неразрушающему контролю (Лондон, Великобритания, 9–16 апреля 2005 г.)

В рамках научно-технического семинара по неразрушающему контролю в машиностроении и энергетике предусматривается возможность посещения проходящей в Лондоне 12–14 апреля выставки и конференции по неразрушающему контролю (Materials Testing 2005). Ориентировочная стоимость — 650 евро, включая авиаперелет, трансфер, отель 2*.

Предусматривается также организация посещений международных выставок по энергетике, охране окружающей среды и технологиям обработки воды (Абу Даби, ОАЭ, 30 января–2 февраля 2005 г.) и по управлению предприятиями и бизнес-технологии (Милан, Италия, 7–14 мая 2005 г.).

По всем вопросам обращаться к Рымкевич А. И.

Тел./факс: (095) 275-85-33, м/т 8-903-168-47-81, E-mail: rimai@umal.ru
ФГУП ЦНИИТМАШ (ГНЦ РФ по технологии машиностроения)
115088, Москва Ж-88, Шарикоподшипниковская, 4.



НА КАВКАЗЕ ПОЯВИЛСЯ ПИК ПАТОНА

В августе этого года научно-спортивная экспедиция Федерации альпинизма и скалолазания Украины и Национальной академии наук Украины обследовала горный район, который прилегает с востока к Эльбрусу.

Много скально-ледовых вершин окружают Эльбрус и составляют его корону. Безымянный пик высотой 3930 м является узловым в хребте, который разделяет ледники Чат и Ирик, которые стекают с восточного склона Эльбруса. Участники экспедиции проложили на этот пик три маршрута: по восточному и южному гребням, а также по северному ребру. Первовосхождения были сделаны 14–15 августа 2004 г.

Как сообщили в пресс-службе Федерации альпинизма и скалолазания Украины, по праву, которое имеют первопроходцы, безымянный пик 3930 назван «Пик Патона» в честь Бориса Патона, Президента Национальной академии наук Украины. На вершинных скалах установлен памятный знак.

В составе экспедиции, которая первой поднялась на пик, были Валентин Симоненко (президент Федерации альпинизма и скалолазания Украины, руководитель



Счетной палаты Украины, Владимир Шумихин — заслуженный деятель науки и техники Украины, Мстислав Горбенко — заслуженный тренер Украины, заслуженный мастер спорта; Владимир Лебеденко — заслуженный врач Украины и другие.



4-а Науково-технічна конференція «СУЧАСНІ ПРИЛАДИ, МАТЕРІАЛИ І ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ І ТЕХНІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ ПРОМИСЛОВОГО ОБЛАДНАННЯ»

З 06 по 09 грудня 2005 р. в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу відбудеться 4-а Міжнародна науково-технічна конференція і виставка «Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики промислового обладнання».

Конференція буде проводитися за такими напрямками:

1. Методи і технічні засоби проведення неруйнівного контролю і технічної діагностики промислового обладнання.
2. Особливості проведення неруйнівного контролю і технічної діагностики нафтогазового обладнання.
3. Підготовка, атестація і сертифікація спеціалістів в галузі неруйнівного контролю і технічної діагностики промислового обладнання.
4. Підготовка фахівців за спеціальністю «Прилади та системи неруйнівного контролю» у вищих навчальних закладах України.

По матеріалах конференції передбачається видання матеріалів доповідей, які будуть визнані ВАК України як фахове видання.

В роботі виставки будуть приймати участь відомі фірми і організації-виробники технічних засобів неруйнівного контролю і технічної діагностики України і зарубіжжя.

Адреса оргкомітету по проведенню конференції:
кафедра «Методи та прилади контролю якості і сертифікації продукції»
Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу,
вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019.
Тел. (8-03422) 4-60-77, 4-24-3; E-mail: mdqc@ifdtung.if.ua



