

ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА И НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ

№ 3, 2011

Издается с января 1989 г.

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

Издатель: Международная ассоциация
«Сварка»

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор
Б. Е. ПАТОН

А. Я. Недосека (зам. гл. ред.),
В. А. Троицкий (зам. гл. ред.),
З. А. Майдан (отв. секр.),
Н. П. Алешин, В. Л. Венгринович,
Э. Ф. Гарф, А. А. Грузд,
Е. А. Давыдов, А. Т. Зельниченко,
М. Л. Казакевич, О. М. Карпаш,
В. В. Ключев, А. А. Лебедев,
Л. М. Лобанов, З. Т. Назарчук,
Н. В. Новиков, Ю. Н. Посыпайко,
Г. И. Прокопенко, В. А. Стороженко,
В. А. Стрижало, В. Н. Учанин,
С. К. Фомичев, Н. Г. Чаусов,
Е. В. Шаповалов, В. Е. Щербинин

Адрес редакции

03680, Украина, г. Киев-150,
ул.Боженко, 11

Институт электросварки
им.Е.О.Патона НАН Украины
Тел.: (044) 205-23-90

Факс: (044) 200-54-84, 200-82-77
E-mail: journal@paton.kiev.ua
http://www.nas.gov.ua/pwj

Научные редакторы

Н. Г. Белый, А. А. Грузд

Редактор

Т. В. Юштина

Электронная верстка

Л. Н. Герасименко, Д. И. Середа

Свидетельство
о государственной регистрации
КВ4787 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.

СОДЕРЖАНИЕ

НОВОСТИ..... 3

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

ТРОИЦКИЙ В. А., ДЯДИН В. П. Выбор контрольных участков магистральных трубопроводов при диагностическом обследовании..... 5

СКАЛЬСЬКИЙ В. Р., БОТВИНА Л. Р., СТАНКЕВИЧ О. М., ДУБИЦЬКИЙ О. С. Діагностування механізмів руйнування сталі 38ХНЗМФА за вейвлет-перетворенням сигналів акустичної емісії..... 12

НЫРКОВА Л. И. Оценка вероятности возникновения коррозионного растрескивания под напряжением участка магистрального газопровода на основе анализа данных проектно-исполнительной и эксплуатационной документации..... 18

МИНАКОВ С. М. Розділення нормальних компонент напруженого стану магистральних трубопроводів магнітоанізотропним методом..... 23

ДАВИДЕНКО В. Ф. Новые представления о чувствительности поля — новые возможности повышения точности ультразвуковой эхо-амплитудной дефектометрии..... 28

ГОРКУНОВ Б. М., ГЛЕБОВА Л. В., ТЮПА И. В. Теория возбуждения и приема акустических волн емкостным преобразователем..... 35

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ РАЗДЕЛ

БУРАУ Н. И., КЛЕФА Ю. В., КУЛИШ Э. В. Разработка метода диагностики функционального технического состояния элементов конструкций противоположных анкерных сооружений
Сообщение 2. Анализ собственных форм и частот сложной конструкции противоположного анкерного сооружения..... 40

ФИЛИПЕНКО А. А., БУДАДИН О. Н., ХУЗИН Р. К. Тепловой контроль концентраторов напряжений в конструкциях из полимерно-конструкционных материалов..... 44

СТАНДАРТИЗАЦИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ

КАРПАШ О. М., ЗИНЧАК Я. М., КАРПАШ М. О., ЦЮЦЯК І. І. Внесок НВФ «ЗОНД» у вирішення основних завдань технічної діагностики об'єктів нафтогазового комплексу..... 46

АБРАМОВА Е. В. Подготовка персонала по тепловому контролю в системе обеспечения безопасности эксплуатации и энергоэффективности различных объектов..... 51

ХРОНИКА И ИНФОРМАЦИЯ

16-я сессия Научного совета по новым материалам при Комитете по естественным наукам Международной ассоциации академий наук..... 56

Совместное заседание Президиума РАН и Президиума НАН Украины..... 58

По страницам журнала «Дефектоскопия» (РФ) за 2010 г..... 59

Краткие итоги научно-практического семинара «Применение современных технологий неразрушающего контроля для диагностики энергетического оборудования»..... 60

М. Л. Казакевичу — 65..... 62

Н. П. Алешину — 70..... 63

ИЗДАНИЕ ЖУРНАЛА ПОДДЕРЖИВАЮТ:

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



Украинское общество неразрушающего контроля и технической диагностики

TECHNICAL DIAGNOSTICS and NON-DESTRUCTIVE TESTING

№ 3, 2011

Founded in January, 1989

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

Publisher: International Association «Welding»

EDITORIAL BOARD

Editor-in-Chief
B. E. PATON

A. Ya. Nedoseka (vice-chief ed.),
V. A. Troitsky (vice-chief ed.),
Z. A. Maidan (exec. secr.),
N. P. Aleshin, V. L. Vengrinovich,
E. F. Garf, A. A. Gruz, d,
E. A. Davydov, A. T. Zelnichenko,
M. L. Kazakevich, O. M. Karpash,
V. V. Klyuev, A. A. Lebedev,
L. M. Lobanov, Z. T. Nazarchuk,
N. V. Novikov, Yu. N. Posypayko,
G. I. Prokopenko, V. A. Storozhenko,
V. A. Strizhalo, V. N. Uchanin,
S. K. Fomichev, N. G. Chaurov,
E. V. Shapovalov, V. E. Shcherbinin

Address

The E. O. Paton Electric
Welding Institute
of the NAS of Ukraine,
11 Bozhenko str.,
03680, Kyiv, Ukraine
Tel.: (044) 200-23-90,
Fax: (044) 200-54-84, 200-82-77
E-mail: journal@paton.kiev.ua
<http://www.nas.gov.ua/pwj>

Scientific editors

N. G. Bely, A. A. Gruz d

Editors

T. V. Ushtina

Electron galley

L. N. Gerasimenko, D. I. Sereda

State Registration Certificate
KV 4787 of 09.01.2001.
All rights reserved.

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

CONTENTS

NEWS 3

SCIENTIFIC-TECHNICAL

TROITSKII V.A., DYADIN V.P. Selection of control sections of the main
pipelines for diagnostic examination 5
SKALSKII V.R., BOTVINA L.R., STANKEVICH O.M.,
DUBITSKII O.S. Diagnostics of fracture mechanisms of 38KhN3MFA steel
by wavelet-transformations of acoustic emission signals 12
NYRKOVA L.I. Assessment of probability of stress corrosion cracking
development in a section of main gas pipeline based on analysis of data of
design-fulfillment and service documentation 18
MINAKOV S.M. Distribution of normal components of stressed state of the
main pipelines by magnetic anisotropy method 23
DAVIDENKO V.F. New concepts of field sensitivity, opening up new
possibilities for improvement of accuracy of ultrasonic echo-amplitude
flaw detection 28
GORKUNOV B.M., GLEBOVA L.V., TYUPA I.V. Theory of excitation and
reception of acoustic waves by a capacitive transducer 35

INDUSTRIAL

BURAU N.I., KLEFA Yu.V., KULISH E.V. Development of method of diag-
nostics of functional technical condition of structural elements of anti-
slide anchoring constructions. Information 2. Analysis of natural forms and
frequencies of a complex structure of anti-slide anchoring construction 40
FILIPENKO A.A., BUDADIN O.N., KHUSIN P.K. Thermal inspection by
stress raisers in structures from polymer-structural materials 44

STANDARTIZATION AND CERTIFICATION

KARPASH O.M., ZINCHAK Ya.M., KARPASH M.O.,
TSYUTSYAK I.I. Contribution of SPF «ZOND» into solution of the main
tasks of technical diagnostics of the oil and gas complex facilities 46
ABRAMOVA E.V. Personnel training on thermal inspection in the system
of ensuring safe operation and energy-effectiveness of various objects 51

NEWS AND INFORMATION

XVI Session of Scientific Council on New Materials at the Committee on
Natural Sciences of the International Association of Academies of Sciences 56
Joint meeting of the Presidium of RAS and the Presidium of NASU 58
Review of journal «Flaw Detection» (RF) for 2010 59
Brief results of scientific-technical seminar «Application of advanced tech-
nologies of NDT for diagnostics of power engineering equipment» 60
M.L. Kazakevich is 65 62
N.P. Alyoshin is 70 63

JOURNAL PUBLICATION IS SUPPORTED BY:

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



Ukrainian Society for Non-Destructive Testing and Technical Diagnostics

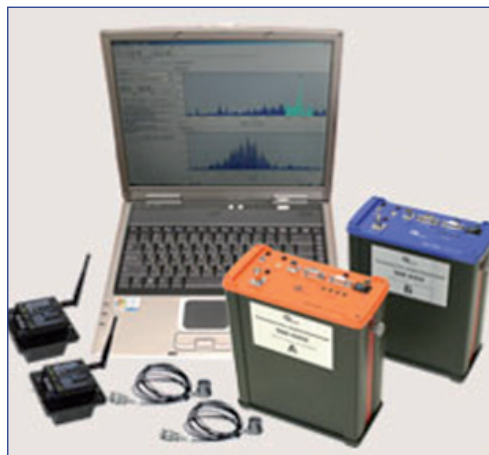
ПУТЕИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕЛЕЖКА КВ-1П

Путеизмерительная тележка КВ-1П, разработанная отделом «Автоматизированные системы управления технологическими процессами» ИЭС им. Е.О.Патона НАН Украины, предназначена для измерения ширины железнодорожной колеи, взаимного положения рельсовых нитей по высоте и путевой координаты (пройденного пути). Для взаимодействия с оператором, визуализации и регистрации результатов измерений используется микропроцессорный контроллер, оснащенный жидкокристаллическим графическим дисплеем и мембранной клавиатурой. Предусмотрена функция регистрации географических координат с помощью GPS-приемника. Также разработано математическое обеспечение для автоматизированной расшифровки результатов измерений. Определяются следующие отклонения геометрических параметров пути: уширения, сужения, перекосы рельсовой колеи, плавные отклонения уровня и ненормативные отводы возвышения наружного рельса в кривых участках пути. По своим техническим характеристикам путеизмерительная тележка КВ-1П не уступает лучшим зарубежным аналогам.



ТКР-4102 — КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ ТЕЧЕИСКАТЕЛЬ С РАДИОКАНАЛОМ

Течеискатель (ООО «ИНКОТЕС») предназначен для оперативного поиска и локализации мест утечек жидкостей в водопроводных и тепловых сетях, продуктопроводах, нефтепроводах с низким содержанием нефти. Представляет собой мобильную систему, состоящую из нескольких модулей: двух датчиков, воспринимающих сигналы утечки, двух измерительных станций для сбора данных, двух выносных радиомодемов, осуществляющих связь по радиоканалу, и базового компьютера (ноутбука) для автоматизированного расчета и отображения координаты утечки. Реализует технологию точного определения места расположения утечки жидкостей (воды и т.п.) в скрытых трубопроводах, основанную на анализе функции кросс-корреляции сигналов, получаемых с двух датчиков, установленных на трубопроводе.



OMNISCAN MX — УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ДЕФЕКТОСКОП НА ФАЗИРОВАННЫХ РЕШЕТКАХ

OmniScan MX (ООО ТехСпектр) — портативный модульный дефектоскоп, работающий как с фазированными решётками, так и с матрицами вихревых токов. Серия приборов OmniScan включает модули для контроля фазированной решёткой, вихревыми токами, матрицей вихревых токов и обычным ультразвуком. Все модули отвечают самым последним требованиям НК. Несмотря на то, что OmniScan MX — небольшой портативный модульный инструмент, его основным отличием является высокая частота измерений и авторское программное обеспечение.



УНИВЕРСАЛЬНЫЙ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ДЕФЕКТОСКОП A1550 INTROVISOR

A1550 IntroVisor (ООО ТехСпектр) — универсальный портативный ультразвуковой дефектоскоп-томограф с цифровой фокусировкой антенной решетки и томографической обработкой данных для контроля металлов и пластмасс.



Легкий и удобный в использовании прибор для решения большинства задач ультразвуковой дефектоскопии металлов и пластмасс. Обеспечивает быстрый, комфортный и достоверный поиск дефектов благодаря визуализации внутренней структуры объекта контроля в виде изображения сечения в режиме реального времени, что существенно упрощает и делает более доступной интерпретацию полученной информации по сравнению с обычным дефектоскопом.

Особенности: большой цветной дисплей обеспечивает визуализацию результатов контроля в виде яркого и понятного графического образа сечения объекта и результатов измерения координат и уровней сигналов; небольшие габаритные размеры; удобный интуитивный интерфейс с клавишами быстрого доступа к основным настройкам, параметрам и управлению позволяет быстро освоить работу с прибором;

быстросъемный аккумуляторный блок; связь с ПК по USB; специализированное программное обеспечение для просмотра и последующего архивирования полученных изображений.

УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ДЕФЕКТОСКОП УД9812 "УРАЛЕЦ"



Ультразвуковой дефектоскоп УД9812 «Уралец» (ООО "Инженерный Центр Физприбор") предназначен для:

- контроля сварных швов;
- поиска мест коррозии, трещин, внутренних расслоений и других дефектов;
- определения координат и оценки параметров дефектов типа нарушения сплошности и однородности материала в изделиях из металлов и пластмасс;
- измерения толщины изделия;
- прецизионного измерения акустических характеристик материалов.

ТВЕРДОМЕР ЭЛЕКТРОННЫЙ ПЕРЕНОСНОЙ ПРОГРАММИРУЕМЫЙ «ТЭМП-2»



Аналог прибора DYNAMIC. Прибор «ТЭМП-2» (НПП "Технотест-М") позволяет проводить экспрессное измерение твердости материала непосредственно в единицах HB, HRC, HV, HSD и дополнительно вводить до 10 шкал для измерения твердости на других материалах при наличии корреляционной связи с динамической твердостью по Лейбу.

Твердомер предназначен для экспрессного измерения твердости сталей, сплавов и их сварных соединений по шкалам Бринелля (HB), Роквелла (HRC), Шора (HSD), Виккерса (HV), а также определения предела прочности Rm по ГОСТ 22761–77 для углеродистых сталей перлитного класса. Твердомер может быть использован в производственных и лабораторных условиях в различных отраслях машиностроения, металлургии, энергетике, в ремонтных, монтажных организациях и т.д. Объектами измерений могут быть сосуды давления различного назначения, трубопроводы, роторы турбин и генераторов, прокатные валки, коленчатые валы, шестерни, промышленные полу-

фабрикаты (отливки, поковки, листы, трубы), сварные швы, включая угловые и др.

ВЫБОР КОНТРОЛЬНЫХ УЧАСТКОВ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ ПРИ ДИАГНОСТИЧЕСКОМ ОБСЛЕДОВАНИИ

В. А. ТРОИЦКИЙ, д-р техн. наук, В. П. ДЯДИН, канд. техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Предложен новый подход к оценке величины критического раскрытия трещины в зависимости от величины предварительного деформирования материала трубопровода при вязком разрушении с учетом разработанных ранее критериев механики разрушения применительно к определению характеристик трещиностойкости и стабильного роста трещины. Проведен анализ полученных аналитических зависимостей и определены основные параметры, характеризующие их изменения. Предложена инженерная зависимость, позволяющая оценить возможный рост дефекта по результату ударной вязкости образца Шарпи на верхнем шельфе в зависимости от степени пластического деформирования конструкционных сталей и их сварных соединений. На базе разработанных зависимостей предложен принципиально новый подход к выбору мест шурфования при диагностическом обследовании магистральных трубопроводов.

A new approach is proposed for assessment of the value of critical crack opening displacement, depending on the extent of pre-deformation of pipeline material at tough fracture, allowing for earlier developed fracture mechanics criteria for determination of crack resistance characteristics and stable crack growth. Analysis of the derived analytical dependencies was performed and main parameters characterizing their changes were determined. An engineering dependence is proposed that allows assessment of possible defect growth by the result of impact toughness of Charpy sample on the upper shelf, depending on the degree of plastic deformation of structural steels and their welded joints. Proceeding from the developed dependencies, a fundamentally new method is proposed for selection of points for digging holes at diagnostic study of main pipelines.

В настоящее время существенно ужесточены требования к срокам остановки газопроводов для проведения капитального ремонта по результатам диагностики. Так, некоторые участки газопроводов могут быть остановлены лишь на короткий период и в сроки, определяемые не готовностью к проведению ремонтных работ, а возможностью обеспечения транспортировки необходимых объемов газа. В то же время в связи со старением трубопроводной системы и для обеспечения надежности и безопасности ее эксплуатации необходимо увеличивать объемы диагностических и ремонтных работ.

В сложившейся ситуации разработка оптимальных подходов к поиску потенциально опасных участков трубопроводов имеет первостепенное значение. Правильный выбор таких участков повысит надежность и сократит сроки простоя магистралей.

Вместе с тем существует множество факторов, которые являются причиной аварий в трубопроводном транспорте. Так, в Японии [1] был проведен анализ 384 случаев аварий трубопроводов и металлоконструкций различного назначения, эксплуатируемых в течение 30–50 лет. Основные причины повреждений исследованного оборудования, находящегося в критическом состоянии, и их количество по состоянию на 2008 г. показаны на рис. 1.

По оценке специалистов доля повреждений оборудования и трубопроводов по причине фи-

зического характера и человеческого фактора значительно доминируют над остальными.

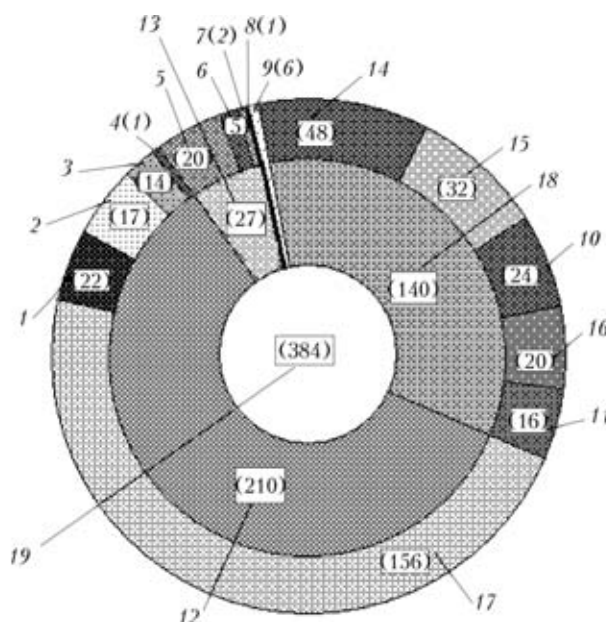


Рис. 1. Причины повреждения оборудования, находящегося в критическом состоянии, и их количество (в скобках) [1]: 1 — поломка; 2 — авария; 3 — неудовлетворительное качество работ; 4 — ошибки в проектировании; 5 — коммуникации; 6 — хулиганство; 7 — землетрясение; 8 — не выяснены; 9 — при проверке; 10 — нарушение гарантированных условий; 11 — неправильное проведение работ; 12 — причины физического характера; 13 — другие причины; 14 — несоблюдение правил приемки; 15 — неудовлетворительный визуальный контроль; 16 — неправильная эксплуатация; 17 — коррозионные повреждения; 18 — человеческий фактор; 19 — количество аварий



В общем случае, если исключить человеческий фактор, практически все дефекты можно разбить на две основные группы: технологические — связанные с изготовлением и монтажом трубопровода, и эксплуатационные — развивающиеся в процессе эксплуатации.

В подавляющем большинстве случаев возникновения предаварийных и аварийных ситуаций в трубопроводном транспорте происходит из-за наложения технологических и эксплуатационных причин.

Так, анализ результатов диагностических работ показывает, что стресс-коррозионные и коррозионные дефекты располагаются вдоль газопроводов не равномерно, а группируются на отдельных локальных участках протяженностью от 20...30 м до нескольких километров. Практически на всех таких участках при детальном их обследовании наблюдаются отклонения прочностных свойств труб, связанные с нарушениями технологии их изготовления или монтажа.

В случае своевременного обнаружения этих отклонений от нормы более 90 % таких дефектов могут быть устранены без выбраковки труб (контролируемой шлифовкой или заваркой), что позволило бы значительно сократить трудоемкость, время ремонта и количество заменяемых труб.

Коррозионные повреждения как одна из причин аварии чаще всего наблюдаются в трубопроводах с тепловой изоляцией, что затрудняет их контроль в процессе эксплуатации и требует новых эффективных способов [2, 3], например, так называемых низкочастотных методов УЗ-контроля, не требующих сканирования поверхности протяженного объекта [3].

Даже использование диагностического оборудования в полном объеме по всей протяженности газопровода не дает гарантии выявления всех типов дефектов. Например, несплошности, расположенные по линии сплавления продольных сварных швов с основным металлом труб и залегающие на различных глубинах, плохо выявляются внутритручными снарядами-дефектоскопами, которые являются основными средствами технической диагностики магистральных трубопроводов. Отсюда следует, что даже при применении современных средств диагностики для всей магистрали существует достаточно большая вероятность пропуска отдельных, в том числе и опасных дефектов. Поэтому важно проанализировать особенности монтажа и условия эксплуатации трубопровода и выделить участки, где возможно развитие того или иного типа дефекта.