АВТОМОТРИСА ДЕФЕКТОСКОПНАЯ АС5Д ШИРОКОГО РАДИУСА ДЕЙСТВИЯ В ЛЮБЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

В. И. ГОРДЕЛИЙ

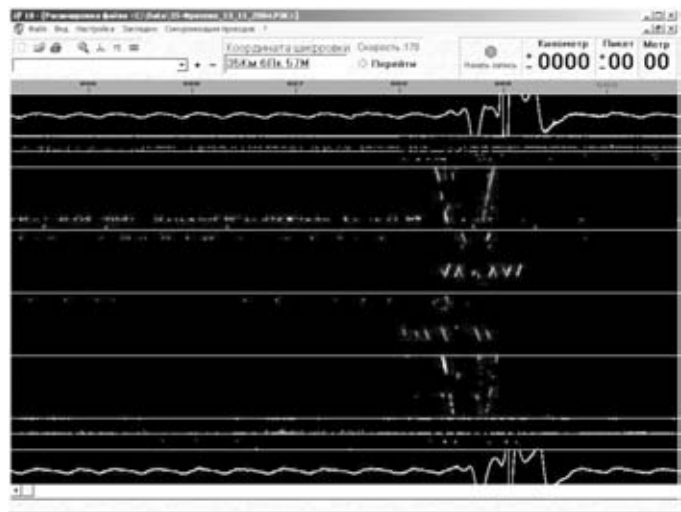
Автомотриса совмещенного типа повышенной комфортности АС5Д (показана на 1-й стр. обложки), в которой следящая, искательная и намагничивающая системы расположены на базе третьей дополнительной средней тележки (по аналогии с вагоном-дефектоскопом), является одной из последних разработок НПП «ВИГОР» в сотрудничестве с ООО «Производственная компания «Людюинотепловоз». Автомотриса предназначена для диагностирования рельсов типа Р50, Р65, Р75 и является механизированной системой для диагностики рельсов с применением ультразвукового и магнитного методов контроля, которые могут применяться как в совмещенном, так и в раздельном режимах. В новом средстве скоростного контроля рельсов учтен опыт эксплуатации предыдущих поколений автоматрис дефектоскопных и вагонов-дефектоскопов.

Основные технические характеристики

Время подготовки к работе:	
автомотрисы, ч, не более	2
дефектоскопического комплекса, мин, не более	15
тележки дефектоскопной, мин, не более	5
Диапазон рабочих температур контроля, °С:	
для ультразвукового канала	-30...+40
для магнитного канала	-40...+40
Время непрерывной работы автоматрисы, ч	8
Количество каналов на рельсовую нить, не менее	6
Количество информационных каналов	16
Рабочая скорость контроля, км/ч:	
в совмещенном режиме	20...40
с магнитным каналом	20...60
с ультразвуковым каналом, не более	40
Погрешность определения путейской координаты, %, не более	1
Запас технологической жидкости, м ³	1,8
Запас воды для бытовых нужд, л	900
Запас топлива, л	900
Основные параметры и размеры:	
мощность энергоагрегата, кВт	16
габарит вписывания	1-Т
масса автоматрисы, кг	70000
Габаритные размеры, мм:	
длина по осям автосцепок	20320 ± 50
ширина, не более	3450
высота, не более	4560



Дефектоскопический комплекс-1



Фрагмент рабочей программы



Пульт машиниста



Бытовое помещение



Конструкция автоматотрисы АС5Д обеспечивает размещение специальной высокоскоростной дефектоскопной тележки, формирующей магнитный поток почти в два раза мощнее, чем в системах на базе ходовых тележек, совмещение магнитного и ультразвукового способов выявления дефектов рельсов. На ряде автоматотрис используется электромагнитно-акустический (ЭМА) способ возбуждения и регистрации ультразвуковых колебаний без контактной жидкости и без соприкосновения искательных лыж с рельсами, что обеспечивает постоянство и стабильность акустического контакта, увеличивает долговечность и надежность работы искательных лыж.

Автоматотриса обеспечивает высокую точность определения положения дефектных мест, аппаратно-программную обработку дефектоскопической информации, запоминание информации с последующей расшифровкой (дешифровкой) и классификацию дефектов по видам, а также возможность длительного хранения информации о контроле на магнитном носителе.

В автоматотрисе созданы комфортные условия для работы и отдыха экипажа. Кабины машиниста оборудованы пультом управления, рабочими местами машиниста и помощника, специальным пультом для управления процессом обследования пути с привязкой к конкретному месту начала и окончания контроля состояния рельсов.

В автоматотрисе оборудовано специальное помещение для работы операторов дефектоскопического комплекса. Три рабочих места образуют локальную компьютерную сеть. В помещении аппаратно-программный регистрирующий комплекс ультразвукового и магнитного контроля с многоканальной электронной стойкой «Поиск-2000». Комплекс сертифицирован и разрешен к применению на железнодорожном транспорте.

Совмещенный метод контроля рельсов, примененный на АС5Д, обеспечивает высокую эффективность выявления остродефектных рельсов.