Выделение таких областей позволит минимизировать выбор необходимого диагностического оборудования, сконцентрировать его на определенных участках трубопровода, уменьшить вероятность пропуска опасного дефекта.

В настоящее время выбор мест шурфования для диагностического контроля трубопроводов определяется состоянием его изоляции и интуицией инспектора без учета технологических и эксплуатационных особенностей. Это касается как трубопроводов, так и других ответственных сооружений.

В данной статье предлагается с учетом существующих критериев механики разрушения учесть некоторые технологические особенности изготовления и монтажа трубопровода, которые могут вызвать как появление, так и рост дефекта в процессе его эксплуатации.

Известно, что наиболее распространенной проблемой сварных конструкций является не только наличие дефектов в сварном шве, но и снижение прочностных свойств, значений ударной вязкости в околошовной зоне сварного соединения. К основным причинам, вызывающим данные изменения, в первую очередь следует отнести влияние термического воздействия и термопластических деформаций, протекающих в околошовной зоне, подгибку кромок при их вальцовке и возможную деформацию труб при монтаже. Все это является причиной появления основной массы дефектов в процессе эксплуатации именно в этих зонах.

Частично данная проблема рассмотрена в работе [4], где дана оценка величины ударной вязкости a_v образца Шарпи в зависимости от степени предварительного пластического деформирования металла.

Работа [4] является продолжением работ [5, 6], где исследуется влияние предварительного деформирования материала на характеристику вязкости разрушения δ_{IC} , и позволяет связать все характеристики воедино.

Исходя из данных, приведенных в работах [5, 6], деформационные характеристики вязкости разрушения δ_i и δ_g на верхней полке (в вязком состоянии) определяются зависимостями:

$$\delta_i = 0,5A a_{v,max}/\sigma_{0,2} \quad (1)$$

$$\delta_g = \delta_i + \Delta L (\sigma_B/\sigma_{0,2})(n/(1-n)^2), \quad (2)$$

где δ_i — критическое раскрытие трещины в момент ее страгивания в вязком состоянии; δ_g — значение критического раскрытия, определенное с учетом стабильного роста трещины на величину ΔL ; A — коэффициент корреляции (для низколегированных и малоуглеродистых сталей для простоты дальнейших выкладок принимаем его равным 0,1); $\sigma_{0,2}$ — предел текучести материала (кгс/мм²); $n = \varepsilon_B/(1 + \varepsilon_B)$ — величина деформационного упрочнения материала; $a_{v,max}$ — значение ударной вязкости на верхнем шельфе стандартного образца Шарпи (Дж/см²).

Выражения (1), (2) с физической точки зрения позволяют оценить сопротивление трубных сталей стабильному росту вязкой трещины в зависимости от расчетных перемещений берегов трещины δ_g . Так, на рис. 2 представлен график сопротивления различных классов трубных сталей стабильному росту трещин в вязком состоянии в зависимости от их прочностных характеристик. Как видно, сопротивление сталей росту стабильной трещины резко падает с ростом характеристики $\sigma_{0,2}/\sigma_B$.

В случае предварительного деформирования материала на величину ϵ характеристики трещиностойкости $\delta_i^{(\epsilon)}$, $\delta_g^{(\epsilon)}$ в момент инициирования вязкого разрушения и стабильного роста трещины по аналогии с (1), (2) определяются следующими зависимостями:

$$\delta_i^{(\epsilon)} = 0,5A a_{v,max}/\sigma_{0,2}^{(\epsilon)}, \quad (3)$$

$$\delta_g^{(\epsilon)} = \delta_i^{(\epsilon)} + \Delta L (\sigma_B^{(\epsilon)}/\sigma_{0,2}^{(\epsilon)})(n^*/(1-n^*)^2), \quad (4)$$

где $\delta_i^{(\epsilon)}$ — критическое раскрытие трещины в момент ее страгивания после предварительного деформирования материала образца на величину ϵ ; $a_{v,max}^{(\epsilon)}$ — удельная ударная вязкость на верхней полке образца Шарпи после предварительного деформирования материала на величину ϵ ; $s_g^{(\epsilon)}$ — значение критического раскрытия, определенное с учетом стабильного роста трещины на величину ΔL после предварительного деформирования материала на величину ϵ ; $\sigma_{0,2}^{(\epsilon)}$ — предел текучести после предварительного одноосного деформирования материала на величину ϵ ; $\sigma_B^{(\epsilon)}$ — временное сопротивление после предварительного одноосного деформирования материала на величину ϵ ; $n^* = (\epsilon_B - \epsilon)/(1 + \epsilon_B - \epsilon)$.

Следует ожидать, что в случае предварительного деформирования металла характеристика $\delta_i^{(\epsilon)}$ должна падать с ростом ϵ . Так, сопоставляя выражения (1), (3) с учетом зависимостей работы [4] и используя степенной закон упрочнения материала, можно записать:

$$\begin{aligned} \frac{\delta_i}{\delta_i^{(\epsilon)}} &= \frac{\epsilon_B \sigma_B (1 + \epsilon_B)}{(\epsilon_B - \epsilon) \sigma_{0,2}} \times \\ &\times \frac{k_2 \left(\frac{\sigma_B}{\sigma_{0,2}} \right) (1 + \epsilon) ((1 + 4r/\rho)/K_V^2)^{\frac{-(1 + \epsilon_B)}{1 + 2\epsilon_B}}}{k_2 \left(\frac{\epsilon_B}{\epsilon_{0,2}} \right)^{\frac{\epsilon_B}{(1 + \epsilon_B)}} ((1 + 4r/\rho)/K_V^2)^{\frac{-(1 + \epsilon_B - \epsilon)}{1 + 2\epsilon_B - 2\epsilon^*}}} \dots \\ &\dots \frac{+ 3k_1 (1 + \epsilon_B)/(1 + 2\epsilon_B) \left(\frac{\epsilon}{\epsilon_B} \right)^{\frac{\epsilon_B}{1 + \epsilon_B}}}{+ 3k_1 (1 + \epsilon_B - \epsilon)/(1 + 2\epsilon_B - 2\epsilon) \left(\frac{\epsilon}{\epsilon_B} \right)}, \end{aligned} \quad (5)$$

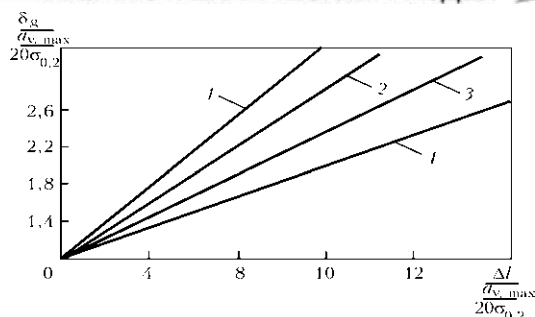


Рис. 2. Сопротивление трубных сталей стабильному росту трещины в зависимости от расчетных перемещений берегов дефекта: 1 — углеродистые стали ($\sigma_T/\sigma_B \leq 0,75$); 2 — низколегированные стали ($\sigma_T/\sigma_B \leq 0,8$); 3 — дисперсионно-вердеющие стали ($\sigma_T/\sigma_B \leq 0,85$); 4 — стали контролируемой прокатки ($\sigma_T/\sigma_B \leq 0,9$)

где ρ — радиус надреза образца Шарпи ($\rho = 0,25$ мм); r — расстояние от вершины надреза, соизмеримое с характерным средним размером структурного элемента ($r = 0,05 \dots 0,1$ мм); n — величина деформационного упрочнения материала; K_V — коэффициент концентрации упругих напряжений в вершине надреза образца Шарпи ($K_V = 3,44$); ϵ_B — деформация, соответствующая условному временному сопротивлению материала σ_B ; $\sigma_{0,2}$ — предел текучести материала; k_1 — коэффициент стеснения для образца Шарпи, равный 1,25; k_2 — средний коэффициент стеснения для стандартного образца Шарпи в момент развития разрушения, равный 1,26.

Из формулы (5) следует, что отношение деформационных характеристик $\delta_i/\delta_i^{(\epsilon)}$ зависит от четырех параметров ϵ_B , ϵ/ϵ_B , $\sigma_B/\sigma_{0,2}$ и r , что несколько затрудняет детальный ее анализ.

Вместе с тем, как было отмечено в работе [4], изменение величины r в представленном диапазоне ($0,05 \dots 0,1$ мм) незначительно влияет на значения $a_{v,max}/a_{v,max}$, что позволяет в ряде случаев для упрощения дальнейших оценок принять ее равную некоторому среднему размеру ($r \approx 0,06$ мм). Кроме того, для наиболее распространенных конструкционных низкоуглеродистых и низколегированных сталей параметр $\sigma_B/\sigma_{0,2}$ можно выразить следующей упрощенной зависимостью через деформацию ϵ_B [4]:

$$\sigma_B/\sigma_{0,2} = 4,5 \epsilon_B/(1 + \epsilon_B) + 0,82. \quad (6)$$

В этих случаях зависимость (6) может быть еще более упрощена.

Зависимость (5) представлена в графическом виде на рис. 3, из которого видно, что с ростом относительной пластичности материала ϵ/ϵ_B , величина отношения критических раскрытий трещины $\delta_i/\delta_i^{(\epsilon)}$ может значительно возрасти, что не учитывается при выборе материала при проектировании и последующей эксплуатации различного оборудования и сварных конструкций.

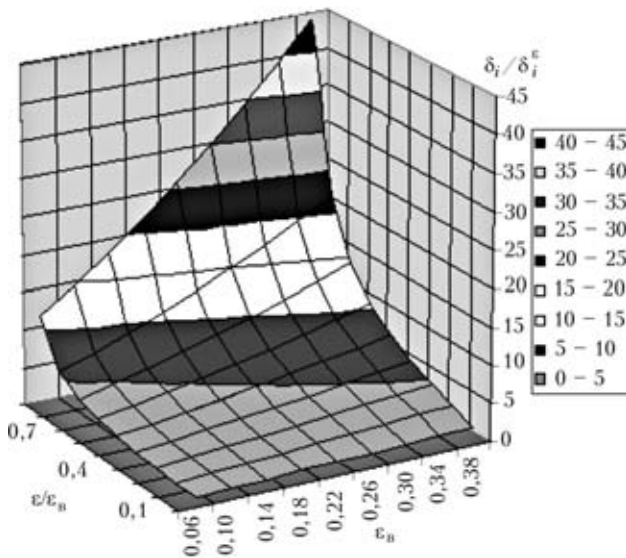


Рис. 3. Отношения критических раскрытий трещин $\delta_i/\delta_i^{(\varepsilon)}$ в зависимости от величин ε_B и $\varepsilon/\varepsilon_B$ по формуле (5) с учетом (6)

Особенно это касается сварных соединений и катанных по различным технологическим режимам баллонов и трубопроводов, поскольку отсутствие площадок текучести в этих случаях и без того существенно снижает запас по пластичности ε_B материала и, как следствие, приводит к резкому росту $\varepsilon/\varepsilon_B$ даже при незначительных пластических деформациях ε .

Как пример в табл. 1 представлены результаты испытаний на растяжение образцов МИ-12, изготовленных из листовой стали марки 09Г2С-Ш (ГОСТ 6996–66) после предварительного деформирования заготовок на различные значения ε . Диаметр рабочей части образца составлял 6 мм, определение деформации осуществлялось на базе 30 мм при помощи датчиков перемещения.

В данном случае за нулевую предварительную пластическую деформацию принимается значение $\varepsilon = 0,2 \% + \varepsilon_{упр}$, соответствующее деформации при стандартном определении предела текучести $\sigma_{0,2}$.

Из таблицы видно, что даже при начальном значительном пластическом запасе на равномерную пластичность $\varepsilon_B = 0,19$ отношение критичес-

ких раскрытий трещины $\delta_i/\delta_i^{(\varepsilon)}$ в рассматриваемом диапазоне ε меняется более чем в четыре раза.

С позиций механики разрушения физический смысл негативного роста отношения $\delta_i/\delta_i^{(\varepsilon)}$ можно пояснить следующим образом. Несмотря на казалось бы положительный рост прочностных свойств материала после его предварительного деформирования, такой участок в конструктивном элементе может попасть в зону высоких локальных упругопластических деформаций (сварные соединения, подвижка грунта в местах пролегания трубопроводов, подгибка кромок при сварке и т. д.), где сопротивление материала характеризуется уже его деформационной способностью к «сглаживанию» пиковых напряжений в местах концентраций. Деформационный критерий δ_i как раз и характеризует эту способность материала. При этом принято считать, что в случае удовлетворения требованиям критерия δ_i при «сглаживании» пиковых напряжений в зонах концентрации не должно происходить дальнейшего нарушения сплошности металла. Что же будет происходить в нашем случае?

Для того, чтобы раскрытие трещины $\delta_g^{(\varepsilon)}$ удовлетворяло начальному требованию δ_i трещина должна подрасти. Из полученной ранее зависимости (4) это условие можно записать в следующем виде:

$$\delta_i - \delta_i^{(\varepsilon)} = \Delta L (\sigma_B^{(\varepsilon)} / \sigma_{0,2}^{(\varepsilon)}) (n^* / (1 - n^*)^2). \quad (7)$$

Для упрощения дальнейших выкладок обозначим правую часть выражения (5) через $F(\varepsilon, \varepsilon_B)$.

Используя (5), условие (7) может быть представлено уравнением:

$$\frac{\delta_i}{\Delta L} = \varepsilon_B \left(1 - \frac{\varepsilon}{\varepsilon_B}\right) \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_B}\right)^{-\frac{\varepsilon_B}{1+\varepsilon_B}} \frac{F(\varepsilon, \varepsilon_B)}{F(\varepsilon, \varepsilon_B) - 1}. \quad (8)$$

Зависимость (8) в графическом виде показана на рис. 4, из которого видно, что при увеличении $\varepsilon/\varepsilon_B$, значение $\delta_i/\Delta L$ стремительно уменьшается. Так, при $\varepsilon/\varepsilon_B = 0,5$ в зависимости от ε_B , величина ΔL достигает 20 δ_i , что, в свою очередь, свидетель-

Таблица 1. Прочностные и деформационные характеристики исследуемой заготовки из стали 09Г2С-Ш после различных предварительных деформаций

Предварительная пластическая деформация ε , %	$\sigma_{0,2}^{(\varepsilon)}$, МПа	$\sigma_B^{(\varepsilon)}$, МПа	$\varepsilon_B^{(\varepsilon)}$	$\varepsilon_B^{(0)} - \varepsilon$	$\varepsilon/\varepsilon_B^{(0)}$	$\delta_i/\delta_i^{(\varepsilon)}$ по ф.(5)	Относительное удлинение $\delta^{(\varepsilon)}$, %	$\varepsilon_\psi^{(\varepsilon)}$
$0,2 + \varepsilon_{упр}$	280	450	0,190	0,190	0,021	1,00	39,1	0,201
5	392	475	0,145	0,140	0,263	2,55	35,6	0,211
7,5	435	483	0,106	0,115	0,395	3,38	28,6	0,180
10	474	502	0,096	0,09	0,526	4,54	26,6	0,170

Примечание: $\varepsilon_B^{(\varepsilon)}$ — фактическая равномерная деформация после предварительного деформирования материала на величину ε ; $\delta^{(\varepsilon)}$ — относительное удлинение после предварительного деформирования материала на величину ε ; $\varepsilon_\psi^{(\varepsilon)}$ — составляющая неравномерной деформации в относительном удлинении после предварительной деформации материала на величину ε ; $\varepsilon_B^{(0)}$ — равномерная деформация при $\varepsilon = 0$. В дальнейшем $\varepsilon_B^{(\varepsilon)} = \varepsilon_B - \varepsilon$; $\varepsilon_B^{(0)} = \varepsilon_B$.

ствуется о возможном значительном росте стабильной трещины.

Для большей наглядности на рис. 5 представлен график зависимости $\Delta L/\delta_i$ от величины ϵ_b при предварительном деформировании материала на 2, 4 и 5 %. Из рисунка видно, что чем больше запас по равномерной пластичности ϵ_b , тем выше сопротивление металла росту трещины после его предварительного деформирования.

В приведенных в отечественной нормативной документации требованиях к величине относительного удлинения $\delta^{(e)}$ запас по равномерной пластичности учитывается только формально. Это связано с тем, что в данный параметр входит и составляющая неравномерной деформации $\epsilon_{\psi}^{(e)}$, которая по своему значению может значительно превышать характеристику $\epsilon_b^{(e)}$ что, в свою очередь, не дает возможности определить точки перегиба представленных на рис. 5 кривых в связи с большой погрешностью оценки характеристики ϵ_b по характеристике $\delta^{(e)}$ (%).

В общем виде связь между относительным удлинением $\delta^{(e)}$, % и $\epsilon_b^{(e)}$, %, $\epsilon_{\psi}^{(e)}$, % можно записать:

$$\delta^{(e)} = \epsilon_b^{(e)} + \epsilon_{\psi}^{(e)}. \quad (9)$$

На рис. 6 представлена гистограмма распределения составляющих $\epsilon_b^{(e)}$, %, $\epsilon_{\psi}^{(e)}$, % в относительном удлинении $\delta^{(e)}$, % из табл. 1.

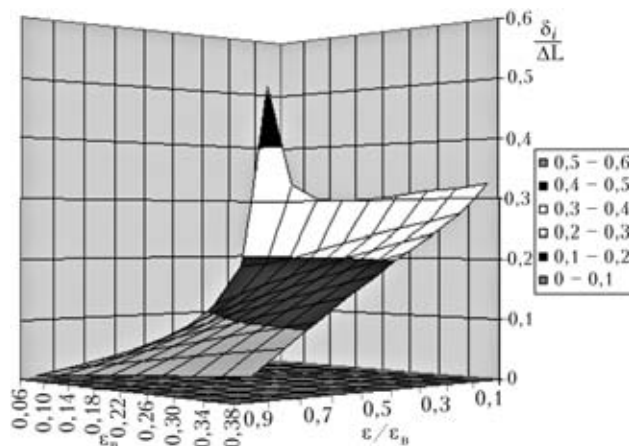


Рис. 4. Зависимость $\delta_i/\Delta L$ от величин ϵ_b и ϵ/ϵ_b при условии стабильного роста трещины по формуле (8)

Таблица 2. Механические свойства металла швов, выполненных проволоками Св-08Г2С, Св-10ГСМТ, Св-10Г2, Св-08А под флюсом АН-43

Сварочные материалы	$T_{исп.}, ^\circ\text{C}$	$\sigma_b, \text{МПа}$	$\sigma_{0,2}, \text{МПа}$	Относительное удлинение $\delta, \%$	Относительное сужение $\delta_{\psi}, \%$	ϵ_b , по формуле (6)	δ_i , по формуле (1)
Св-08Г2С	+20	610	487	25,3	67,9	0,105	0,17
Св-10ГСМТ	+20	574	464	26,6	72,5	0,101	0,2
Св-10Г2	+20	$\frac{484...481}{482}$	$\frac{402...378}{387}$	$\frac{30,7...25,6}{28,5}$	$\frac{75,0...66,0}{70,8}$	0,104	0,21
Св-08А	+20	$\frac{551...512}{532}$	$\frac{470...403}{436}$	$\frac{25,0...21,0}{22,8}$	$\frac{62,0...59,9}{60,9}$	0,092	0,19

Как видно из табл. 1 и рис. 6 составляющая неравномерной деформации $\epsilon_{\psi}^{(e)}$ в общем относительном удлинении слабо зависит от величины предварительного деформирования материала, из которого были изготовлены образцы на растяжение, в то время как величина $\epsilon_b^{(e)}$ значительно

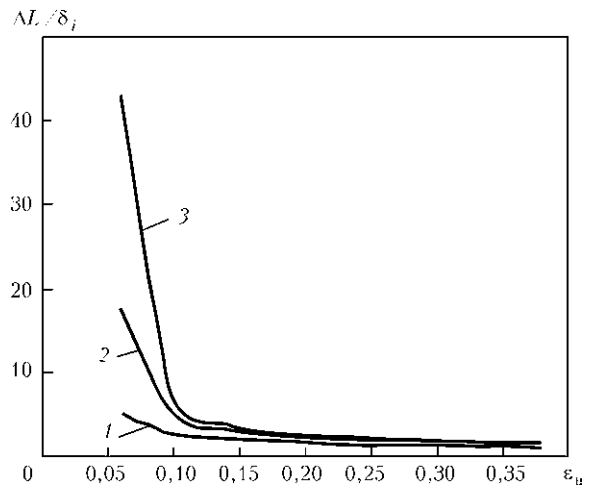


Рис. 5. Расчетные кривые по формуле (8) значений $\Delta L/\delta_i$ в зависимости от величины временной деформации ϵ_b при различном предварительном деформировании материала: 1 — на 2; 2 — на 4; 3 — на 5 %

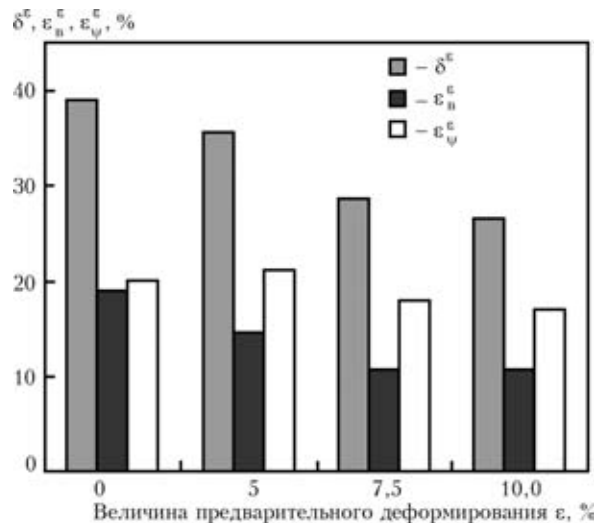


Рис. 6. Гистограмма распределения равномерной $\epsilon_b^{(e)}$ и неравномерной $\epsilon_{\psi}^{(e)}$ деформаций в относительном удлинении $\delta^{(e)}$ после предварительного деформирования стали 09Г2С-Ш на 0, 5, 7,5 и 10 %

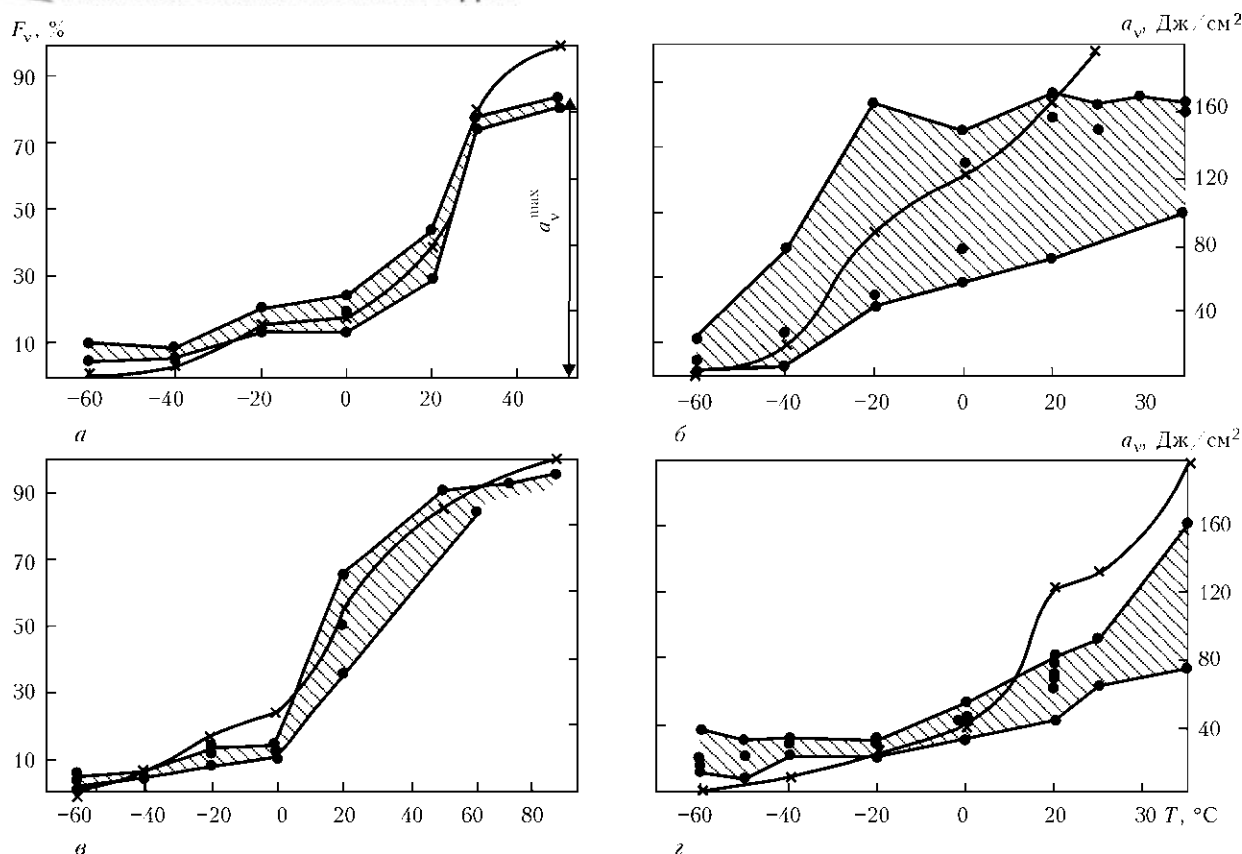


Рис. 7. Температурные зависимости ударной вязкости и процент волокна в изломе при испытании сварных швов на стандартных образцах Шарпи, выполненных различными проволоками под флюсом АН-43: а — Св-08Г2С; б — Св-10Г2; в — Св-10ГСМТ; з — Св-08А; ● — экспериментальные значения; x — средние значения процента волокна в изломе образца Шарпи $F_v, \%$

уменьшается. При предварительном деформировании материала на 10 % величина неравномерной составляющей $\epsilon_{\psi}^{(\epsilon)}$ практически превышает значение $\epsilon_{\psi}^{(\epsilon)}$ в два раза, в то время как при $\epsilon = 0$ они близки.

Полученные данные свидетельствуют о том, что для материалов, претерпевших предварительное пластическое деформирование, при изготовлении различного вида деталей и оборудования без последующей нормализации и глубокого отпуска к характеристике относительного удлинения $\delta^{(\epsilon)}$ необходимо относиться крайне осторожно. Это же относится и к возможным деформациям конструкций при их монтаже и эксплуатации.

В табл. 2 и на рис. 7 представлены результаты стандартных механических испытаний и ударной вязкости образцов Шарпи наиболее широко используемых сварных соединений, выполненных проволоками Св-08Г2С, Св-10ГСМТ, Св-10Г2, Св-08А под флюсом АН-43.

Как видно из табл. 2 и рис. 5, уже в случае 5 % предварительного деформирования исследуемых сварных швов сварное соединение, выполненное из проволоки Св-08А, значительно уступает остальным на предмет возможного сопротивления росту трещины в процессе эксплуатации. Так, для сварного шва, выполненного проволокой

Св-08А, характеристика $\Delta L/\delta_i$ в этом случае достигает 20.

Для магистральных трубопроводов выражение (8) дает возможность внести поправочные коррективы в проектные расчеты по выбору конструкционных сталей и сварных соединений с необходимыми свойствами, учитывающими возможность предварительного деформирования стенки трубы как при ее изготовлении, так и в процессе эксплуатации. Кроме того, для диагностики трубопроводов выражение (8) позволяет еще на стадии ознакомления с проектной документацией выявить наиболее предрасположенные его участки к возможному росту дефектов.

Выводы

Показано, что еще на стадии изучения проектной и эксплуатационной документации, применяя законы механики разрушения, можно выявить участки трубопроводов с пониженными сопротивлениями стабильному росту трещин.

Выполнен аналитический анализ сопротивления трубных сталей и их сварных соединений стабильному росту трещин в зависимости от степени предварительного пластического деформирования металла.



Полученные результаты показывают, что для вскрытия участков трубопроводов необходимо, кроме сведений, полученных от внутритрубных снарядов, данных по изоляции, учитывать возможные изменения прочностных свойств металла и сварных соединений при изготовлении, монтаже и эксплуатации труб.

При ремонте дефектных зон необходимо учитывать остаточную пластичность трубопровода, поскольку термопластические деформации в процессе сварки могут существенно снизить сопротивляемость трубной стали и сварных соединений возможному росту трещин.

1. *Hidou R.* Screening corrosion inspection for thermal insulation piping // J. of Japanese Society for Non-Destructive Inspection. — 2010. — 59, № 12. — P. 606–609.

2. *Troitskij V. A., Beloev M., Mihovaki M.* Alternative solutions for nondestructive testing of pipeline welds // 2-nd South East European IIW International Congress. — Oct. 2010, Sofia. — P. 301–311.
3. *Jackson P., Luidge P., Daniel I.* Pipeline corrosion control: a historical perspective and guided wave approach to the future // Ibid. — Oct. 2010, Sofia. — P. 118–123.
4. *Дядин В. П.* Влияние предварительного деформирования на ударную вязкость образца Шарпи // Автомат. сварка. — 2007. — № 1. — С. 28–34.
5. *Гиренко В. С., Дядин В. П.* Зависимости между ударной вязкостью и критериями механики разрушения δ_{10} и K_{IS} конструкционных сталей и их сварных соединений // Там же. — 1985. — № 9. — С. 13–20.
6. *Гиренко В. С., Дядин В. П.* Корреляция характеристик трещиностойкости материалов и сварных соединений с результатами стандартных механических испытаний // Там же. — 1990. — № 6. — С. 1–4.

Поступила в редакцию
29.03.2011

КАЛЕНДАРЬ КОНФЕРЕНЦИЙ И ВЫСТАВОК по НК на 2011–2012 гг.

September 2011	7–9	Edinburgh, UK	International Conference on Advances in Experimental Mechanics: Integrating Simulation and Experimentation for Validation (ISEV)	johndwards@bssm.org www.bssm.org/conf2011
Вересень 2011	20–23	Тернопіль, Україна	II Міжнародна науково-технічна конференція «Пошкодження матеріалів під час експлуатації, методи його діагностування і прогнозування»	snt@tu.edu.te.ua; maruschak.tu.edu@gmail.com http://www.tntu.edu.ua/dmdp/ http://www.tu.edu.te.ua/dmdp/
September 2011	19–21	Ioannina, Greece	5th International Conference on Emerging Technologies in NDT	etndt5@cc.uoi.gr www.etcch-ndt5.uoi.gr
October 2011	2–6	Cancun, Mexico	5th Pan-American Conference for Non-Destructive Testing	info@copaend5.com www.copaend5.com
Октябрь 2011	3–7	Ялта, Украина	19-я Международная конференция и выставка «Современные методы и средства НКПД»	office@conference.kiew.ua www.conference.kiev.ua (044) 573-30-40 (067) 708-93-95
November 2011	2–4	Montreal, Canada	International Workshop on Smart Materials & Structures and NDT in Aerospace and NDT in Canada Conference	events@cinde.ca events.cinde.ca
	2–5	Split, Croatia	MATEST2011 International NDT Conference	hdkbr@hdkbr.hr www.hdkbr.hr
	3–4	Singapore	SINCE 2011 — Singapore International Non-Destructive Testing Conference and Exhibition	ndtss@live.com.sg www.ndtss.org.sg
Ноябрь 2011	22–25	Киев, Украина	X Международный промышленный форум — 2011	Международный выставочный центр www.tech-expo.com.ua
March 2012	19–23	Dallas, Texas	21st Annual ASNT Research Symposium and Spring Conference	conferences@asnt.org www.asnt.org
April 2012	18–20	Durban, South Africa	18th World Conference on NDT	saint@acenet.co.za www.saint.org.za
Май 2012	Дата уточняется	Киев, Украина	7-я Национальная конференция и выставка «НКПД-2012»	usndt@ukr.net www.usndt.com.ua



ДІАГНОСТУВАННЯ МЕХАНІЗМІВ РУЙНУВАННЯ СТАЛІ 38ХНЗМФА ЗА ВЕЙВЛЕТ-ПЕРЕТВОРЕННЯМ СИГНАЛІВ АКУСТИЧНОЇ ЕМІСІЇ

В. Р. СКАЛЬСЬКИЙ, Л. Р. БОТВІНА, доктори техн. наук, О. М. СТАНКЕВИЧ, інж.,
О. С. ДУБИЦЬКИЙ, Ю. Я. МАТВІЙВ кандидати техн. наук
(Фіз.-мех. ін-т ім. Г. В. Карпенка НАН України, Львів)

Розглянуто руйнування конструкційної середньолегованої сталі за вейвлет-аналізом сигналів акустичної емісії (АЕ). Показано, що воно супроводжується сигналами АЕ різних типів, яким можна поставити у відповідність різні його механізми руйнування. Для опису амплітудно-частотних характеристик сигналів використано неперервне вейвлет-перетворення. Перевірено ефективність використання критерію оцінки механізмів руйнування за значеннями вейвлет-коефіцієнтів на всіх ділянках діаграми розтягу.

Fracture of a structural alloy steel was studied with wavelet analysis of acoustic emission signals. It is shown that the fracture process is accompanied by the acoustic emission signals of different types corresponding to certain fracture mechanisms. The description of amplitude-frequency characteristics of signals is performed with continuous wavelet transform. A criterion for the evaluation of fracture mechanisms based on the values of wavelet coefficients was found effective along the entire stress-strain diagram.

Розвиток техніки та підвищення рівня інтенсивності її експлуатації спонукають не лише до створення матеріалів із високою міцністю та в'язкістю руйнування, але й піднімають на новий рівень методи неруйнівного контролю та технічного діагностування. Практично всі конструкційні матеріали неоднорідні за структурою, хімічним складом тощо, що має свій вплив на опір матеріалів руйнуванню, тому дослідження механізмів руйнування та факторів, які сприяють його розвитку, становить актуальну і надзвичайно важливу науково-технічну задачу.

Серед існуючих переваг методу АЕ з поміж інших методів неруйнівного контролю варто звернути увагу на можливість виявлення початку процесів руйнування на ранніх стадіях його зародження. Оскільки до важливих факторів руйнування матеріалів відносять накопичення пошкоджень у локальних зонах концентрації пластичних деформацій, що може призвести до локального інтенсивного утворення тріщиноподібних дефектів, то завданням методу АЕ стає ідентифікація механізмів руйнування з метою правильного прийняття рішень щодо подальшого експлуатування об'єкта контролю.

Стан проблеми. Вивченню проблеми розпізнавання механізмів руйнування конструкційних матеріалів методом АЕ присвячено велику кількість публікацій. Серед них варто зупинитись на працях, присвячених встановленню природи джерел сигналів АЕ. Так, у праці [1] підкреслюється суттєвий вплив на параметри АЕ умов деформування, виду та стану матеріалу, типу кристалічної ґратки, а також інших факторів. У [2] показано, що джерелом генерування пружних

хвиль АЕ є прискорений рух дислокацій та їх різка зупинка. Вивчаючи дислокаційні механізми генерування сигналів АЕ на монокристалах фториду літію, автори праці [3] механізм появи сигналів пов'язують зі взаємодією між групами дислокацій та перепонами, навколо яких наростає локальна енергія напружень, а появу вторинної АЕ розглядають як наслідок зіткнень між когерентними групами рухомих дислокацій і перешкод у площинах їх ковзання. Нарешті, емісія з альтернативним типом коливань виникає за високих напружень після масштабної пластичної деформації, коли концентрації напружень у голові дислокаційних скупчень спричиняють утворення і розвиток мікротріщин. У свою чергу автори праці [4], які досліджували деформацію монокристалів міді, магнію, заліза, полікристалів латуні та сплаву $\text{Cu}-7\%\text{Al}$, дійшли висновку, що спалахи АЕ відповідають процесові формування смуг ковзання шляхом лавиноподібного руху дислокацій. Суттєві результати для розуміння природи джерел АЕ отримано у працях [5–7], де наведено результати досліджень на лужногалоїдних кристалах KCl та LiF . Встановлено, що генерація кожного імпульсу АЕ проходить у результаті одночасного руху дуже великої кількості дислокацій. Якщо просумувати їх довжину, отримаємо декілька тисяч сантиметрів. На цій підставі висунуто гіпотезу про залежність інтенсивності сигналів АЕ від ступеня деформації.

Можливість визначення міцнісних характеристик сталей методом АЕ досліджувалась у працях [8–10]. Зокрема, в [10] досліджено закономірності зміни сигналів АЕ під час деформування розтягом



зразків середньовуглецевих конструкційних сталей. Результати досліджень показали нерівномірний характер АЕ під час деформування сталей, зокрема відносно високий рівень сигналів АЕ реєстрували на пружній ділянці навантаження. Для визначення характеристик міцності вибраних матеріалів методом АЕ найцікавішим є регулярний пік АЕ поблизу межі плинності $\sigma_{0,2}$, максимум якого відповідає межі пружності $\sigma_{0,05}$, а його початок — межі пропорційності $\sigma_{\text{пл}}$. Таким чином, у праці доведено, що методом АЕ можна виявляти ранні стадії руйнування матеріалів за будь-яких механізмів його перебігу.

Уперше ідентифікування механізмів руйнування конструкційних матеріалів за сигналами АЕ зроблено у працях [11, 12]. Авторами встановлено, що під час формування пластичних деформацій реєструють довготривалі та незначні за амплітудою сигнали АЕ, за крихкого руйнування фіксують короткотривалі імпульси з великими амплітудами. Водночас, від амплітуди сигналу та його тривалості залежить кількість імпульсів АЕ. За умови збільшення тривалості сигналів АЕ і незмінної амплітуди зростає кількість імпульсів, які сприймаються, зокрема, резонансними первинними перетворювачами сигналів АЕ, тому слід очікувати сигнали з малими амплітудами і порівняно великим їх сумарним рахунком. Зародження та ріст макро- і мікротріщин породжують сигнали АЕ з великими амплітудами і відносно невеликим сумарним рахунком.

Разом із тим, використання зазначених особливостей для ідентифікації сигналів АЕ від тріщини, що розвивається, ефективне за умови наявності лише двох механізмів генерування АЕ: пластичної деформації і росту макротріщини. Проте у деяких матеріалах з'являються додаткові джерела АЕ, наприклад, руйнування крихких включень [13] чи утворення мікротріщин. У праці [14] на підставі проведених численних експериментів на різних конструкційних матеріалах запропоновано критерій оцінки типів руйнування, який ураховує специфіку зміни амплітудно-частотних характеристик сигналів АЕ під час докритичного росту тріщин, руйнування різного роду включень, утворення мікротріщин тощо. Спроби визначення особливостей макроруйнування матеріалів за енергетичним критерієм та розподілом вейвлет-коефіцієнтів протягом усього часу навантаження зразка (аж до повного його руйнування) представлено у праці [15].

Отже, метод АЕ дедалі частіше застосовують у фундаментальних і прикладних дослідженнях як пластичного деформування, так і зародження й розвитку руйнування у різних конструкційних матеріалах. Разом із тим, досягнення вищої ефек-

тивності методу можливе за умови подальшого вдосконалення методик обробки сигналів АЕ.

Останнім часом серед різноманітних методів цифрової обробки сигналів набув розвитку вейвлет-аналіз. Вейвлет-перетворення (ВП) сигналів АЕ (вейвлет-хвилька) — це знаходження частотного розподілу складових сигналів АЕ у часовому інтервалі вимірювань. Цей ефективний засіб локалізації й класифікації особливих точок нестационарних сигналів дозволяє здійснювати аналіз одночасно в частотній та часовій областях [16].

Мета роботи — оцінити механізми руйнування конструкційної середньолегованої сталі за умов квазістатичного розтягу зразків за результатами вейвлет-аналізу сигналів АЕ.

Методика досліджень. Згідно з означенням [16], неперервне вейвлет-перетворення (НВП) сигналу $s(t)$ обчислюють за формулою

$$W_s(a, b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int s(t) \psi \left(\frac{t-b}{a} \right) dt, \quad (1)$$

де $\psi(t)$ — материнський вейвлет; a — масштаб; b — часовий зсув; t — час.

Наявність у сигналі значних флуктуацій у деякий момент часу визначається великими значеннями вейвлет-коефіцієнтів. Чим сильніше виражена особливість сигналу, тим сильніше вона виділяється на спектрограмі і тим вищий рівень вейвлет-коефіцієнтів.

Для аналізу нестационарних сигналів, як правило, неперервні базиси конструюють на основі функції Гауса, яка має найкращі показники локалізації як у часовій, так і у частотній областях. У програмі AGU-Vallen Wavelet [17] для вейвлет-перетворення сигналів АЕ за материнський вибрано вейвлет Габора, в основі якого лежить функція Гауса:

$$\psi(t) = \pi^{-1/4} \left(\frac{\omega_p}{\gamma} \right)^{1/2} \exp \left[-\frac{t^2}{2} \left(\frac{\omega_p}{\gamma} \right)^2 + i\omega_p t \right], \quad (2)$$

де ω_p — несуча частота; γ — константа ($\gamma = \pi(2\ln 2)^{1/2} = 5,336$).

НВП сигналів АЕ є важливим джерелом одержання діагностичної інформації, за якою можна ідентифікувати механізми макроруйнування у будь-якому часовому інтервалі навантаження. У попередніх дослідженнях [18] для кількісної оцінки сигналів АЕ під час руйнування різних типів скломатеріалів на основі НВП було запропоновано критеріальний параметр k , який ураховує параметри вимірювального тракту і особливості спектрів сигналів АЕ:

$$k = \frac{WT_{\max} \times \Delta f_0}{\Delta f}, \quad (3)$$

де $WT_{\max}$ — максимальне значення вейвлет-коефіцієнта для події АЕ; Δf — ширина частотної



смуги для події АЕ в координатах $WT-f$, Δf_0 — ширина робочої смуги АЕ-тракту, що визначається робочою смугою частот первинного перетворювача.