Наличие бытового салона с обеденным столом, кухонным оборудованием, спальными местами, а также два отдельных двуспальных купе, душевая и мастерская, а также большой запас топлива и технологической воды обеспечивают возможность использования автоматотрисы в длительных обследованиях железнодорожного пути.

Все это является решающим фактором постепенного перехода к установлению периодичности контроля уложенных в путь рельсов с учетом фактического состояния пути и прогнозированием его на длительный период.

Дефектоскопные автоматотрисы, отнесенные «Положением о системе неразрушающего контроля рельсов и эксплуатации средств рельсовой дефектоскопии в путевом хозяйстве железных дорог Российской Федерации» к средствам первичного контроля рельсов, благодаря своей мобильности позволят в недалеком будущем перейти в основном на механизированный контроль рельсов.

Стоимость контроля рельсов, уложенных в железнодорожный путь, в три раза ниже, чем стоимость контроля тандемом «вагон-дефектоскоп – локомотив».

**За более подробной информацией просим обращаться по адресу:
107174, г. Москва, ул. Новая Басманная, д. 2; а/я 25, НПП «ВИГОР».
Тел./факс: (095) 262-85-35; e-mail: cevig@rambler.ru**

Министерство
образования и науки Украины
СУМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Министерство
промышленной политики Украины
ОАО «ВНИИАЭН»

ГЕРВИКОН • 2005 HERVICON

6 – 9 сентября 2005 г. в г. Сумы (Украина)
состоится очередная XI Международная научно-техническая конференция
«Герметичность, вибронадежность и экологическая безопасность
насосного и компрессорного оборудования» — ГЕРВИКОН-2005.

Тематика Конференции

- современные технологии в исследованиях, разработке, проектировании и производстве насосного и компрессорного оборудования;
- вопросы динамики системы «ротор-опоры-уплотнения» центробежных машин;
- снижение шума и вибрации насосов и компрессоров, вибродиагностика и прогнозирование остаточного ресурса;
- повышение надежности и эффективности уплотнительных устройств насосов и компрессоров;
- экологически безопасная эксплуатация насосного и компрессорного оборудования, проблемы энерго- и ресурсосбережения.

В рамках Конференции пройдут специализированные семинары:

- по инициативе и при поддержке Научно-исследовательского и проектно-конструкторского института атомного и энергетического насосостроения «ВНИИАЭН» (г. Сумы) — «Насосы для топливно-энергетического комплекса и нефтедобывающей промышленности: проектирование, изготовление и эксплуатация» — «НАСОСЫ-2005».
- по инициативе ряда ведущих предприятий химической промышленности и фирмы «ТРИЗ» (г. Сумы) — «Проблемы безопасной эксплуатации компрессорного и насосного оборудования в химической промышленности» — «ЭККОН-05».

Основные сроки

31.03.2005 — последний срок подачи заявок на участие в Конференции с докладом;

31.05.2005 — последний срок подачи полного текста доклада и перечисления оргвзноса;

31.08.2005 — последний срок подачи заявок на участие в Конференции без доклада.

Соучредители и спонсоры Конференции

ОАО «СМНПО им. М.В.Фрунзе» (Сумы)	ООО «ТРИЗ» (Сумы)
НПВП «Феррогидродинамика» (Николаев)	ЗАО «НПО «Гидромаш»» (Москва)
ООО «Изогерм» (Москва)	ОАО «НПО «Энергомаш»» (Химки)
ДП «Турбонасос» КБХА (Воронеж)	

Организационный комитет Конференции ГЕРВИКОН•2005

Сумский государственный университет
ул. Римского-Корсакова, 2
г. Сумы, 40007, УКРАИНА
Тел. /факс: (0542) 33-35-94
E-mail: marts@omdm.sumdu.edu.ua
Website: www.hervicon.sumy.ua



"Диагностика и контроль" научно-производственный центр

54002, г. Николаев, ул. Скороходова, 5. ☎(0512) 21-02-20, (067)515-59-11, (067)515-59-10
E-mail: diagnostic@mksat.net

Ультразвуковой толщиномер УТ-98Т "СКАТ"

Толщиномер используется для измерения толщины изделий из различных металлов, сплавов и других материалов при одностороннем доступе в процессе эксплуатации или изготовления. Рекомендуется для применения на энергетических, химических, машиностроительных, транспортных, трубопрокатных, нефтегазодобывающих и перерабатывающих комплексах и других предприятиях.