Враховуючи те, що під час розтягання циліндричних зразків конструкційних матеріалів можуть виникати різні типи руйнування (мікротріщиноутворення, розтріскування включень, утворення пластичних деформацій, що супроводжуються перерозподілом дислокацій та їх скупчень за різними механізмами, макроруйнування тощо), постала необхідність визначення цих механізмів на ранніх стадіях руйнування матеріалу. Цю проблему вивчали здебільшого за допомогою металографії та мікрофрактографічним аналізом [14]. Такі підходи сьогодні вже не задовольняють дослідників і тим більше експлуатаційників. Важливо під час моніторингу об'єктів тривалого експлуатування проводити таку оцінку методами неруйнівного контролю в режимі on-line. Саме таким чином можна запобігти передчасному руйнуванню об'єктів контролю.

Результати досліджень та їх обговорення.

Досліджували розтягом циліндричні зразки з конструкційної сталі 38ХНЗМФА діаметром 4 мм та довжиною 44 мм. Сталь 38ХНЗМФА належить до класу конструкційних покращених сталей, які використовують після загартовування з високим відпуском. У нашому випадку він становив 893К. Структура сталі після покращення — сорбіт. Склад сталі 38ХНЗМФА у стані поставки: вуглець 0,33...0,4 %; хром 1,20...1,50 %; нікель 3,00...3,50 %; марганець 0,25...0,50 %; ванадій 0,10...0,18 %; кремній 0,17...0,37 %; мідь — не більше 0,30 %; фосфор — не більше 0,025 %; сірка — не більше 0,025 %. Мікроструктура сталі у початковому стані, як правило, має дрібнозернисту феритну структуру з дрібнодисперсними карбідами. Після термообробки можливе утворення карбідів заліза, хрому, ванадію та молібдену,

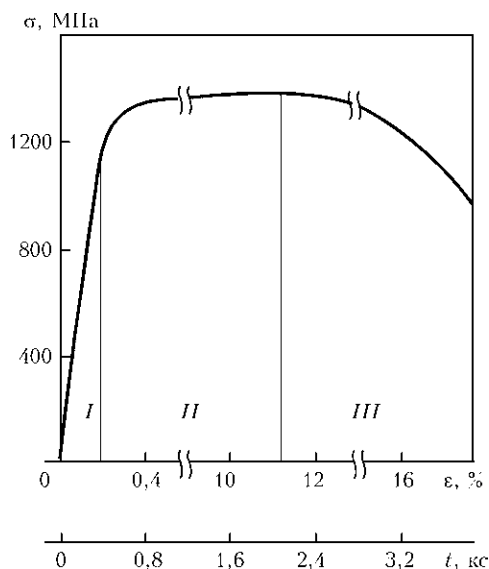


Рис. 1. Діаграма розтягу гладкого циліндричного зразка зі сталі 38ХНЗМФА (опис I–III — див. у тексті)

а також складнолегованих карбідів з їх коагуляцією, сульфідів марганцю.

Під час розтягу зразка в реальному масштабі часу сигнали АЕ реєстрували за допомогою акустико-емісійної вимірювальної системи SKOP-8 [14]. Сму-гу частот вимірювального АЕ-тракту визначали робочою смугою частот первинного перетворювача АЕ, яка становила 0,2...0,6 МГц. Далі в режимі постобробки результатів будували діаграми розтягу (рис. 1) та аналізували параметри сигналів АЕ.

Аналіз сигналів АЕ здійснювали у такому порядку: 1 — визначали за хвильовим відображенням кожного сигналу АЕ максимальне значення амплітуди A_i та час t_i настання АЕ-події від початку експерименту; 2 — встановлювали за неперервним вейвлет-перетворенням (з використанням програмного забезпечення AGU-Vallen Wavelet) для кожного сигналу, що супроводжує подію АЕ, максимальний вейвлет-коефіцієнт $WT_{\max}$; 3 — оцінювали ширину смуги частот Δf спектра сигналів АЕ на основі 2D-проекції НВП сигналу на площину «вейвлет-коефіцієнт WT — частота f », що відповідає $WT_{\max}$ даної події (рис. 2, б); 4 — за отриманими таким чином даними обчислювали критеріальний параметр k за залежністю (3).

Для ділянки I діаграми розтягу (рис. 1) характерні такі типи сигналів АЕ, що супроводжують процес руйнування сталі. Спочатку сигнали АЕ мають низькі значення максимальних амплітуд (150...250 мкВ), широкі смуги частотних спектрів Δf (0,2...0,3 МГц) у момент часу, який відповідає $WT_{\max}$, а значення самих максимальних вейвлет-коефіцієнтів $WT_{\max}$ не перевищують 0,1 (0,03...0,08). Відповідно величини критеріального параметра k лежать у діапазоні 0,03...0,15. Умовно віднесемо сигнали з такими параметрами до сигналів першого типу (рис. 2).

У деякий момент часу (наприклад, $t \approx 200...210$ с від початку експерименту) з'являються сигнали АЕ зі значно більшими значеннями амплітуд (400...600 мкВ). Окрім того, вони мають вужчу ширину смуги частот Δf (0,12...0,19 МГц), а значення $WT_{\max}$ перевищують 0,1 (0,11...0,15), у результаті чого зростають і значення параметра k , що вже визначається діапазоном 0,2...0,5. Таким чином, з'являються сигнали другого типу (рис. 3), які чергуються на цій ділянці діаграми розтягу із сигналами першого типу. Із наближенням до межі плинності $\sigma_{0,2}$ амплітуди сигналів обох типів поступово збільшуються і перевищують початкові амплітуди приблизно на порядок, але при цьому ширина смуги частот Δf , максимальні вейвлет-коефіцієнти $WT_{\max}$ та значення критеріального параметра k зберігаються у межах, встановлених вище, для кожного із двох виділених типів.

Співставивши отримані результати із раніше отриманими числовими результатами оцінки ме-

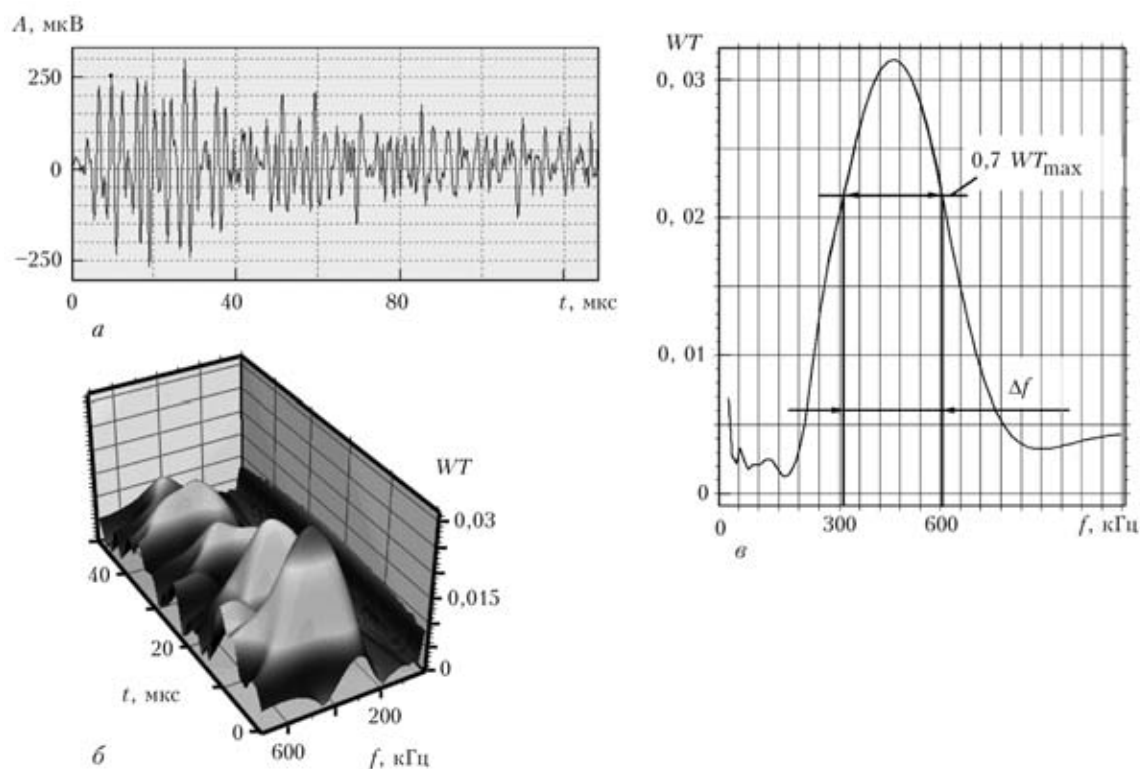


Рис. 2. Характерні сигнали АЕ першого типу: а — хвильове відображення; б — НВП сигналу АЕ; в — проекція НВП сигналу АЕ на площину «WT – f» у момент часу, що відповідає $WT_{\max}$

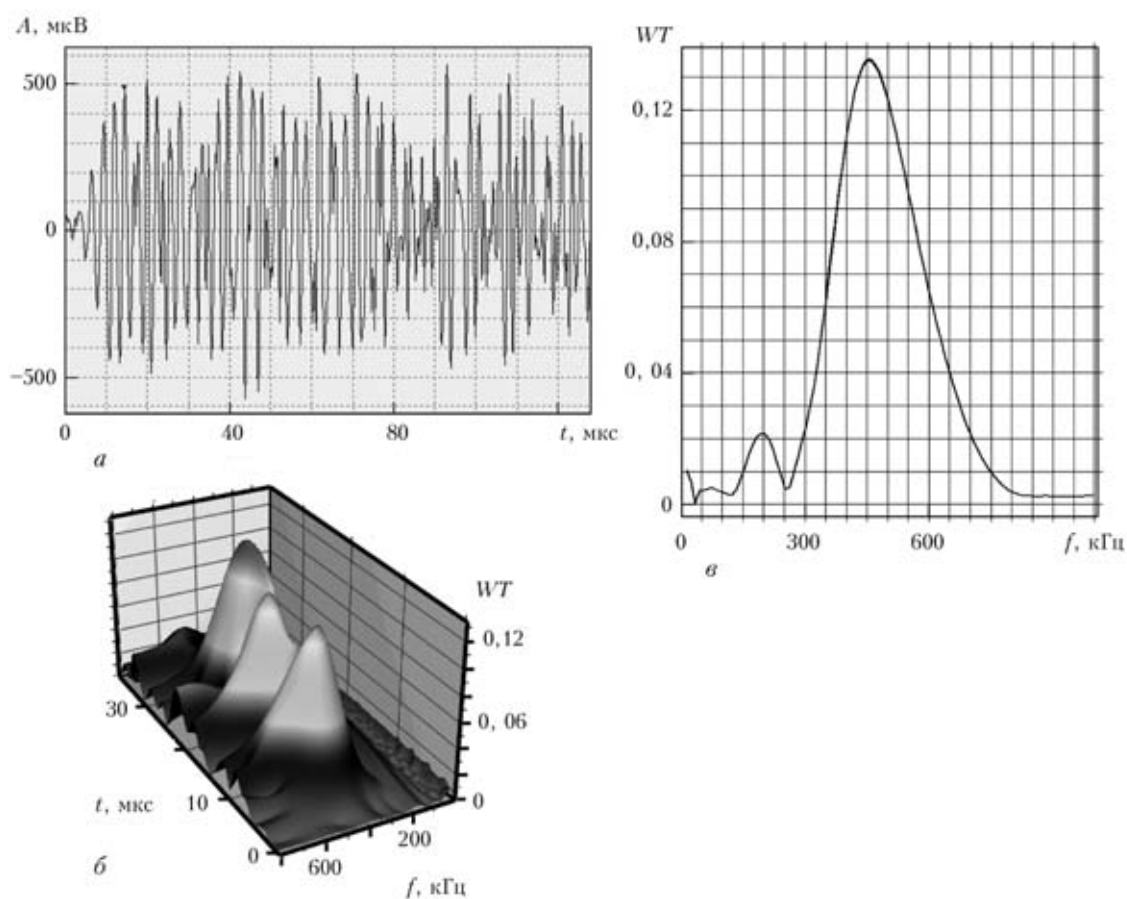


Рис. 3. Сигнали АЕ, що характерні для другого типу руйнування (а-в те саме, що і на рис. 2)



ханізмів крихкого руйнування скла [18], сигнали другого типу умовно можна віднести до таких, що характеризують крихке руйнування, а першого типу — в'язке.

Отже, на підставі зробленого аналізу сигналів АЕ на I ділянці діаграми розтягу, можна припустити, що на початку руйнування матеріалу переважають механізми в'язкого руйнування. З появою сигналів АЕ із вищими значеннями амплітуд гіпотетично можна вважати, що відбувається розвиток мікротріщиноутворення та початок макроруйнування матеріалу (крихке руйнування). Під час подальшого розтягу процес мікротріщиноутворення чергується із процесом розвитку пластичних деформацій, оскільки чергуються сигнали двох встановлених типів. Особливо активно це відбувається з наближенням до межі плинності $\sigma_{0,2}$ матеріалу. В її околі відбуваються інтенсивні дислокаційні процеси, які супроводжуються відповідними низькоамплітудними та широкосмуговими сигналами АЕ [14].

Наведені міркування щодо механізмів руйнування, встановлених за сигналами АЕ, які генеруються під час навантаження зразків зі сталі 38ХНЗМФА, підтверджуються результатами, представленими у праці [19]. У ній автори зафіксували фрактографічно (рис. 4) утворення внутрішніх мікротріщин у перерізі зразка вздовж осі прикладання зусиль розтягу.

Серед сигналів АЕ, які реєстрували на ділянці II діаграми розтягу, здебільшого проявлялись сигнали першого типу і рідко з'являлись сигнали другого типу, а на ділянці III спостерігали домінування сигналів першого типу.

Отримані результати АЕ-досліджень показують, що під час руйнування сталі механізми руйнування чергуються між собою: в'язке змінюється крихким і навпаки. Це підтверджує основоположні принципи лінійної механіки руйнування [20] про початкові

стадії руйнування: утворення пластичних зон, стрибкоподібне підростання тріщин, руйнування крихких включень. Очевидно, що на кожному етапі просування тріщини ці механізми наявні, про що свідчить НВП сигналів АЕ.

Висновки

Під час зародження і розвитку руйнування конструкційної сталі 38ХНЗМФА спостерігаються різні типи сигналів АЕ, які відповідають різним його механізмам. Неперервне вейвлет-перетворення цих сигналів показало ефективність застосування вейвлет-коефіцієнтів для побудови критерію оцінки механізмів руйнування.

Ранні стадії руйнування сталі характеризуються низькими значеннями критеріального показника k і сигнали АЕ, що генеруються у цей час, гіпотетично супроводжують відшарування включень у в'язкій феритній матриці, їх розтріскування, а також дислокаційні механізми мікротріщиноутворення. Такий тип руйнування можна вважати в'язким. Зі збільшенням навантаження поза межі плинності з'являються дискретні сигнали АЕ з високими амплітудними значеннями і вузькими частотними спектрами, а значення k відповідають крихкому руйнуванню (співмірні зі значеннями цього критерію у випадку руйнування скла).

Застосування критеріального параметра k дозволяє ефективно встановлювати механізми руйнування конструкційних матеріалів під час технічного діагностування чи моніторингу різних виробів та елементів конструкцій.

Развитие техники и повышение уровня интенсивности ее эксплуатации приводят не только к созданию материалов с высокой прочностью и вязкостью разрушения, но и поднимают на новый уровень методы неразрушающего контроля и технической диагностики. Практически все конструкционные материалы неоднородны по структуре, химическому составу и т. д., что по-своему влияет на сопротивление материалов разрушению, поэтому исследование механизмов разрушения и факторов, которые способствуют его развитию, является актуальной и очень важной научно-технической задачей.

Среди существующих преимуществ метода АЭ среди других методов неразрушающего контроля стоит выделить возможность обнаружения начала процессов разрушения на ранних стадиях его зарождения.

Изучению проблемы распознавания механизмов разрушения конструкционных материалов методом АЭ посвящено большое количество публикаций. Среди них работы по установлению природы источников сигналов АЭ, возможности определения прочностных характеристик сталей методом АЭ, оценке типов разрушения с учетом амплитудно-частотных характеристик сигналов

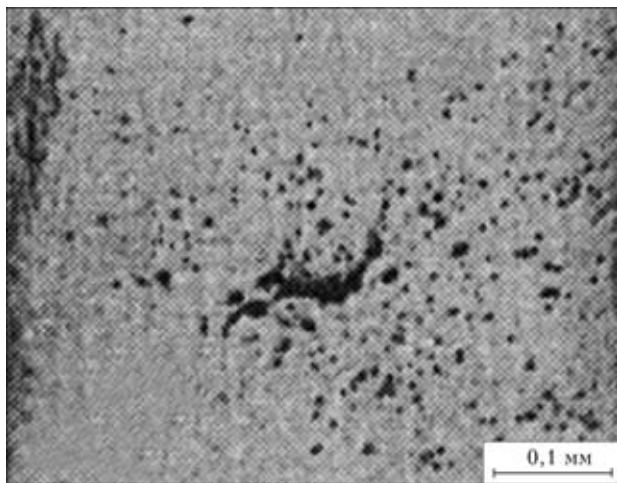


Рис. 4. Утворення внутрішніх мікротріщин під час розтягання зразка з технічно чистої (99,9 %) електролітної міді у стані поставки [19]



АЭ, определению особенностей макроразрушения материалов по энергетическому критерию и распределению вейвлет-коэффициентов и т. д.

Таким образом, метод АЭ все чаще применяют в фундаментальных и прикладных исследованиях как пластической деформации, так и зарождения и развития разрушения в разных конструкционных материалах. В то же время достижение высшей эффективности метода возможно при условии дальнейшего усовершенствования методики обработки сигналов АЭ.

Последнее время среди разных методов цифровой обработки сигналов получил развитие вейвлет-анализ, который является эффективным средством локализации и классификации особенностей нестационарных сигналов и разрешает осуществлять анализ одновременно в частотной и временной областях.

Непрерывное вейвлет-преобразование является важным источником диагностической информации, с помощью которой можно идентифицировать механизмы разрушения на любом временном интервале нагрузки. Наличие в сигнале значительных флуктуаций в некоторый момент времени определяется большими значениями вейвлет-коэффициентов. Чем сильнее выражена особенность сигнала, тем сильнее она выделяется на спектрограмме и тем выше уровень вейвлет-коэффициента.

Исследовали растяжением цилиндрические образцы из конструкционной стали 38ХНЗМФА диаметром 4 мм и длиной 44 мм. При зарождении и развитии разрушения в образцах наблюдаются разные типы сигналов АЭ, которые соответствуют разным его механизмам. Непрерывное вейвлет-преобразование этих сигналов показало эффективность использования вейвлет-коэффициентов для построения критерия оценки механизмов разрушения.

Ранние стадии разрушения стали характеризуются низкими значениями критериального показателя k и сигналы АЭ, которые генерируются в это время, гипотетически сопровождают отслоение включений в вязкой ферритной матрице, их растрескивание, а также дислокационные механизмы микротрещинообразования. Такой тип разрушения можно считать вязким. С увеличением нагрузки за предел текучести появляются дискретные сигналы АЭ с высокими амплитудными значениями и узкими частотными спектрами, а значения k соответствуют хрупкому разрушению (соизмеримы со значениями этого критерия в случае разрушения стекла).

Использование критериального параметра k дает возможность эффективно устанавливать механизмы разрушения конструкционных материалов при техническом диагностировании или мониторинге различных изделий и элементов конструкций.

1. Fitzgerald E. R. Mechanical resonance dispersion and plastic flow in crystalline solids // J. Acoust. Soc. Amer. — 1960. — **32**, № 10. — P. 1270–1289.
2. Ookawa A., Yazu K. The energy radiated from a dislocation by an accelerated motion through impurity fields // J. Phys. Soc. Japan. — 1963. — **18** (Supplement I). — P. 36–43.
3. Engle R. B. Acoustic emission and related displacements in lithium fluoride single crystals / Ph. D. Thesis. Michigan State University, East Lansing Michigan. — 1966.
4. Fisher R. M., Lally L. S. Microplasticity detected by an acoustic technique // Canad. J. Phys. — 1967. — **45**, № 2. — P. 1147–1159.
5. James D. R. The source of acoustic emission in deforming single crystals / In: Int. conf. on Mechanical Behaviour of Materials, 1971, Kyoto, Abstr. — **3**. — P. 960–961.
6. Segwick R. T. Acoustic emission from single crystals of LiF and KCl // J. Appl. Phys. — 1968. — **39**, № 3. — P. 1728–1740.
7. James D. R., Carpenter S. H. Relationship between acoustic emission and dislocation kinetics in crystalline solids // Ibid. — 1971. — **42**, № 12. — P. 4685–4697.
8. Применение акустической эмиссии для определения предела упругости конструкционных сталей / А. В. Скобло, А. П. Жигин, Л. П. Дулина, С. А. Колосов // Завод. лаб. — 1971. — С. 363–367.
9. Исследование деформирования образцов с выточками методом акустической эмиссии / С. М. Пичков, В. В. Данилин, С. Д. Шеряков, Ю. Л. Гагарин // Физ.-хим. механика материалов. — 1980. — № 3. — С. 120–122.
10. Определение механических характеристик стали методом акустической эмиссии / Ю. И. Фадеев, О. А. Бартевнев, З. Г. Волкова, Н. Г. Чекмарев // Дефектоскопия. — 1987. — № 8. — С. 44–49.
11. Филоненко С. Ф., Городиский Н. И., Бирюков В. С. Особенности сигналов акустической эмиссии при пластическом деформировании и хрупком разрушении материалов // Физ.-хим. механика материалов. — 1985. — № 6. — С. 105–106.
12. Методические аспекты применения метода акустической эмиссии при определении статической трещиностойкости материалов / А. Е. Андрейкив, Н. В. Лысак, В. Р. Скальский, О. Н. Сергиенко (Препр. АН УССР. Физ.-хим. ин-т, № 165). — Львов, 1990. — 34 с.
13. Скальский В. Р., Сергиенко О. М., Окрепкий Ю. С. Підходи до оцінки руйнування включень у твердому тілі (Огляд) // Техн. діагностика і неразруш. контроль. — 2007. — № 3. — С. 18–25.
14. Назарчук З. Т., Скальский В. Р. Акустико-емісійне діагностування елементів конструкцій: науково-технічний посібник: у 3 т. — Киев: Наук. думка, 2009. — 878 с.
15. Скальский В., Станкевич О., Галан П. Визначення особливостей макроруйнування матеріалів за вейвлет-аналізом сигналів акустичної емісії // Матеріали конференції: «Електромагнітні та акустичні методи неруйнівного контролю матеріалів та виробів ЛЕОТЕСТ-2011», 21–26 лютого 2011 р. — Львів, 2011. — С. 67–71.
16. Яковлев А. Н. Введение в вейвлет-преобразования: учеб. пособие. — Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003. — 104 с.
17. Vallen Systeme: The Acoustic Emission Company. — [Virtual Resource]. — Access Mode: URL: <http://www.vallen.de/software/index.html>.
18. Скальский В. Р., Буйло С. И., Станкевич Е. М. Критерий оценки хрупкого разрушения стекла по сигналам акустической эмиссии // Дефектоскопия. — 2011.
19. Puttik K. E. Ductile Fracture in Metals // Phil. Mag. — 1959. — **4**. — P. 964–969.
20. Макклиток Ф., Аргон А. Деформация и разрушение материалов / Пер. с англ.; под ред. Е. М. Морозова, Б. М. Струнина. — М.: Мир, 1970. — 443 с.

Надійшла до редакції
09.05.2011



ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ КОРРОЗИОННОГО РАСТРЕСКИВАНИЯ ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ УЧАСТКА МАГИСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДА НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ДАННЫХ ПРОЕКТНО-ИСПОЛНИТЕЛЬНОЙ И ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

Л. И. НЫРКОВА, канд. хим. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, Киев)

На основе анализа теоретических данных о коррозионном растрескивании под напряжением (КРН) газопроводов и вероятностной локально-электрохимической теории коррозии определены основные и дополнительные факторы КРН. Разработана методика определения потенциально стресс-коррозионноопасных участков магистрального газопровода (МГ) на основе расчета вероятности возникновения КРН участка газопровода по данным проектно-исполнительной и эксплуатационной документации. Проведена апробация разработанной методики: для участка МГ «Уренгой–Помары–Ужгород» рассчитана вероятность возникновения КРН по данным проектной, исполнительной и эксплуатационной документации и показано, что в местах, где по результатам предыдущих обследований происходили аварии по причине КРН, рассчитанная вероятность возникновения КРН была «очень высокой».

The main and additional factors of stress corrosion cracking (SCC) were determined proceeding from analysis of theoretical data on SCC of gas pipelines and probabilistic local-electrochemical theory of corrosion. A procedure was developed for determination of potential stress-corrosion hazardous sections of the main gas pipeline (MP) based on calculation of the probability of SCC development in a section of gas pipeline by the data of design-fulfillment and service documentation. Validation of the developed procedure was performed as follows: SCC initiation probability was calculated for a section of MP "Urengoi-Pomary-Uzhgorod" by the data of design, fulfillment and service documentation, and it is shown that in those locations where SCC-caused accidents occurred by the results of previous examinations the obtained probability of SCC initiation was very high.

Из анализа теоретических сведений о коррозионном растрескивании под напряжением (КРН) магистральных газопроводов (МГ) и положений вероятностной локально-электрохимической теории коррозии очевидно, что для возникновения и развития КРН необходимо одновременное наличие трех факторов, принятых основными, а именно:

- коррозия трубы, т. е. наличие специфической коррозионно-активной среды, в которой происходит транспорт молекул воды, кислорода, углекислого газа к поверхности металла;
- защита трубы от коррозии (активная и пассивная), при нарушении которой происходит отслоение покрытия от поверхности трубы и образование локальных очагов коррозии;
- механические напряжения — наличие кольцевых и циклических напряжений в трубопроводах при транспортировке продукта.

Основные факторы уточняются дополнительными [1], которые входят в состав основных и могут различаться для конкретного участка трубопровода.

Для определения вероятности возникновения КРН на участке газопровода разработана модель, в основе которой лежит положение о том, что стресс-коррозионная опасность обусловлена одновременным присутствием на обследуемом участке факторов, инициирующих развитие процесса

КРН МГ. Интенсивность и эффективность влияния этих факторов на участок газопровода зависит от основных и ряда дополнительных факторов, влияющих на интенсивность основных [2].

Для каждого основного и дополнительных факторов определены состояния, которым присвоены численные показатели на основе анализа условий и факторов стресс-коррозии.

Основным показателем, определяющим интенсивность коррозии трубы является уровень грунтовых вод и наличие переменного смачивания стенки трубы на обследуемом участке МГ. Для него приняты три уровня в зависимости от стресс-коррозионной опасности: на уровне тела трубы; выше верхней образующей; ниже нижней образующей.

К участкам газопроводов с переменным смачиванием почв относят: поймы рек; русла ручьев; крайние полосы болот; формы рельефа местности (снижение, впадины, участки овражно-балочной сети); наклонные участки с уклоном более 10°.

Дополнительными факторами, влияющими на интенсивность основного, принимали следующие: тип почвы; удельное электрическое сопротивление почвы; технология производства труб, сортамент и толщина стенки трубы; срок эксплуатации МГ; расстояние обследуемого участка от компрессорной станции по ходу газа.

Основным показателем, определяющим интенсивность фактора «защита трубы от коррозии» яв-



ляется тип и конструкция защитного покрытия. Для него принимали четыре состояния в зависимости от стресс-коррозионной опасности:

- ленточные однослойные и двухслойные покрытия, нанесенные в трассовых и базовых условиях;
- резино-битумные и полимерно-битумные покрытия, нанесенные в трассовых и базовых условиях;
- полиуретановые покрытия;
- экструдированный полиэтилен, нанесенный в заводских условиях.

Наибольшее численное значение фактор имеет для ленточных однослойных и двухслойных защитных покрытий в связи с их недостаточной адгезионной и физико-механической прочностью.

Дополнительными факторами, влияющими на интенсивность основного фактора «защита трубы от коррозии», принимали следующие:

- результаты ранее проведенных обследований уровня защиты от коррозии;
- результаты внутритрубной дефектоскопии.

Основным фактором, влияющим на интенсивность механических напряжений по данным проектной, исполнительной и эксплуатационной документации является относительный уровень кольцевых напряжений, который определяется аналитически по данным проектной документации.

Для этого учитывали изменение внутреннего давления газа по трассе газопровода в зависимости от расстояния участка газопровода l_i от компрессорной станции по формуле:

$$r_{3i} = \frac{p_p(D - 2\delta)}{2\delta\sigma_b} \sqrt{1 - \eta/l_i}, \quad (1)$$

где p_p — рабочее давление в газопроводе на выходе КС, МПа; D — наружный диаметр трубы, мм; δ — толщина стенки трубы, мм; σ_b — нормативный предел прочности металла трубы, МПа; η — коэффициент, учитывающий степень расширения газа на единицу длины газопровода ($\eta = 0,0038 \text{ км}^{-1}$).

Дополнительными факторами, влияющими на интенсивность действия основного фактора «механические напряжения», принимали следующие:

- наличие сложных природно-климатических и техногенных условий (оползни, болота, овраги);
- особенности конструкции линейной части МГ.

В основу методики положена новая концепция комплексного обследования и диагностики МГ, подверженных КРН, согласно которой анализ данных проектно-исполнительной и эксплуатационной документации выполнен на базе формализации имеющихся знаний о причинах КРН, использовании современных вероятностно-статистических подходов и методов экспертной оценки [1].

Определение вероятности возникновения КРН на участке газопровода по анализу данных проектно-исполнительной и эксплуатационной документации предусматривает проведение таких организационно-технических мероприятий:

- оценка наличия стресс-коррозионных факторов на основании анализа данных проектной, исполнительной и эксплуатационной документации по разным участкам МГ;
- расчет общих показателей вероятности возникновения КРН на участке МГ;
- анализ рассчитанных общих показателей вероятности возникновения КРН и выявление участков, где вероятность является очень высокой.

Работы необходимо выполнять последовательно по этапам, согласно схеме, приведенной на рис. 1.

Вероятность потенциальной стресс-коррозионной опасности i -го участка МГ с учетом численных значений показателей основных независимых факторов r_{ji} : «коррозия трубы» r_{ji} , «защита трубы от коррозии» r_{2i} и «механические напряжения» r_{3i} вычисляли как произведение этих факторов по формуле:

$$R_i = r_{1i} r_{2i} r_{3i} = \prod_{j=1}^n r_{ji}^{(1 - \sum_{k=1}^m G_{jk})}, \quad (2)$$

где j — текущий номер одного из независимых основных факторов; n — количество независимых основных факторов ($n = 3$); G_{jk} — численные показатели дополнительных факторов, влияющих на соответствующий основной фактор на i -м участке; k — текущий номер дополнительного фактора; m — количество дополнительных факторов, влияющих на соответствующий основной фактор.

Модель, на который базируется предложенная методика, предполагает, что потенциальная стресс-коррозионная опасность i -го участка МГ будет отсутствовать, если хотя бы один из основных независимых факторов будет равен нулю. Это возможно, когда нет коррозионного воздействия окружающей среды на трубу (абсолютно сухая почва), или достигнута идеальная защита трубы от коррозии (идеальная защита трубы от окружающей среды), либо полностью отсутствуют кольцевые напряжения трубы (удаленность от компрессорной станции более 250 км).

Вероятность возникновения КРН участка МГ по данным проектной, исполнительной и эксплуатационной документации приведены в табл. 1.

Максимально возможное значение вероятности возникновения КРН на участке МГ приближается к единице, что соответствует 100 %-ой потенциальной стресс-коррозионной опасности. При уменьшении значения вероятность возникновения КРН уменьшается: если $R_i < 0,33$, то вероятность возникновения КРН обследуемого участ-

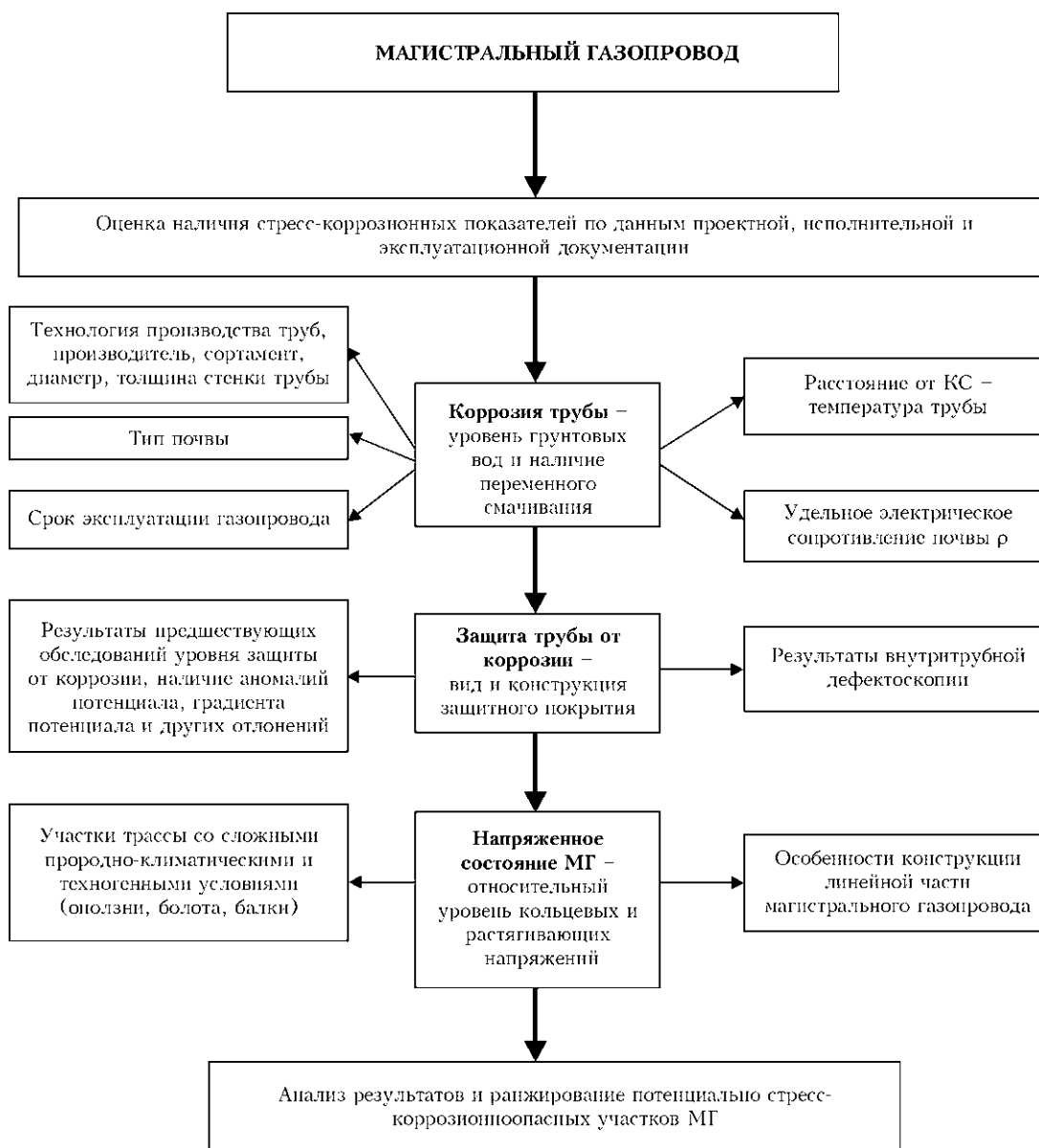


Рис. 1. Схема определения потенциально стресс-коррозионной опасности участка МГ по данным проектной, исполнительной и эксплуатационной документации

Таблица 1. Вероятность возникновения КРН участка МГ по данным проектной, исполнительной и эксплуатационной документации

Значения вероятности потенциальной стресс-коррозионной опасности участка МГ R_i	Вероятность возникновения КРН участка МГ по данным проектной, исполнительной и эксплуатационной документации
$> 0,67$	очень высокая
$0,67...0,33$	повышенная
$< 0,33$	низкая

тка «низкая», если $0,33 \leq R_i \leq 0,67$ — «повышенная» и если $R_i > 0,67$ — «очень высокая».

Для расчета вероятности возникновения КРН по каждому основному и дополнительным факторам с учетом их весовых коэффициентов, а также общей вероятности возникновения КРН на участке газопровода по данным проектной, исполнитель-

ной и эксплуатационной документации разработана компьютерная программа в редакторе Excel.

Проверку работоспособности разработанной вычислительной программы и правомерность методики проводили на основе анализа имеющихся данных проектной, исполнительной и эксплуатационной документации относительно участка МГ «Уренгой–Помары–Ужгород» протяженностью 21,6 км от компрессорной станции.

Согласно разработанной программе по формуле (2) вычисляли вероятность возникновения КРН на участке МГ как произведение основных независимых факторов с учетом их численных значений и весовых коэффициентов.

Вероятность возникновения стресс-коррозионного растрескивания участка МГ по данным проектной, исполнительной и эксплуатационной документации приведена в табл. 2, откуда видно,



что вероятность возникновения стресс-коррозионного растрескивания для участков МГ № 5 и 6 является «очень высокой»; № 1 и 4 — «повышенной»; № 2, 3 7...20 — «низкой».

Для определения границы потенциально стресс-коррозионноопасных участков строили график зависимости вероятности возникновения КРН на участке МГ от расстояния по участку газопровода от КС, который представлен на рис. 2.

Согласно имеющимся данным, по результатам ранее проведенного обследования коррозионного состояния МГ известно, что на участках № 5 и 6, где вероятность возникновения стресс-коррозионного растрескивания определена как «очень высокая» основной фактор «коррозия трубы» был представлен такими дополнительными факторами:

– уровень грунтовых вод — на уровне тела трубы;

– тип почвы — тяжелый суглинок;
– удельное электрическое сопротивление грунта $20 \leq \rho \leq 50 \text{ Ом}\cdot\text{м}$;

– технология производства труб — двухшовные трубы производства ХТЗ диаметром 1420 мм, изготовленные методом валкового формования из стали Х70 по ТУ 14-3-955–81;

– срок эксплуатации газопровода — более 20 лет;
– расстояние обследуемого участка от компрессорной станции по ходу газа — менее 5 км.

Основной фактор «защита трубы от коррозии» был представлен такими дополнительными факторами:

– тип и конструкция защитного покрытия — ленточное покрытие «Поликен 980-25» 1 слой с оберткой «Поликен 955-25» 1 слой — (1 + 1);

– результаты ранее проведенных обследований уровня защиты от коррозии — наличие отклоне-

Таблица 2. Результаты расчета вероятности потенциальной стресс-коррозионной опасности участка МГ «Уренгой–Помары–Ужгород» на основе анализа данных проектной, исполнительной и эксплуатационной документации

Основные и дополнительные факторы КРН	Значение факторов для участков МГ, где общая вероятность		
	низкая	повышенная	очень высокая
Коррозия трубы			
Уровень грунтовых вод и наличие переменного смачивания стенки трубы — на уровне тела трубы	0,80	0,80	0,80
Тип почвы — тяжелый суглинок	0,35	0,35	0,35
Удельное электрическое сопротивление почвы $20 \leq \rho \leq 50 \text{ Ом}\cdot\text{м}$	0,10	0,10	0,10
Технология производства труб, сортамент и толщина стенки трубы: двухшовные трубы производства ХТЗ диаметром 1420 мм, изготовленные методом валкового формования из стали Х70 по ТУ 14-3-955–81	0,09	0,09	0,09
Срок эксплуатации газопровода — более 20 лет	0,10	0,10	0,10
Расстояние участка МГ от КС по ходу газа: $s < 5 \text{ км}$ $5 \text{ км} \leq s \leq 25 \text{ км}$	0,10	0,15	0,15
Вероятность возникновения КРН по фактору «коррозия трубы»	0,92	0,95	0,95
Защита трубы от коррозии			
Класс и конструкция защитного покрытия — ленточное «Поликен 980-25» 1 слой с оберткой «Поликен 955-25» 1 слой (1+1)	0,40	0,40	0,40
Результаты ранее проведенных обследований уровня защиты от коррозии: наличие отклонений E , $\text{grad } E$ от нормированных значений; соответствие эффективности ЭХЗ требованиям ДСТУ 4219	–0,50	–0,50	0,50
Результаты внутритрубной дефектоскопии на участке МГ: наличие коррозионных дефектов на внешней поверхности трубы; отсутствие коррозионных дефектов	0	0,50	0,50
Вероятность возникновения КРН по фактору «защита трубы от коррозии»	0,25	0,40	1,0
Механические напряжения			
Наличие сложных природно-климатических и техногенных условий: участки МГ, расположенные на болотах; участки с опасными процессами (смещение, балкообразование)	0,50	0,50	0,50
Особенности конструкции линейной части МГ: участки МГ со стыками разнотолщинных труб, изготовленные из трубных сталей разных марок; участки МГ, на которых есть кривые вставки, утяжелители	0,20	0,20	0,50
Вероятность возникновения КРН по фактору «механические напряжения»	0,85	0,85	1,0
Вероятность возникновения КРН на участке МГ	0,20	0,33	0,95



Рис. 2. Вероятность стресс-коррозионной опасности участка МГ «Уренгой–Помары–Ужгород» на разном расстоянии от КС, рассчитанная по данным проектной, исполнительной и эксплуатационной документации

ний потенциала и градиента потенциалов относительно нормированных значений;

– результаты внутритрубной дефектоскопии на участке газопровода — наличие коррозионных дефектов на внешней поверхности.

Кроме того, на этих участках в 2003 г. была зафиксирована авария по причине КРН.

Основной фактор «механические напряжения» был представлен такими дополнительными факторами:

– наличие сложных природно-климатических и техногенных условий — участок МГ расположен на болоте;

– особенности конструкции линейной части МГ — на участке МГ имелись стыки разнотолщинных труб.