Отличительные особенности:

- ★ Графический дисплей с крупными цифрами и яркой подсветкой.
- ★ Хранение 8000 результатов измерений с файловой организацией памяти (до 64 файлов).
- ★ Режим графического отображения рельефа контролируемого изделия на длине до 16 м.
- ★ Дискретность отчета измерений - 0,1 мм или 0,01 мм.
- ★ 10 запоминаемых настроек скорости ультразвука.
- ★ Передача накопленных данных по последовательному каналу в ПЭВМ для последующей обработки результатов.

Основные технические характеристики

1. Диапазон контролируемых толщин, мм.....0,5-300
2. Скорость распространения ультразвука, м/сек.....1000-15000
3. Основная погрешность измерения, мм
 - в диапазоне толщин T=0,5-20 мм.....±0,05
 - в диапазоне толщин T=20-300 мм.....(0,002T±0,05)
4. Питание прибора.....2 аккумулятора или батареи типа АА.
5. Время непрерывной работы для аккумуляторов емкостью 2 А·ч:
 - без подсветки.....70 ч
 - с подсветкой.....25 ч
6. Диапазон рабочих температур для прибора.....-20°C...+50°C
7. Диапазон рабочих температур для преобразователей.....-40°C...+60°C
8. Габариты прибора, мм.....175x78x28
9. Масса прибора с источником питания, кг.....0,3

Большой ассортимент измерительных преобразователей обеспечивает контроль различных изделий, в том числе с грубо обработанной или корродированной поверхностью.



Преобразователи	Измеряемая толщина, мм	Рабочая поверхн., мм	Габариты преобраз., мм
П112-5-10/2-А	1-200	Ø13	Ø22x45
П112-5-8/2-А	1-200	Ø10	Ø22x45
П112-5-6/2-А	1-100	Ø8	Ø22x45
П112-10-6/2-А	0,6-100	Ø8	10x12x30
П112-10-4x4-Б	0,5-100	Ø10	Ø22x45
П112-10-2x3-М	0,5-10	2x6	5x8x20
П112-10-3/2-ММ	0,5-20	Ø4	5x8x8
П112-2,5-12/2-А	1,5-200	Ø14	Ø22x45
П112-5-4x4-БТ высокотемпературный до 200 ⁰ С	1-200	Ø10	Ø22x45

Для толщиномера разработаны специализированные преобразователи, сканирующие устройства и пакеты программ, позволяющие автоматизировать процесс измерения и обработки результатов контроля для таких объектов, как:

- ✦ теплообменные аппараты тепловых и атомных электростанций;
- ✦ установки комплексной подготовки газа газоперерабатывающих станций;
- ✦ лопатки газовых турбин.



Рис. 1. Пример графического отображения рельефа

Комплект поставки.

Измерительный блок с двумя преобразователями, малогабаритное сканирующее устройство, 2 аккумулятора с зарядным устройством, паспорт, руководство пользователя, метрологическое свидетельство, дискета с программным обеспечением, кабели, чехол измерительного блока, упаковочная тара.

По желанию заказчика поставка в комплекте с компьютером и спецпрограммами.

Срок поставки 3 недели, гарантия-1год, сервисное обслуживание.

4-я Международная выставка и конференция НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ И ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА В ПРОМЫШЛЕННОСТИ



17-20 МАЯ 2005
Москва, СК Олимпийский

РАЗДЕЛЫ ВЫСТАВКИ:

- Акустическая эмиссия
- Ультразвуковой контроль
- Вихретоковый контроль
- Визуальный и оптический контроль
- Магнитопорошковый контроль
- Электромагнитный контроль
- Инфракрасный и термический контроль
- Динамический контроль твердости
- Вибрационный контроль
- Капиллярный контроль
- Течеискание
- Радиографический контроль
- Электрический контроль
- Радиационный контроль
- Контроль трубопроводов
- Обучение и сертификация персонала
- Аттестация лабораторий



www.primexpo.ru/ndt

Совместно с:



ЛАБОРАТОРНЫЙ КОНТРОЛЬ
В ПРОМЫШЛЕННОСТИ



ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ
И АВТОМАТИЗАЦИЯ

ОРГАНИЗАТОРЫ:



ПРИМЭКСПО

Тел.: (812) 380 60 02/00
Факс: (812) 380 60 01
E-mail: ndt@primexpo.ru



Российское общество
по неразрушающему
контролю и технической
диагностике

УРО
Technika
INDUSTRIAL TECHNOLOGIES
EXHIBITIONS

Відеоендоскопи Сумського ЕТЦ

ОСОБЛИВОСТІ:

- не потребують догляду (окрім обслуговування АКБ);
- не потребують спеціальної підготовки обслуговуючого персоналу;
- використані комплектуючі виробі, які є більш надійними з багаторічного досвіду використання на ринках України та Росії;
- можуть комплектуватися в будь-яких варіантах за задоволенням замовника, а також виготовлятися за індивідуальними замовленнями. Зонди (гнучкий і телескопічна штанга) повністю взаємозамінні і можуть використовуватися в усіх моделях эндоскопа;
- спеціальним чином організована система підсвічування, яка дозволяє звести до мінімуму «тіньовий ефект»;
- в моделі ЕСВФ-1М АКБ підзаряджається через адаптер живлення

ПРИЗНАЧЕННЯ: проведення візуального контролю елементів промислового обладнання, трубопровідних мереж, транспортних засобів, тощо, де обмежена або відсутня можливість доступу для проведення огляду

АДРЕСА ВИРОБНИКА:

40002, м. Суми, вул. Перемоги, 1
 ДП "Сумський експертно-технічний центр"
 Тел./факс: (0542) 27-94-17, 27-91-43
 E-mail: etc@etc.sumy.ua

№ п/п	Найменування параметра	МОДЕЛЬ		
		ЕСВФ-1	ЕСВФ-2	ЕСВФ-1М
1.	Зовнішній вигляд			
2.	Зображення	Чорно-біле	Чорно-біле	Чорно-біле
3.	Тип зонда	- гнучкий - телескопічна штанга з напіваючою секцією	- гнучкий - телескопічна штанга з напіваючою секцією	- гнучкий - телескопічна штанга з напіваючою секцією
4.	Тип монітора	з ЕЛТ, чорно-білий, 5,5"	ЖКІ, кольоровий, 5,5"	ЖКІ, кольоровий, 5,5"
5.	Довжина зонда	- гнучкий - до 12 м (без підсвічування); - телескопічна штанга - 1,88 м	- гнучкий - до 12 м (без підсвічування); - телескопічна штанга - 1,88 м	- гнучкий - до 12 м (без підсвічування); - телескопічна штанга - 1,88 м
6.	Діаметр головки зонда	25 мм	25 мм	25 мм
7.	Висвітлення	- герметичний по всій довжині з'єдда; - герметична головка телескопічної штанги	- герметичний по всій довжині з'єдда; - герметична головка телескопічної штанги	- герметичний по всій довжині з'єдда; - герметична головка телескопічної штанги
8.	Живлення	- від мережі ~220 В через адаптер (-220 / 17), - автономне від АКБ 12V	- від мережі ~220 В через адаптер (-220 / 17), - автономне від АКБ 12 V	- від мережі ~220 В через адаптер (-220 / 17), - автономне від АКБ 12V
9.	Час безперервної роботи з АКБ	не менше 20 годин	не менше 20 годин	не менше 20 годин
10.	Кут огляду	70°, 80°, 90°, 117°	70°, 80°, 90°, 117°	70°, 80°, 90°, 117°
11.	Чутливість	0,05 Lux / F2.0	0,05 Lux / F2.0	0,05 Lux / F2.0
12.	Якість зображення монітора	410 TV-ліній	960/240 TV-ліній	960/240 TV-ліній
13.	Діапазон робочих температур	(-10°C) □ (+50°C)	(-10°C) □ (+50°C)	(-10°C) □ (+50°C)
14.	Споживана потужність	не більше 90W	не більше 90W	не більше 90W
15.	Можливість фотографування	Ендоскопи обладнані для роботи з цифровою фотоприставкою	Ендоскопи обладнані для роботи з цифровою фотоприставкою	Ендоскопи обладнані для роботи з цифровою фотоприставкою



ОАО «ТОЧПРИБОР»

Украина, 61166, г. Харьков, ул. Серповая, 4
Тел.: (+38057) 719-52-48, 702-56-75; факс: (+38057) 702-19-55
E-mail: tp@kharkov.com; www.tochpribor.kharkov.com

ОАО «Точприбор» специализируется на разработке и производстве оптико-волоконных визуальных средств диагностики, применяемых практически во всех отраслях промышленности: в авиационной, нефтяной, газовой, энергетике, турбиностроении, автомобилестроении, а также для таможенных служб.

Заводом серийно выпускается более 25 типоразмеров жестких эндоскопов диаметром погружаемой части от 4 до 25 мм и длиной от 250 до 3000 мм и более 15 типоразмеров гибких эндоскопов диаметром от 4 до 13 мм длиной от 500 до 7000 мм.

По желанию заказчика все эндоскопы комплектуются фото- и телепереходниками, позволяющими фотографировать объект с помощью цифрового фотоаппарата или выводить изображение на монитор компьютера. Предусмотрена поставка к ним специальных угловых насадок, удлинителей, окуляр-шарниров, позволяющих расширить диапазон доступа к рассматриваемому объекту.

Третье поколение технических эндоскопов обладает повышенной в 2...3 раза светосилой и высокой до 50 лин/мм разрешающей способностью, позволяющей обнаружить внутреннюю трещину величиной от 0,01 мм. Жесткие эндоскопы комплектуются устройством, позволяющим измерять обнаруженные дефекты с погрешностью до 7%. Разработан комплект жестких миниэндоскопов на основе градиантовой оптики диаметром 3 мм для диагностики внутренних полостей лопаток турбин.

В гибких эндоскопах применены высокоразрешающие информационные жгуты, управление дистальным концом эндоскопа осуществляется в 2-х плоскостях. Эндоскопы комплектуются боковыми насадками.

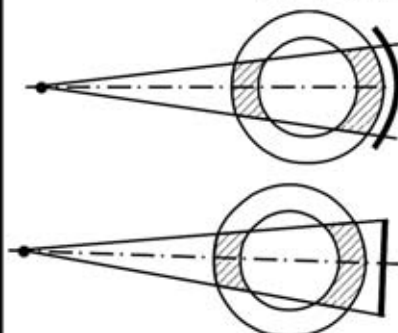
Кроме серийно выпускаемых приборов, ОАО «Точприбор» по техническим требованиям заказчика разрабатывает и изготавливает приборы специального назначения для решения конкретных специфических задач по диагностике оборудования.

Приглашаем к взаимовыгодному сотрудничеству и ждем интересных предложений!



ИЗОТОП

НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ



Рентгеновские и гамма-дефектоскопы:

**АРИНА, РАТМИР,
ERESCO, ГАММАРИД**

Рентгенографическая пленка и
химреактивы «СТРУКТУРИКС»
фирмы «AGFA»

Принадлежности для радиографии: шаблоны сварщика, экраны усиливающие, мерные пояса, эталоны чувствительности

Наборы для капиллярной дефектоскопии

Толщиномеры покрытий

03680, ГСП, г. Киев, ул. Горького, 152, телефон/факс: (044) 268-90-00
E-mail: ndt@izotop.kiev.ua



НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ФИРМА «ПРОМСЕРВИСДИАГНОСТИКА»

Тел/факс: (044) 227-88-13, 261-54-74. Телеграммы: Киев 5, СТЫК. Телетайп: 132174, СТЫК

Наша фирма на протяжении многих лет, используя собственную материальную базу и современные методы неразрушающего контроля и оценки результатов испытаний, проводит работы по техническому диагностированию сосудов, работающих под давлением; резервуаров для хранения нефтепродуктов, реагентов и химической продукции; грузоподъемных механизмов; паровых, водонагревательных котлов и котлов-утилизаторов; технологического оборудования нефтеперерабатывающих заводов, газонефтепроводов и нефте-продуктопроводов; сооружений, установок и оборудования нефтегазовых промыслов; систем подготовки нефти и газа к транспортировке, АГНКС; криогенного оборудования (Разрешение № 575.01.30-31.62.3, выданное Государственным департаментом по надзору за охраной труда 21.07.2001 г.), а также выполняет работы по ремонту грузоподъемных кранов, наливных емкостей и сосудов, работающих под давлением (Разрешение № 118.02.18 от 19.07.02).

За это время специалисты фирмы провели с субподрядчиками исследования характера расслоений газовых сепараторов, исследовали причины разрушений подземных магистральных трубопроводов, сосудов высокого давления с технологическими обвязками, резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов, технологического оборудования и газораспределительных станций ОАО «Укрнафта» (НГДУ «Охтырканефтегаз»), ДП «Харьковтрансгаз» и других предприятий, обнаружили десятки единиц оборудования, имеющего опасные дефекты, и устранили их.

При наличии с Вашей стороны предложений по диагностированию технологического оборудования, а также по ремонту особо ответственных объектов с использованием ремонтных сварочных технологий — мы готовы к сотрудничеству.