Для участков № 1 и 4, где вероятность возникновения стресс-коррозионного растрескивания была определена как «повышенная», основным фактор «коррозия трубы» был представлен такими дополнительными факторами:

– уровень грунтовых вод — на уровне тела трубы;

– тип почвы — тяжелый суглинок;

– удельное электрическое сопротивление грунта $20 \leq \rho \leq 50$ Ом·м;

– технология производства труб — двухшовные трубы производства ХТЗ диаметром 1420 мм, изготовленные методом валкового формования из стали Х70 по ТУ 14-3-955–81;

– срок эксплуатации газопровода — более 20 лет;

– расстояние обследуемого участка от компрессорной станции по ходу газа — более 5 км.

Основной фактор «защита трубы от коррозии» был представлен такими дополнительными факторами:

– тип и конструкция защитного покрова — ленточное покрытие «Поликен 980-25» 1 слой с оберткой «Поликен 955-25» 1 слой — (1 + 1);

– результаты ранее проведенных обследований уровня защиты от коррозии — соответствие эффективности электрохимической защиты требованиям ДСТУ 4219;

– результаты внутритрубной дефектоскопии на участке газопровода — отсутствие коррозионных дефектов на внешней поверхности.

Основной фактор «механические напряжения» был представлен такими дополнительными факторами:

– наличие сложных природно-климатических и техногенных условий — участок МГ расположен в овраге;

– особенности конструкции линейной части МГ — на участке МГ имел место пригруз.

Выводы

На основе анализа теоретических данных о КРН газопроводов и вероятностной локально-электрохимической теории коррозии определены основные и дополнительные факторы КРН. Показано, что интенсивность и эффективность влияния этих факторов на участок газопровода зависит от их весовых коэффициентов.

Для выявления стресс-коррозионной опасности МГ разработана модель, в основе которой лежит положение о том, что КРН обусловлено одновременным присутствием на участке трех основных факторов. Модель допускает, что потенциально стресс-коррозионная опасность i -го участка МГ будет отсутствовать, если хотя бы один из основных независимых факторов риска будет равен нулю.

Разработана методика определения потенциально стресс-коррозионноопасных участков МГ на основе расчета вероятности возникновения КРН участка газопровода по данным проектной, исполнительной и эксплуатационной документации.

Проведена апробация разработанной методики: для участка МГ «Уренгой–Помары–Ужгород» рассчитана вероятность возникновения КРН по данным проектной, исполнительной и эксплуатационной документации и показано, что в местах, где по результатам предыдущих обследований происходили аварии по причине КРН, рассчитанная вероятность возникновения КРН была «очень высокой».

1. Чвірук В. П., Поляков С. Г., Герасименко Ю. С. Електрохімічний моніторинг техногенних середовищ. — Київ: Академперіодика, 2007. — 323.
2. Инструкция по комплексному обследованию и диагностике магистральных газопроводов, подверженных коррозионному растрескиванию под напряжением / СТО Газпром 2-2.3-173–2007.

Поступила в редакцию
30.05.2011



РОЗДІЛЕННЯ НОРМАЛЬНИХ КОМПОНЕНТ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ МАГІСТРАЛЬНИХ ТРУБОПРОВОДІВ МАГНІТОАНІЗОТРОПНИМ МЕТОДОМ

С. М. МІНАКОВ, інж. (НТУУ «Київський політехнічний інститут»)

Розглянуто розділення нормальних компонент плоского напруженого стану із використанням восьмипольового перетворювача. Для цього запропоновано по черзі розташовувати вектор намагніченості вздовж напрямків головних площадок із одночасним визначенням проєкцій цього вектора на вимірювальні електромагніти. Приведено аналітичні залежності та результати експериментальної перевірки. Отримані похибки визначення нормальних компонент напружень прийнятні для використання в інженерних розрахунках.

Separation of normal components of a plane stress state using an eight-pole converter is considered. For this purpose it is proposed to sequentially place the magnetization vector along the direction of the main sites with simultaneous determination of projections of this vector on measuring electric magnets. Analytical dependencies and results of experimental verification are given. Errors of determination of normal stress components, acceptable for application in engineering calculations were determined.

Україна має розгалужену систему газо-, нафто-, продуктопроводів і є потужною транспортувальною державою. Будівництво нових магістральних трубопроводів (МТ) завдяки складним економічним умовам останні два десятиріччя майже не ведеться. Враховуючи, що термін експлуатації МТ сягає 30...55 років, проблема забезпечення їх безаварійної роботи набуває важливого значення. Однією з задач вирішення зазначеної проблеми є моніторинг напруженого стану МТ. Завдяки незначним вимогам до стану поверхні МТ (достатньо очищені від ізоляції, бітуму, великих нашарувань іржі та бруду) одним із найбільш придатних методів моніторингу напруженого стану МТ є магнітоанізотропний [1]. Однак сигнал магнітоанізотропного перетворювача у випадку оболонкової конструкції пропорційний різниці нормальних напружень. Часто організаціям, що експлуатують МТ, необхідно знати всі компоненти напружень. Існують методики визначення компонент двовісного напруженого стану [1], однак вони розраховані або на зварювальні напруження, або потребують розрахунку кільцевої компоненти, виходячи із внутрішнього тиску.

Метою роботи є розробка нового способу розділення нормальних компонент напружень для магнітоанізотропних перетворювачів за допомогою намагнічування по напрямкам головних площадок.

Відомо, що для малих полів (а саме в цих полях працюють зазначені перетворювачі) в роботі [2] одержано залежність магнітної сприйнятливості χ від напружень:

$$\chi(\sigma) = \chi(0) + k_1\sigma + k_2\sigma^2, \quad (1)$$

де $\chi(\sigma)$ — початкова магнітна сприйнятливість при дії напружень паралельно напрямку зміни χ ; $\chi(0)$ — те саме при відсутності напружень;

$$k_1 = \frac{c_1}{\lambda_s \sigma_{ib}}; \quad k_2 = \frac{c_2}{(\lambda_s \sigma_{ib})^2}; \quad c_1, c_2 — \text{деякі коефіцієнти,}$$

що залежать від магнітної текстури; σ_{ib} — внутрішні напруження.

Для поперечного ефекту в роботі [3] одержана формула:

$$\chi_{\perp}(\sigma) = \chi(0) - k_1\sigma - k_2\sigma^2. \quad (2)$$

Тоді при намагнічуванні по напрямках головних напружень (рис. 1) відповідно до виразів (1) і (2) можемо записати:

$$\chi_1 = \chi_1(0) + k_1(\sigma_1 - \sigma_2) - k_2(\sigma_1^2 + \sigma_2^2), \quad (3)$$

$$\chi_2 = \chi_2(0) - k_1(\sigma_1 - \sigma_2) - k_2(\sigma_1^2 + \sigma_2^2). \quad (4)$$

Звідси сума магнітних сприйнятливостей уздовж головних напрямків буде:

$$\chi_1 + \chi_2 = \chi_1(0) + \chi_2(0) - 2k_2(\sigma_1^2 + \sigma_2^2). \quad (5)$$

Визначивши $\chi_1(0)$ та $\chi_2(0)$ на еталонному зразку і віднявши ці значення, одержимо:

$$\Delta(\chi_1 + \chi_2) = 2k_2(\sigma_1^2 + \sigma_2^2). \quad (6)$$

Тоді, знаючи різницю нормальних компонентів [1]:

$$\sigma_1 - \sigma_2 = \frac{A}{T} \sqrt{1 + 3\cos^2\varphi}, \quad (7)$$

одержимо систему двох рівнянь з двома невідомими. Ця система має два варіанта рішення (з огляду на квадрати σ_1 і σ_2):

- 1) $\sigma_1(1), \sigma_2(1);$
- 2) $\sigma_1(2), \sigma_2(2);$

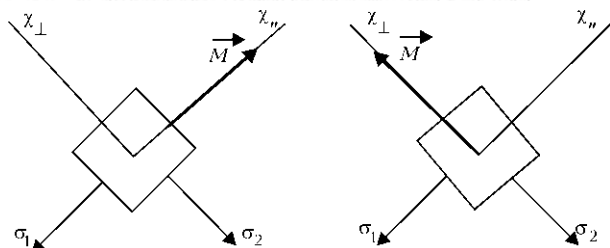


Рис. 1. Намагнічування вздовж головних площадок

Для вибору варіанта необхідно мати додаткову залежність, наприклад, нею може бути спрощене рішення.

В роботі [4] автор, розглядаючи магнітопружні силовимірники, оперував магнітопружною чутливістю як похідною магнітної індукції B до величини пружних напружень σ :

$$S_B = \frac{\partial B}{\partial \sigma} \quad (8)$$

і підтвердив залежність сигналу на вимірювальній обмотці по осі x_2 від дотичних напружень (рис. 2):

$$\Delta B_2 = \frac{1}{2} S_{\tau} \sigma \quad (9)$$

та на обмотці намагнічування по осі x_3 від суми нормальних напружень

$$\Delta B_3 = \frac{1}{2} (S_{\parallel} + S_{\perp}) \sigma. \quad (10)$$

Відношення $S_{\perp}$ до $S_{\parallel}$ характеризує відношення поперечного магнітопружного ефекту до подовжнього при лінійному розтягуванні та стисканні, що є (за аналогією з коефіцієнтом Пуассона) величиною квазісталою у лінійно-пружній області досліджуваного металу.

Тоді при розташуванні по черзі котушки x_3 , що намагнічує в напрямку σ_1 і σ_2 , та приймаючи до уваги, що $S_{\perp}$ має знак, протилежний знаку $S_{\parallel}$, отримаємо:

$$\begin{aligned} \Delta B \sigma_1 &= \sigma_1 S_{\parallel} - \sigma_2 S_{\perp}, \\ \Delta B \sigma_2 &= \sigma_2 S_{\parallel} - \sigma_1 S_{\perp}. \end{aligned} \quad (11)$$

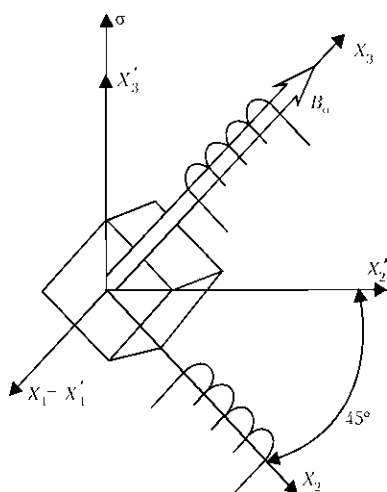


Рис. 2. Схема магнітопружного силовимірника

Визначивши на зразках $S_{\parallel}$ та $S_{\perp}$, отримаємо варіант 3 $\sigma_1(3)$; $\sigma_2(3)$.

Тепер можна вибрати з варіантів 1 чи 2 той, котрий найбільш близький до варіанта 3.

Конструкція восьмиполюсних перетворювачів [5] (рис. 3) дозволяє використовувати два електромагніти (П-подібні магнітопроводи з обмотками) для обертання вектора намагніченості. Сумарний вектор $\vec{H}$ визначається сумою векторів напруженості магнітного поля першого $\vec{H}_1$ та другого $\vec{H}_2$ електромагнітів). У такий спосіб $\vec{H} = \vec{H}_1 + \vec{H}_2$, відкля впливає, що змінюючи величини $\vec{H}_1$ і $\vec{H}_2$ можна змінювати напрямок $\vec{H}$ і розташовувати останній за напрямками головних площадок. На них напрямки вектора намагніченості $\vec{M}$ буде збігатися з напрямком вектора напруженості $\vec{H}$. На двох П-подібних електромагнітах, що залишилися, будемо одержувати проекції вектора намагніченості $\vec{M}$.

Розглянемо практичну реалізацію цього підходу (рис. 4). Нехай H_1 та H_2 — полюси електромагнітів, що намагнічують, а I_1 та I_2 — полюси вимірювальних. Тоді намагнічуємо уздовж σ_1 шляхом додавання векторів $\vec{H}_1$ і $\vec{H}_2$. Під дією механічних напружень величина вектора намагніченості $\vec{M}$ змінюється і він набуває розмір $\vec{M}_1$. Проекція $\vec{M}$ на вимірювальний електромагніт I_2 — $\vec{m}_1$ наводить вимірюваний сигнал n_2' . При намагнічуванні уздовж σ_2 $\vec{M}$ змінюється і набуває розміру $\vec{M}_2$. Проекції цього вектора на вимірювальний електромагніт I_2 — $\vec{m}_2$ наводить сигнал n_2'' :

$$|\vec{m}_1| = n_2'; |\vec{m}_2| = n_2''. \quad (12)$$

З огляду на відомий кут головних напрямків $a_{\text{гол}}$ одержимо:

$$M_1 = n_2' / \cos \alpha_{\text{гол}}; M_2 = n_2'' / \cos (90^\circ - \alpha_{\text{гол}}), \quad (13)$$

звідки

$$\Delta \chi_1 = M_1 - M_1(0) = (n_2' - n_2'(0)) / \cos \alpha_{\text{гол}}, \quad (14)$$

$$\Delta \chi_2 = M_2 - M_2(0) = (n_2'' - n_2''(0)) / \cos (90^\circ - \alpha_{\text{гол}}),$$

де $M_1(0)$ і $M_2(0)$ — величини початкових векторів намагніченості по напрямках σ_1 і σ_2 при відсутності механічних напружень; n_2'' — сигнал елек-

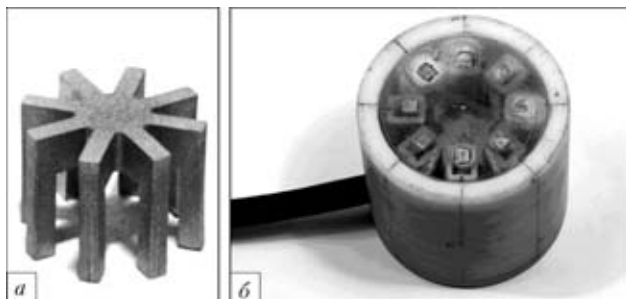


Рис. 3. Складений восьмиполісний перетворювач: а — магнітопровід; б — перетворювач



Таблиця 1. Експериментальні дані градування перетворювача при намагнічуванні вздовж головних площадок

σ_1 , МПа	n_2' , мВ	s_2 , МПа	n_2'' , мВ
0	1013	0	1996
0	1013	-10,5	1991
4,2	1014	-10,5	1979
4,2	1019	-14,7	1976
12,6	1019	-14,7	1959
12,6	1024	-25,2	1956
18,9	1026	-25,2	1948
18,9	1030	-33,6	1944
25,2	1032	-33,6	1932
25,2	1037	-39,9	1927
31,5	1039	-39,9	1912
31,5	1045	-46,2	1910
37,8	1047	-46,2	1899
37,8	1053	-54,6	1896
44,1	1055	-54,6	1886
44,1	1061	-63	1878
50,4	1063	-63	1878

Таблиця 2. Дані суми квадратів головних напружень

σ_1 , МПа	σ_2 , МПа	$\sigma_1^2 + \sigma_2^2$, МПа		Похибка, %
		за даними деформометра	за розрахунком	
0	-10,5	110	120	-8
4,2	-10,5	128	203	-37
4,2	-14,7	234	331	-29
12,6	-14,7	375	518	-28
12,6	-25,2	794	980	-19
18,9	-25,2	992	1176	-16
18,9	-33,6	1486	1614	-8
25,2	-33,6	1764	1911	-8
25,2	-39,9	2227	2661	-16
31,5	-39,9	2584	2831	-9
31,5	-46,2	3127	3431	-9
37,8	-46,2	3563	3805	-6
37,8	-54,6	4410	4730	-7
44,1	-54,6	4926	5082	-3
44,1	-63	5914	5604	6
50,4	-63	6509	5714	14

Таблиця 3. Дані визначення головних напружень для спрощеного рішення

Експеримент				Розрахунок			
σ_1 , МПа	σ_2 , МПа	$B_{\sigma_1}^i$, мВ	$B_{\sigma_2}^i$, мВ	σ_1 , МПа	похибка, %	σ_2 , МПа	похибка, %
0	0	2666	2170	-	-	-	-
0	-10,5	2673	2162	2,1	-	-7,9	25
4,2	-10,5	2677	2159	5,1	-21	-6,5	38
4,2	-14,7	2682	2150	2,8	34	-12,1	18
12,6	-14,7	2692	2142	9,7	23	-11,5	22
12,6	-25,2	2699	2133	10,6	16	-19,4	23
18,9	-25,2	2708	2125	10,6	16	-20,6	18
18,9	-33,6	2715	2115	15,7	17	-28,5	15
25,2	-33,6	2722	2110	21,2	16	-27,5	18
25,2	-39,9	2731	2098	21,9	13	-37,6	6
31,5	-39,9	2731	2096	27,7	12	-34,4	14
31,5	-46,2	2751	2076	28,9	8	-51,3	-11
37,8	-46,2	2751	2073	33,5	11	-48,0	-4
37,8	-54,6	2767	2064	40,9	-8	-60,4	-11
44,1	-54,6	2774	2055	41,8	5	-59,4	-9
44,1	-63	2783	2047	47,1	-7	-69,5	-10
50,4	-63	2789	2044	53,3	-6	-67,4	-7

тромагніта H_2 при відсутності механічних напружень.

Тоді, підставивши вирази (14) у формулу (5), одержимо:

$$2k_2(\sigma_1^2 + \sigma_2^2) = (n_2' - n_2'(0))/\cos\alpha_{\text{гол}} + (n_2'' - n_2''(0))/\cos(90^\circ - \alpha_{\text{гол}}). \quad (15)$$

Аналогічно одержимо вираз для спрощеного рішення:

$$\Delta B_{\sigma_1} = (n_2' - n_2'(0))/\cos\alpha_{\text{гол}}, \quad (16)$$

$$\Delta B_{\sigma_2} = (n_2'' - n_2''(0))/\cos(90^\circ - \alpha_{\text{гол}}).$$

Для перевірки зазначених вище підходів використовували дослідну установку для дослідження способу визначення нормальних компонент шляхом намагнічування за напрямками головних площадок (рис. 5). Для досліджень використовували хрестоподібний зразок сталі 09Г2С із навантажен-

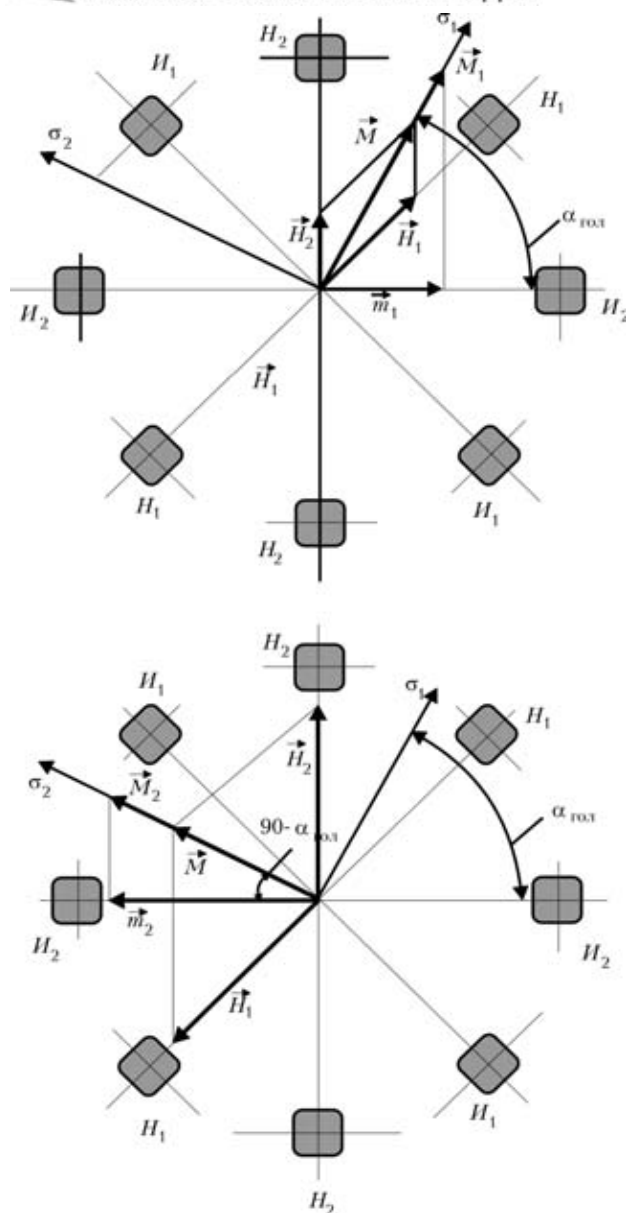


Рис. 4. Сигнали восьмипольного перетворювача при намагнічуванні вздовж напрямків головних площадок

ням останнього за допомогою згинаючих моментів (рис. 6).