АТТЕСТАЦИОННЫЙ И УЧЕБНЫЙ ЦЕНТРЫ ПО НЕРАЗРУШАЮЩЕМУ КОНТРОЛЮ ОАО «ПТП «УКРЭНЕРГОЧЕРМЕТ»

ПРОВОДЯТ

специальную подготовку и аттестацию специалистов по неразрушающему контролю на I и II уровень квалификации согласно требований ДНАОП 0.00-1.27-97 «Правила аттестации специалистов по неразрушающему контролю» и международного стандарта EN 473:2000 «Квалификация и сертификация персонала в области неразрушающего контроля» по следующим методам НК:

- ✓ Радиационный (RT)
- ✓ Ультразвуковой (UT)
- ✓ Магнитный (MT)
- ✓ Капиллярный (PT)
- ✓ Визуально-оптический (VT)

Преподавательский состав и аттестационные комиссии центров укомплектованы высококвалифицированными специалистами по НК, аттестованными в соответствии с международными требованиями и имеющими II и III уровень квалификации.

Учебный и аттестационный центры по неразрушающему контролю оснащены современными приборами и оборудованием, удовлетворяющим требованиям национальных и европейских нормативных документов, устанавливающих технические условия аккредитации органов по сертификации персонала по НК.

пр. Ленина, 58, г. Харьков, 61072

Телефон – (057) 763-03-26, 763-03-27, 763-03-23; Факс (057) 340-44-40;

E-mail: acnk@energochermet.com <http://www.ndt-vostok.com.ua>

Разрешение Органа по сертификации персонала Ассоциации «Укрэксперт» Госнадзорохрантруда Украины №001.ОСП.05.А и №002.ОСП.05.У

ПРЕДЛАГАЕМ УСЛУГИ ПО ОБРАБОТКЕ РЕНТГЕНОВСКИХ СНИМКОВ

Уважаемые коллеги!

На основе разработанного программно-аппаратного комплекса для компьютерной обработки рентгеновских снимков сварных соединений предприятия, работающие с радиографическими снимками, имеют возможность:

- ◆ создать компьютерную базу данных изображений, полученных при радиографии;
- ◆ поднять качество изображения рентгеновских снимков;
- ◆ повысить оперативность и достоверность анализа изображений.

Этот программно-аппаратный комплекс, состоящий из слайд-сканера, компьютера, принтера, представляет собой Автоматизированное Рабочее Место Дефектоскописта (АРМД).

Предлагаем Вам услуги по обработке предоставленных Вами снимков.

Просим сообщить нам, насколько это интересно для Вашей организации, желаете ли Вы создать на своем предприятии подобное Рабочее Место.

В Отделе неразрушающих методов контроля Института электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины в период с 4 ноября с.г. начинается демонстрация возможностей Рабочего Места по обработке рентгенограмм. Приглашаем всех желающих провести компьютерную обработку Ваших рентгенограмм.

ул. Боженко, 11, отд. 4, ИЭС им. Е. О. Патона, г. Киев-150, 03680

Тел.: (044) 227-16-66, факс: 220-94-82

ГП «АТТЕСТАЦИОННЫЙ ЦЕНТР НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ» ПРИ ИНСТИТУТЕ ЭЛЕКТРОСВАРКИ ИМ. Е. О. ПАТОНА НАН УКРАИНЫ

ПРОВОДИТ

неразрушающий контроль (визуально-измерительный, ультразвуковой, радиационный, капиллярный, магнитопорошковый, контроль герметичности); техническое диагностирование и техническое освидетельствование следующего оборудования:

- ✦ металлоконструкций и строительных конструкций
 - ✦ паровых и водогрейных котлов
 - ✦ сосудов, работающих под давлением
 - ✦ трубопроводов пара и горячей воды
 - ✦ грузоподъемных кранов
 - ✦ технологических трубопроводов и оборудования
 - ✦ магистральных трубопроводов
 - ✦ резервуаров для хранения нефтепродуктов
- (Разрешение на начало работ № 32.03.30-31.62.3)*



АТТЕСТУЕТ

специалистов неразрушающего контроля по следующим методам:

- ✦ визуально-оптическому
- ✦ ультразвуковому
- ✦ радиационному
- ✦ магнитопорошковому
- ✦ капиллярному
- ✦ контролю герметичности



ИЗГОТАВЛИВАЕТ

стандартные образцы предприятия с зарубками, боковыми и плоскостными сверлениями в соответствии с требованиями нормативных документов

03680, г. Киев-150, ГСП, ул. Боженко, 17

Тел.: (044) 261-51-75; 261-51-83

**Научно-технические журналы
ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ**
<http://www.nas.gov.ua/pwj>

«Техническая диагностика и неразрушающий контроль», 4 номера в год, издается с 1989 г. В журнале представлены последние достижения в области технической диагностики и неразрушающего контроля (акустическое излучение, магнитные, радиоволновые, термические, оптические, радиационные и др. методы). Широко освещаются методики оценки и прогнозирования разрушений в сварных конструкциях.