Для цього встановлювали перетворювач у центр хрестоподібного зразка так, щоб електромагніти H_1 та H_2 були розташовані симетрично відносно одного плеча зразка, а відповідно електромагніти I_1 та I_2 — симетрично відносно іншого ($\alpha_{гол} = 22,5^\circ$). Навантажували плечі зразка, створюючи згинальні навантаження. Так як плечі хрестоподібного зразка не затиснуті, то навантаження одного плеча не викликає зміну напружень у іншому плечі. Тобто напрямками головних площадок є напрями плечей. Навантаження проводили із створенням в одному плечі розтягу, а в іншому стиснення. На електромагніти намагнічування H_1 та H_2 подавали напругу 5,3 В частотою 1 кГц, що, відповідно до правила складання векторів, створювало сумарний вектор намагнічування,

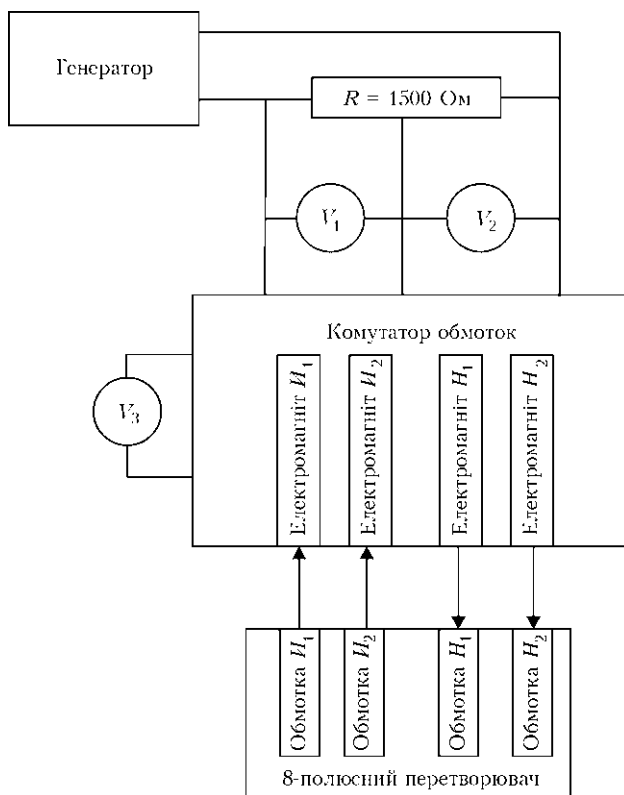


Рис. 5. Дослідна установка для дослідження способу визначення нормальних компонент шляхом намагнічування за напрямом головних площадок: V_1 , V_2 — вольтметри для контролю рівня напруг на обмотках (H_1 та H_2) перетворювача; V_3 — мілівольтметр для визначення сигналів з обмоток перетворювача (обмотки I_1 та I_2)

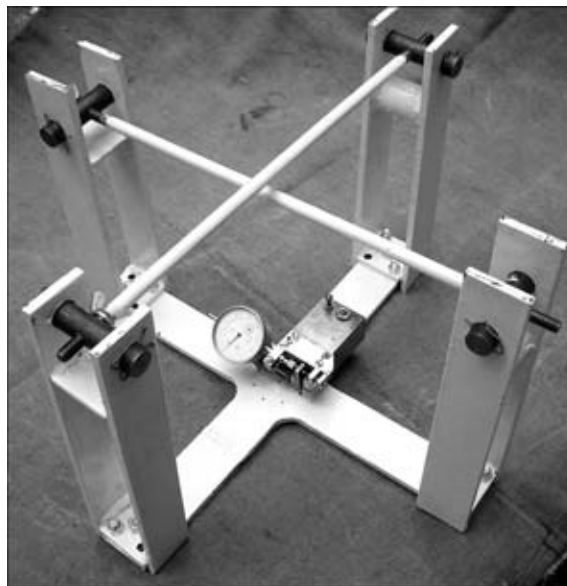


Рис. 6. Установка для навантаження хрестоподібного зразка за допомогою згинаючих моментів

еквівалентний подаванню на один електромагніт напруги 9,7 В. Обертання вектора намагнічування з одного плеча зразка до іншого створювали за допомогою зміни фази сигналу в електромагніті H_1 на протифазу шляхом перекомутації початку та кінця обмотки H_1 , а для досягнення необхідного сумарного вектора намагнічування подавали на



електромагніти напругу 12,4 В. Визначення показів перетворювача проводили на обмотках I_1 та I_2 за допомогою мілівольтметра.

Визначення напружень у хрестоподібному зразку проводили тензометричним методом за допомогою механічного деформометра із базою вимірювань 50 мм та ціною поділки 0,001 мм. Визначали переміщення отворів баз у центрі перехрестя зразка. Переміщення, що були отримані, перераховували у деформації та напруження за відомими співвідношеннями теорії пружності.

Градування перетворювача з метою визначення S_{II} , $S_{\perp}$ проводили на одноосному, а $2k_2$ — на двовісному навантаженні. Шляхом усереднення даних отримали: $S_{II} = 1,25$ МПа/мВ, $S_{\perp} = 0,89$ МПа/мВ, $2k_2 = 0,0454$ мВ/МПа.

Експериментальні дані градування перетворювача наведені у табл. 1.

Для перевірки формули (15) розраховували суму квадратів головних напружень за показаннями деформометра та перетворювача (табл. 2).

Для перевірки спрощеного рішення визначали ΔB_{σ_1} та ΔB_{σ_2} за показаннями перетворювача при створенні у хрестоподібному зразку в одному плечі розтягу, а у другому — стиснення.

При цьому

$$\Delta B_{\sigma_1}^i = B_{\sigma_1}^i - B_{\sigma_1}^0, \quad \Delta B_{\sigma_2}^i = B_{\sigma_2}^i - B_{\sigma_2}^0, \quad (17)$$

де $B_{\sigma_1}^0$, $B_{\sigma_2}^0$ — відповідні показання перетворювача на ненавантаженому зразку; $B_{\sigma_1}^i$ та $B_{\sigma_2}^i$ — на навантаженому зразку при i -му навантаженні.

Далі розраховували напруження по формулі (16) (табл. 3).

Аналіз табл. 2 та 3 показує збільшення похибки при малих напруженнях та зменшення похибки при збільшенні напружень. Величина похибки 18...5 % є прийнятною для використання в інженерних розрахунках у промислових умовах.

Висновок

Розділення нормальних компонент напруженого стану МТ магнітоанізотропним методом може бути реалізоване за допомогою визначення положення головних площадок, почергового обертання вектора намагнічування по напрямкам головних

площадок та розрахунків компонент нормальних напружень по отриманим залежностям.

Одним из важных параметров диагностики магистральных трубопроводов является их напряженное состояние. Часто организациям, эксплуатирующим данные трубопроводы, необходимо знать обе нормальные компоненты плоского напряженного состояния. Статья посвящена разделению нормальных компонент напряженного состояния магистральных трубопроводов магнитоанізотропным методом с использованием восьмиполосного преобразователя. Для этого предлагается поочередно располагать вектор намагниченности по направлениям главных площадок с одновременным измерением проекций указанного вектора на измерительные электромагниты. Это дает возможность определить сумму квадратов нормальных компонент напряжений, что в сочетании с известной разностью позволяет разделить указанные компоненты. Принимая во внимание, что сигнал намагничивающей обмотки пропорционален сумме напряжений, предложен также упрощенный вариант разделения компонент напряжений. Приведены аналитические зависимости и результаты их экспериментальной проверки. Полученные погрешности определения нормальных компонент плоского напряженного состояния приемлемы для использования в инженерных расчетах.

1. Особенности измерения механических напряжений электромагнитным методом в трубопроводах и сосудах давления газового и нефтяного комплекса / А. Я. Недосека, С. К. Фомичев, С. Н. Минаков и др. // Техн. диагностика и неразруш. контроль. — 1996. — № 1. — С. 55–66.
2. Вонсовский С. В., Шур Я. С. Ферромагнетизм. — М.-Л.: Гостехиздат, 1948. — 816 с.
3. Еришов Р. Е., Шель М. М. К вопросу измерения напряжений магнитоупругим методом // Завод. лаб. — 1965. — № 7.
4. Михайлов О. П. Тензор чувствительности магнитоупругих преобразователей // Электричество. — 1979. — № 9. — С. 25–30.
5. Новый магнитоанізотропный преобразователь для определения интенсивности напряжений в изделиях из ферромагнитных материалов / А. Я. Недосека, С. К. Фомичев, С. Н. Минаков и др. // Техн. диагностика и неразруш. контроль. — 1996. — № 3. — С. 71–74.

Надійшла до редакції
05.07.2011



НОВЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ПОЛЯ — НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ЭХО-АМПЛИТУДНОЙ ДЕФЕКТОМЕТРИИ*

В. Ф. ДАВИДЕНКО (г. Киев)

Рассмотрено акустическое поле эхо-канала дефектоскопа, используемое в качестве измерительного инструмента для ультразвуковой эхо-амплитудной дефектометрии (УЭА), главным свойством которого является чувствительность поля (ЧП) в виде $B = \partial q / \partial v$ и три рода производных от нее по каждому из трёх независимых универсальных переменных поля (q, u, v), т.е. $B_1 = \partial B / \partial u$, $B_2 = \partial B / \partial v$, $B_3 = \partial B / \partial q$. Для каждого рода ЧП выделены их максимумы и определены: 1) положение временного окна (строба) для выделения полезных эхо-сигналов от эквивалентных отражателей; 2) точность измерения амплитуды эхо-сигналов для обеспечения требуемой точности УЭА и 3) момент считывания полезных эхо-сигналов в процессе ручного сканирования ОК.

Considered is the acoustic field of flaw detector echo-channel, used as the measurement tool for ultrasonic echo-amplitude flaw detection (UEA), the main property of which is field sensitivity (FS) in the form of $B = \partial q / \partial v$ and three kinds of its derivatives by each of the three independent universal variables of the field (q, u, v) [2], where $B_1 = \partial B / \partial u$, $B_2 = \partial B / \partial v$, $B_3 = \partial B / \partial q$. For each kind of FS their maximums were established and determined: 1) position of variable window (strobe) for pickup of useful echo-signals from equivalent reflectors), 2) accuracy of measurement of echo-signal amplitude to ensure the required accuracy of UEA and 3) moment of reading useful echo-signals during manual scanning of the object of control.

Современное понятие о чувствительности УЗ контроля [1] относится не к полю эхо-канала, о чем речь пойдет ниже, а к различным чувствительным элементам УЗ дефектоскопа — пьезоэлементу, усилителю эхо-сигналов, генератору зондирующих импульсов и даже к методам контроля в целом. При этом величина чувствительности оценивается неоднозначно: минимальными размерами реальных или эквивалентных отражателей, которые могут быть обнаружены при заданных или предельных настройках дефектоскопов, максимальными глубинами залегания отражателей известной величины в материалах с известными свойствами или отношением минимальной регистрируемой амплитуды эхо-сигнала к амплитуде зондирующего импульса. Такие представления о чувствительности не могут быть полезными для решения задач ультразвуковой эхо-амплитудной (УЭА) дефектометрии, так как не имеют четко установленной зависимости от параметров поля эхо-канала.

Если обратиться к известному источнику, регламентирующему использование термина «чувствительность» (ДСТУ 2681–94) как чувствительность средств контроля, к которым относятся средства и методы измерения (контроля), то необходимо сделать два замечания:

– автор статьи исходит из предположения о том, что поле эхо-канала, являясь своеобразным инструментом измерения размеров эквива-

лентных отражателей, отличается особой пространственной структурой, которая проявляется с помощью такого показателя как чувствительность поля (ЧП), обусловленная законами изменения двух независимых параметров эхо-сигналов — максимальной амплитуды и задержки. С помощью выявления взаимосвязей между независимыми параметрами эхо-сигнала и структурой поля решается задача измерения его размеров (поперечного сечения поля) при наивысшей чувствительности. При этом измеренное поперечное сечение поля как раз и соответствует понятию эквивалентного размера отражателя;

– введенная в ДСТУ 2681–94 мера оценки чувствительности как отношения изменения выходной величины к изменению входной величины, обуславливающей это изменение, автор принимает, но с дополнением о пределе малости входного изменения, соответствующем частной производной от функции выхода измерительной системы по входной переменной.

Поле эхо-канала (акустическое импульсное поле в среде с/без затухания звука, ограниченное по дальности параллельными излучателем-приемником и эквивалентным идеальным отражателем), представляемое как инструмент измерения (контроля), получено в работе [2] в виде энергетических уравнений в двух средах:

$$\begin{aligned} &\text{без затухания звука:} \\ &p = x[1 - \exp(-y^2/x^2)]; \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} &\text{с затуханием звука:} \\ &q = 2i \exp(1 - 2u)[1 - \exp(-v^2/u^2)], \end{aligned} \quad (2)$$

* Статья публикуется в порядке обсуждения



где введены две группы по три универсальных безразмерных переменных:

в идеальной среде: (3)

$p = P/Q$ — базовая относительная амплитуда эхо-сигнала;

$x = r\lambda/d^2$ — относительная дальность эквивалентного отражателя;

$y = \sqrt{S}/d$ — относительный размер эквивалентного отражателя;

в реальной среде: (4)

$q = ngr$ — базовая относительная амплитуда эхо-сигнала;

$u = ngx = \delta r$ — базовая относительная дальность эквивалентного отражателя;

$v = ngy = \delta\sqrt{nS}$ — масштабный размер эквивалентного отражателя.

Три переменных в разных средах связаны единым масштабным коэффициентом ng , где $n = d^2/\lambda^2$ — диапазон активной площади пьезопластины; $g = \lambda\delta$ — удельное затухание звука на длине одной волны; P — амплитуда эхо-сигнала; Q — амплитуда базового опорного эхо-сигнала; d — диаметр пьезопластины, мм; λ — длина волны УЗ колебаний, мм; r — дальность эквивалентного отражателя, мм; δ — коэффициент затухания звука, 1/мм; S — площадь эквивалентного отражателя, мм².

Исходя из приведенного выше второго замечания к ДСТУ 2681–94, автор вводит новое понятие «чувствительность УЗ поля эхо-канала», определив его как частную производную от функции базовой относительной амплитуды эхо-сигнала по масштабному переменному размеру эквивалентного отражателя следующим образом:

чувствительность поля (ЧП) в идеальной среде:

$$\partial p/\partial y = B_{\text{и}} = 2(y/x)\exp(-y^2/x^2); \quad (5)$$

ЧП в реальной среде:

$$\partial q/\partial v = B_{\text{р}} = 4(v/u)\exp(1 - 2u - v^2/u^2). \quad (6)$$

Символами B_1 , B_2 , B_3 обозначим роды ЧП, которые могут быть различными в зависимости от поставленных условий их определения. Главными свойствами ЧП являются их максимумы, которые достигаются способами оптимизации:

максимум ЧП 1-го рода B_1 — $B_{1\text{max}}$ — за счет выбора оптимальной дальности u_{opt} для эквивалентного отражателя фиксированного размера v ;

максимум ЧП 2-го рода B_2 — $B_{2\text{max}}$ — за счет выбора оптимального размера v_{opt} эквивалентного отражателя на фиксированной дальности u ;

максимум ЧП 3-го рода B_3 — $B_{3\text{max}}$ — за счет выбора оптимальной комплексной базовой амплитуды эхо-сигнала q_{opt} на реальной дальности отражателя u .

Аргументация в пользу нового понятия ЧП усиливается тем, что она как бы автоматически адаптируется к переменным условиям УЭА де-

фектометрии, в то время как существующая пороговая чувствительность, хранимая через настройки всех параметров контроля, должна быть строго постоянной для обеспечения требуемой достоверности результатов контроля. Однако на практике невозможно сохранять постоянными такие динамические параметры, как акустический контакт или дальность отражателя при отсутствии временной регулировки чувствительности. С помощью ЧП поля эхо-канала обосновывается выбор главных параметров контроля: ширины временного окна (строба), дискретности измерения амплитуды эхо-сигналов и момента снятия показаний при ручном сканировании объекта контроля.

Далее проведена разработка методических указаний по выбору оптимальных параметров настройки УЭА дефектометрии на максимальную точность измерений размеров эквивалентных отражателей в реальных средах на основе максимальных значений ЧП всех родов, определяющих новые методы измерений (контроля), которые углубляют и усовершенствуют основной метод УЭА дефектометрии.

Методика расчета оптимальных временных окон (стробов) для измерения заданных размеров эквивалентных отражателей с максимальной ЧП. $B_{1\text{max}}$ определяется из условия:

$$\partial B_1/\partial u = 4(v/u^2)(2v^2/u^2 - 2u - 1) \times \times \exp(1 - 2u - v^2/u^2) = 0.$$

После подстановки $z = v/u$ и исключения членов, не превращающихся в 0, получено уравнение:

$$z^3 - 0,5z - v = 0, \quad (7)$$

имеющее действительный корень z_0 :

$$z_0 = 0,8 \{ [v + (v^2 - 1/54)^{1/2}]^{1/3} + [v - (v^2 - 1/54)^{1/2}]^{1/3} \}.$$

Из этого уравнения для заданных размеров эквивалентных отражателей v могут быть найдены оптимальные базовые относительные дальности по формуле $u_0 = v/z_0$.

Положения максимумов ЧП 1-го рода для соответствующих оптимальных базовых относительных дальностей и заданных размеров эквивалентных отражателей показано на рис. 1.

Эффективность использования оптимальных временных окон (стробов) для выделения эхо-сигналов от эквивалентных отражателей заданного размера иллюстрируется графическим изображением энергетической структуры поля в реальной среде на рис. 2, где пунктирной кривой изображена граница перехода выпуклостей поля в вогнутости (перегибы) или максимумов градиентов изменения амплитуды. Обычно применяемые окна для выделения эхо-сигналов по максимумам амплитуды находятся значительно ближе (в среднем почти в два раза) к преобразователю, чем ок-

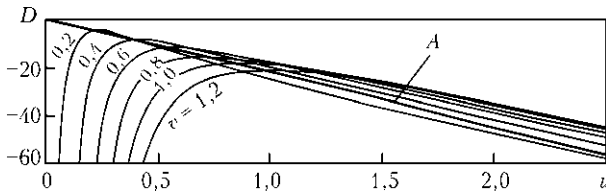


Рис. 1. Зависимость ЧП 1-го рода от масштабных размеров эквивалентных отражателей на разных базовых относительных дальностях

на, обеспечивающие максимумы ЧП 1-го рода или наибольшую точность дефектотрии.

Оптимальная величина u_0 не может быть выражена простой формулой, что затрудняет ее практическое использование. Однако можно получить не прямое решение задачи, определив масштабный размер эквивалентного отражателя из уравнения (7), т. е. $v = z^3 - 0,5z$. После подстановки $z = v/u_0$ получаем не прямое уравнение:

$$v = u_0 \sqrt{u_0 + 0,5}, \quad (8)$$

которое после подстановки физических значений вместо универсальных безразмерных запишем в виде:

$$\sqrt{n} S = r_{\text{opt}} \sqrt{\delta r_{\text{opt}} + 0,5}, \quad (9)$$

где выражение $\sqrt{n} S$ названо *обобщенным размером эквивалентного отражателя*.

Практическое использование полученного результата удобно в виде номограммы, представленной на рис. 3.

Номограмма оптимальных дальностей связывает между собой пять физических величин поля эхо-канала (диаметр преобразователя d , длину волны λ , площадь эквивалентного отражателя в виде плоскостного отверстия S , коэффициент затухания звука в ОК δ , оптимальное расстояние отражателя r_{opt}) условием, обеспечивающим максимум ЧП 1-го рода. Эта номограмма может найти более широкое применение, если найти способ определения величины $B_{1\text{max}}$.

Для этого в формулу (6) для ЧП следует подставить условие (8), обеспечивающее максимум ЧП 1-го рода:

$$B_{1\text{max}} = 6,6 \exp(-3u_0) \sqrt{u_0 + 0,5}. \quad (10)$$

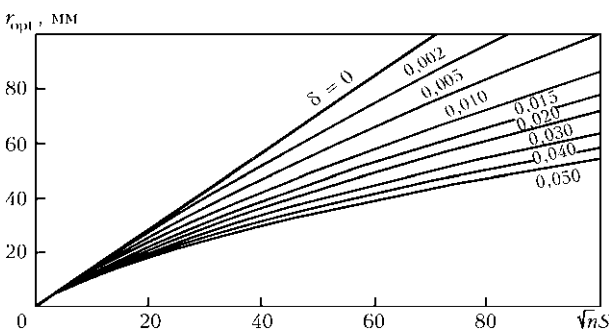


Рис. 3. Оптимальные дальности отражателей, соответствующие максимумам ЧП 1-го рода в зависимости от затухания звука в ОК

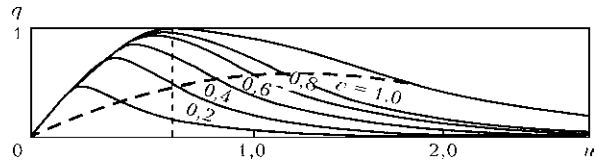


Рис. 2. Энергетическое поле эхо-преобразователя в реальной среде

Полученное уравнение в логарифмическом виде изображено линией A на рис. 1. Она имеет незначительную выпуклость и снижается с градиентом

$$\partial B_{1\text{max}} / \partial u_0 = -(6u_0 + 2) / (2u_0 + 1). \quad (11)$$

На средних, обычных для УЗК, дальностях эквивалентных отражателей, например, для $u_0 = 0,8, \dots, 1,2$, градиент уменьшения максимумов 1-го рода ЧП составляет $-23 \dots -24$ дБ на базовую (единичную) дальность $\Delta L = 1/\delta$.