Тел.: (38044) 261-58-81, 269-26-23

«Автоматическая сварка», 12 номеров в год, издается с 1948 г. В журнале представлена разнообразная научно-техническая информация по сварке, наплавке, резке, пайке и нанесению защитных покрытий; производственный опыт применения современных технологий для соединения материалов и восстановления изделий; сведения о новых книгах и патентах; обзорная информация о профильных выставках и конференциях; банк производителей товаров и услуг на рынке сварочного производства Украины и России.

Тел.: (38044) 227-63-02, 269-26-23

«Современная электрометаллургия» 4 номера в год, издается с 1985 г. В журнале освещаются разработки в области электрошлаковой, электронно-лучевой и плазменно-дуговой технологий, вакуумно-дугового переплава и индукционной плавки, а также в области внепечной обработки стали, энерго- и ресурсосберегающих металлургических технологий и др. До 2002 г. журнал издавался под названием «Проблемы специальной электрометаллургии».

Тел.: (38044) 268-34-84, 269-26-23

«The Paton Welding Journal», 12 номеров в год. Полный перевод на английский язык журнала «Автоматическая сварка».

Тел.: (38044) 227-63-02, 269-26-23

«Advances in Electrometallurgy», 4 номера в год. Полный перевод на английский язык журнала «Современная электрометаллургия».

Тел.: (38044) 268-34-84, 269-26-23

На официальном сайте журналов www.nas.gov.ua/pwj приведены рефераты опубликованных статей с 2000 г.

Подписка по каталогам подписных агентств, а также через редакцию.

Адрес редакций журналов:
03680, г. Киев, ул. Боженко, 11
Тел./факс: (38044) 261-54-03, 269-26-23,
268-04-86
E-mail: journal@paton.kiev.ua





**ПОДПИСКА – 2005 на журнал
«Техническая диагностика и неразрушающий контроль»**

<i>Стоимость подписки через редакцию*</i>	Украина		Россия		Страны Дальнего зарубежья	
	на полугодие	на год	на полугодие	на год	на полугодие	на год
	50 грн.	100 грн.	480 руб.	960 руб.	26 долл. США	52 долл. США
* В стоимость подписки включена доставка заказной бандеролью.						

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

Телефоны и факсы редакции журнала «Техническая диагностика и неразрушающий контроль»: тел.: (38044) 261-58-81, 261-54-03, 269-26-23, факс: (38044) 268-34-84, 269-26-23.

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

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

РЕКЛАМА в журнале «Техническая диагностика и неразрушающий контроль»

Полноцветная реклама

- Первая страница обложки (190×190 мм) — 500\$
- Вторая страница обложки (200×290 мм) — 350\$
- Третья страница обложки (200×290 мм) — 350\$
- Четвертая страница обложки (200×290 мм) — 400\$
- Черно-белая реклама**
- 1 полоса (170×250 мм) — 80\$
- 1/2 полосы (170×125 мм) — 50\$
- 1/6 полосы (80×80 мм) — 15\$

- Оплата в гривнях или рублях РФ по официальному курсу.
- Для организаций – резидентов Украины цена с НДС и налогом на рекламу.
- Статья на правах рекламы — 50% стоимости рекламной площади.
- При заключении рекламных контрактов на сумму, превышающую 1000\$ предусмотрена гибкая система скидок.
- Технические требования к рекламным материалам**
- Размер журнала после обрезки 200×290 мм.
- В рекламных макетах для текста, логотипов и других элементов просьба отступать от края модуля 5 мм с целью избежания потери части информации.
- Все файлы в формате PC**
- Corell Draw, версия до 10.0
- Adobe Photoshop, 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 08.02.2005. Формат 60×84/8. Офсетная печать. Усл. печ. л. 7,5. Усл. кр.-отт. 8,75. Уч.-изд. л. 8,85 + 1 цв. вклейка. Цена договорная. Печать ООО «Фирма «Эссе». 03142, г. Киев, пр. Акад. Вернадского, 34/1.