Существует возможность экспериментального определения коэффициента затухания звука в материалах при помощи прибора с программным управлением по следующей методике.

Если выполнить с помощью программного управления измерение ЧП 1-го рода по формуле:

$$B_1 = 10,87 (\sqrt{S} n / r) \exp(-\delta r - nS/r^2), \quad (12)$$

то, перебирая значения δ при разных дальностях r и неизменных других параметрах эксперимента n, S , можно получить такое значение δ , при котором вертикальная прямая $\sqrt{n} S = \text{const}$ и горизонтальная прямая $r = r_{\text{opt}}$ пересекутся с наклонной кривой δ , имеющей такое же номинальное значение на приведенной номограмме.

Эту методику можно считать универсальной для любой триады «прибор–преобразователь–объект контроля».

При помощи ЧП 1-го рода можно определять ширину временного окна (строба) для выделения эхо-сигналов, необходимых для измерения размеров эквивалентных отражателей в заданном диапазоне размеров с достаточной точностью при отклонении чувствительности от максимума не более чем на заданную величину $\alpha, \%$.

Для этого уравнение (6) для ЧП 1-го рода приравнивается к заданному уровню чувствительности через привязку к максимуму, уменьшенную на величину $(1 - \alpha)$, т. е.

$$(v/u) \exp(-2u - v^2/u^2) = (1 - \alpha) \sqrt{u_0 + 0,5} \exp(-3u_0).$$

После подстановки условия максимума для $B_{1\text{max}}$ $v = u_0 \sqrt{u_0 + 0,5}$ начальное уравнение упрощается:

$$(u_0/u) \exp[-2u - (u_0/u)^2(u_0 + 0,5) - 3u_0] = 1 - \alpha. \quad (13)$$

Подстановка численных значений оптимальных дальностей u_0 , связанных с задаваемыми ве-



личинами масштабных размеров эквивалентных отражателей, еще более упрощает уравнение (13), которое решается графоаналитическим методом и представлено на рис. 4. Крайними пунктирными линиями показаны границы стробов для разных эквивалентных размеров дефектов в зависимости от параметра $z_0 = v/u_0$.

Методика расчета необходимой и достаточной дискретности измерения амплитуды эхосигналов, влияющей на точность измерения размеров эквивалентных отражателей. Для решения поставленной задачи необходимо найти максимум ЧП 2-го рода, который определяется дифференцированием ЧП по масштабному размеру эквивалентного отражателя:

$$B_2 = \partial B / \partial v = (4/u)(1 - 2v^2/u^2) \exp(1 - 2u - v^2/u^2) = 0. \quad (14)$$

Отсюда оптимальное значение v_{opt} будет:

$$v_{\text{opt}} = u/\sqrt{2}. \quad (15)$$

После подстановки этого условия в формулу для ЧП (6) определяется максимум ЧП 2-го рода:

$$B_{2\text{max}} = 4,67e^{-2u}. \quad (16)$$

Далее запишем уравнение, выражающее изменения ЧП 2-го рода от изменений размеров эквивалентных отражателей, находящихся на фик-

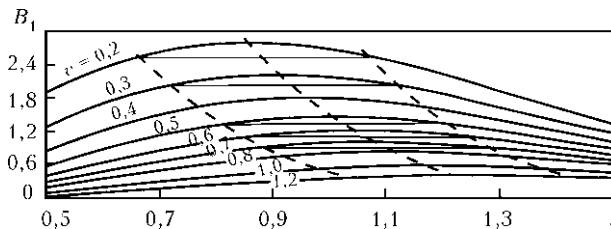


Рис. 4. Зависимость ширины и положения строба для выделения полезных эхо-сигналов для УЭА дефектометрии с заданной точностью

Таблица 1. Единые относительные кванты в зависимости от дискретности шкалы амплитуд, дБ

ΔD (дБ)	0,1	0,2	0,25	0,5
Δq	0,9886	0,9772	0,9716	0,9441

Таблица 2. Численное распределение уровней ЧП 2-го рода около их максимальных значений по линии оптимума $v_{\text{opt}} = 0,707u$

v	u									
	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	
0,1	0,389	0,298								
0,2	0,368	0,427	0,389	0,341						
0,3		0,368	0,427	0,419	0,389	0,357				
0,4			0,368	0,422	0,427	0,412	0,389	0,365	0,341	
0,5				0,368	0,416	0,429	0,423	0,408	0,389	
0,6					0,368	0,411	0,427	0,427	0,419	
0,7						0,368	0,407	0,425	0,429	
0,8							0,368	0,403	0,422	
0,9								0,368	0,400	
1,0									0,368	

сированных дальностях, в виде кривых в логарифмическом масштабе, которые касаются наклонной прямой $B_{2\text{max}}$, изображенной линией A на рис. 5:

$$4(v/u) \exp(1 - 2u - v^2/u^2) = 4,67 \exp(-2u), \quad (17)$$

где u — фиксированные значения.

Главная идея расчета погрешностей измерения размеров эквивалентных отражателей заключается в определении ширины сечения огибающей ЧП 2-го рода на уровне ниже ее максимума на единый относительный квант Δq (рис. 6), который пересчитывается в дискретную величину ΔD , являющуюся шагом равномерной шкалы амплитуд в отрицательных децибелах [3], следующей зависимостью:

$$-\Delta D = 8,686 \ln(\Delta q) \text{ дБ/пиксель или } \Delta q = 1,122^{-\Delta D}, \quad (18)$$

так как $\ln(\Delta q) = -\Delta D \ln 1,122 = -\Delta D/8,686$.

При этом подразумевается, что все величины, связанные с энергетикой или амплитудой эхосиг-

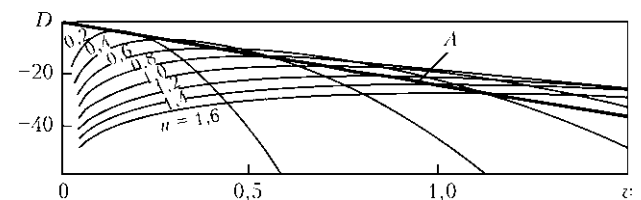


Рис. 5. Зависимость ЧП 2-го рода от масштабного размера эквивалентного отражателя на фиксированных базовых относительных дальностях

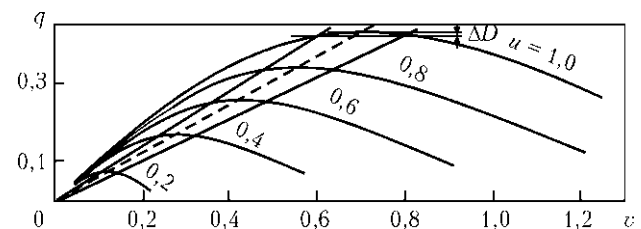


Рис. 6. Графо-аналитический анализ точности измерения масштабного размера эквивалентного отражателя



Таблица 3. Измерение величины эквивалентного отражателя на дальности $u = 0,4$

ν	B_2
0,22	0,406
0,23	0,413
0,24	0,419
0,25	0,422
0,26	0,426
0,27	0,428
0,28	0,429
0,29	0,429
0,30	0,427
0,31	0,425
0,32	0,422
0,33	0,418
0,34	0,413

налов, подвержены пропорциональным изменениям, относительные величины которых измеряются от их собственных максимумов в единицах ΔD . Наиболее приемлемую для практических измерений дискретность амплитудных шкал выбирают из ряда: 0,1; 0,2; 0,25; 0,5 дБ/пиксель. Отсюда соответствующие значения единых относительных квантов можно получить из табл. 1.

Уравнения (17) для фиксированных дальностей логарифмированием и приравниванием к уровням максимумов ЧП 2-го рода, пониженным на один квант относительной шкалы Δq , преобразуются, упрощаются и принимают вид:

$$(\nu/u)\exp(-\nu^2/u^2) = 0,429\Delta q, \quad (19)$$

удобный для расчетно-цифрового анализа (см. табл. 2).

В табл. 2 представлено численное распределение величин ЧП 2-го рода с крупным шагом вблизи его максимального значения, которое демонстрирует разброс размеров эквивалентных отражателей или погрешность измерений масштабного размера эквивалентных отражателей.

Более точный численный расчет с меньшей дискретностью ν позволяет обнаружить зависимость разброса размеров отражателей (погрешностей измерения) на уровне единого относительного кванта, связанного с дискретностью измерения величины эхо-сигналов. Это продемонстрировано на примере измерения размера эквивалентного отражателя на дальности $u = 0,4$ в табл. 3.

Оптимальный размер эквивалентного отражателя на дальности $u = 0,4$ равен $\nu_{\text{opt}} = 0,283$, а максимум ЧП 2-го рода = 0,429. Его понижение происходит в обе стороны от максимума на Δq и определяет ошибку дискретизации измерений, представленную для данного случая в табл. 4

Если сравнить данные табл. 3 и 4, то можно заметить, что разброс масштабных размеров эк-

Таблица 4. Шаги дискретизации измерений

ΔD (дБ)	0,1	0,2	0,25	0,5
$0,429\Delta q$	0,424	0,419	0,417	0,405

вивалентных отражателей увеличивается с увеличением шага квантования и составляет соответственно ± 10 ; ± 14 ; ± 18 ; ± 22 %.

На основании численного исследования возможностей нового понятия чувствительности поля в направлении точности измерения размеров эквивалентных отражателей можно сделать вывод о том, что при нормальной дискретности измерения амплитуды эхо-сигналов $\Delta D = -0,2$ дБ точность УЭА дефектометрии может быть на уровне $\pm 14 \dots 20$ %.

Методика определения оптимальных условий для съема показаний УЭА дефектомера в процессе ручного сканирования ОК на основании максимума ЧП 3-го рода. Для определения ЧП 3-го рода необходимо в формулу ЧП (6) подставить значения ν , выраженные через параметры эхо-сигнала в виде формулы геометрической структуры поля эхо-канала [2]: $\nu = \pm u\sqrt{-\ln(1 - q e^{2u-1}/2u)}$, из которой следуют тождественные равенства:

$$\begin{aligned} \nu/u &= \sqrt{-\ln(1 - q e^{2u-1}/2u)}, \\ (\nu/u)^2 &= -\ln(1 - q e^{2u-1}/2u), \\ \exp(-\nu^2/u^2) &= 1 - q e^{2u-1}/2u. \end{aligned}$$

После соответствующих подстановок в формулу ЧП (6) для ЧП 3-го рода получим:

$$B_3 = (4e^{1-2u} (1 - q e^{2u-1}/2u)) \times \sqrt{-\ln(1 - q e^{2u-1}/2u)}. \quad (20)$$

Эта зависимость представлена на рис. 7 в логарифмическом масштабе по оси амплитуд, откуда видно, что максимумы ЧП 3-го рода находятся в диапазоне амплитуд эхо-сигналов от -8 до -20 дБ.

В формуле (20) в скобках перед корнем и под корнем квадратным появилось выражение:

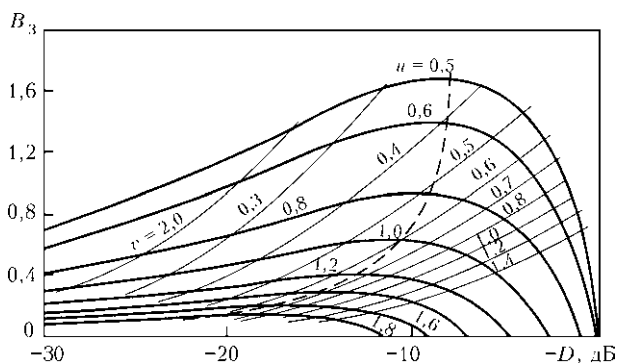


Рис. 7. Зависимость ЧП 3-го рода от базовой относительной амплитуды эхо-сигналов для разных дальностей эквивалентных отражателей (размеры эквивалентных отражателей показаны тонкими линиями)

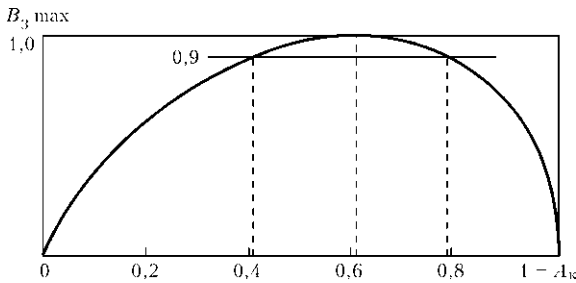


Рис. 8. Границы области оптимальных значений КБА

$$qe^{2u-1}/2u = A_k, \quad (21)$$

которое названо *комплексной базовой амплитудой (КБА) эхо-сигнала* и обозначено символом A_k . КБА объединяет оба параметра эхо-сигнала и в значительной мере подобна системе с временной регулировкой чувствительности (ВРЧ), усиливающей амплитуду эхо-сигнала в зависимости от времени его задержки и от коэффициента затухания ($u = \delta r$), однако без учета свойств отражателя.

После принятой подстановки выражение для ЧП 3-го рода принимает вид:

$$B_3 = (4e^{1-2u})(1 - A_k) \sqrt{-\ln(1 - A_k)}. \quad (22)$$

Максимум ЧП 3-го рода определяется дифференцированием:

$$\partial B_3 / \partial A_k = -\ln(1 - A_k) + 0,5 = 0,$$

откуда $1 - A_k = e^{-0,5} = 0,606$ или оптимальное значение $A_k = 0,394$.

После подстановки этого значения КБА в формулу (21) получено уравнение для границы области оптимальных параметров эхо-сигналов для УЭА дефектотометрии:

$$q_{\text{opt}} = 2,14ue^{-2u}. \quad (23)$$

Исходя из вновь введенных понятий и численных характеристик, приобретает практическое значение видоизменение универсальной АРД-диаграммы и представление ее следующим выражением:

$$A_k = 1 - \exp(-v^2/u^2). \quad (24)$$

Его удобнее представлять в логарифмическом масштабе по оси КБА

$$D_k = 8,686 \ln[1 - \exp(-v^2/u^2)] \quad (25)$$

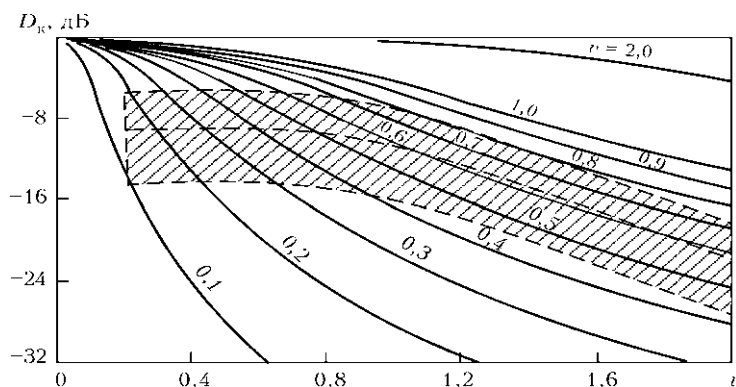


Рис. 9. Нормированная универсальная АРД-диаграмма

в графически развернутом виде сплошными линиями на (рис. 7) и называть *нормированной универсальной АРД-диаграммой*.

Нормированность АРД-диаграммы заключается в нанесении на поле АРД-диаграммы области значений ЧП 3-го рода на уровне 0,9 от максимального значения $B_{3\text{max}} = 0,429$ (рис. 8).

Область оптимальных значений КБА (заштрихована) находится между двумя граничными линиями (рис. 9), описываемыми уравнениями: $q_v = 1,2ue^{-2u}$ и $q_n = 3,2ue^{-2u}$, а средняя линия соответствует уравнению (21).

Из рис. 9 видно, что область масштабных размеров эквивалентных отражателей, измеряемых с достаточно высокой точностью, ограничена диапазоном $v = 0,4 \dots 0,8$. Для обычных задач УЗ дефектоскопии этот диапазон в размерах площади эквивалентных отражателей выражается следующим образом: $S = v^2/n\delta^2 = v^2\lambda^2/d^2\delta^2 = (0,16 \dots 0,64)\lambda^2/d^2\delta^2 = 5 \dots 100 \text{ мм}^2$ при условии: $n = 60 \dots 120$; $\delta = 0,01 \dots 0,02 \text{ 1/мм}$, что можно считать вполне достаточным для практических целей.

Дисплей форматом 256×256 пикселей может быть использован в качестве носителя нормированной универсальной АРД-диаграммы со следующими параметрами:

- шкала комплексных базовых амплитуд в диапазоне $0 \dots -25 \text{ дБ}$ с дискретностью шкалы КБА $\Delta D = 0,1 \text{ дБ}$;

- шкала базовых относительных дальностей в диапазоне $0 \dots 2$ с дискретностью шкалы $\Delta u = 0,008$, что соответствует дискретности физических дальностей $\Delta r = 0,008/\delta = 0,4 \dots 0,8 \text{ мм}$ или дискретности времени $\Delta t = 0,3 \dots 0,6 \text{ мкс}$.

Рассмотрим графическое представление нормированной универсальной АРД-диаграммы на цифровом дисплее таким образом, чтобы изображение было достаточно четким и не мешало рассмотрению КБА-сканов. Программа электронного изображения может быть удобна благодаря возможности изменения масштаба дальности, но сложна и затеняющая КБА-сканы. Вероятно, целесообразным будет возврат к накладному прозрачному экрану, хотя и без регулирования



масштаба по дальности. Однако для оператора ручного контроля графическое изображение АРД-диаграммы на фоне КБА-сканов дает важные ориентиры для ощущения поля, которые ничем незаменимы. Кроме того, существенно снижается себестоимость прибора.

Выводы

На основе разработанной универсальной теоретической модели поля эхо-канала с описанием двух её сторон — энергетической и геометрической, с математическим описанием их при помощи трёх универсальных безразмерных переменных (q , u , v) в полном объеме поля в ближней и дальней зонах, во всех средах с затуханием и без затухания звука [2], раскрыты метрологические особенности поля эхо-канала, описываемые при помощи нового понятия — чувствительности поля (ЧП);

- под ЧП понимается частная производная от универсальной базовой безразмерной амплитуды эхо-сигнала q по универсальному обобщённому размеру эквивалентного отражателя v , а именно $B = \partial q / \partial v$;

- определены ЧП трех родов, развернутые по каждой из трех переменных: ЧП 1-го рода — $B_1 = \partial B / \partial u$; ЧП 2-го рода — $B_2 = \partial B / \partial v$; ЧП 3-го рода — $B_3 = \partial B / \partial q$;

- определены максимальные значения ЧП всех трёх родов с помощью правила оптимизации, когда производные приравниваются 0, откуда получены условия:

- оптимальной дальности u_{opt} для выделения полезных эхо-сигналов для измерения ожидаемых размеров эквивалентных отражателей с максимальной чувствительностью 1-го рода $B_{1\text{max}}$;

- оптимального обобщенного размера эквивалентного отражателя v_{opt} , который на заданной базовой дальности измеряется с максимальной чувствительностью 2-го рода $B_{2\text{max}}$;

- оптимальной базовой амплитуды эхо-сигнала q_{opt} от эквивалентного отражателя на фиксированной базовой дальности, который соответствует максимальной чувствительности 3-го рода $B_{3\text{max}}$ и воспринимается как сигнал окончания ручного сканирования отражателя и съема показания для измерения размера эквивалентного отражателя;

- определена огибающая ЧП 2-го рода, которая на уровне одного относительного кванта ниже максимума указывает неопределённость размера эквивалентного отражателя, т.е. возможную ошибку его измерения при данной дискретности измерения амплитуды эхо-сигнала. Отсюда определена теоретическая ошибка УЭА дефектометрии, которая при дискретности измерения амплитуды $\Delta D = 0,2$ дБ может составлять 14...20 %;

- введен новый информационный параметр УЭА дефектометрии, учитывающий амплитуду и задержку эхо-сигнала, названный комплексной базовой амплитудой (КБА), который позволяет оперативно вводимые данные контроля в виде точек на экране от универсальной АРД-диаграммы;

- определены диапазоны оптимальных базовых амплитуд эхо-сигналов в зависимости от уровней ЧП 3-го рода, которые могут наноситься на экран дефектомера совместно с АРД-диаграммой в виде окрашенных областей.

1. Щербинский В. Г. Технология ультразвукового контроля сварных соединений. — М.: Тиссо, 2003. — 326 с.
2. Давиденко В. Ф. Об элементарной неволновой теории поля ультразвуковых преобразователей для импульсно-амплитудной дефектометрии // Техн. диагностика и неразруш. контроль. — 2010. — № 3. — С. 29–37.
3. Давиденко В. Ф., Баженов В. Г. Новые принципы построения измерительных шкал ультразвуковых дефектоскопов // Зб. доповідей 6-ї Нац.наук.-техн. конф. «Неруйнівний контроль та технічна діагностика UkrNDT-2009» / Київ: УТ НКДТ, 2009. — С. 132–136.

Поступила в редакцию
05.04.2011



УДК 620. 179. 16

ТЕОРИЯ ВОЗБУЖДЕНИЯ И ПРИЕМА АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН ЕМКОСТНЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ

Б. М. ГОРКУНОВ, канд. техн. наук, Л. В. ГЛЕБОВА, инж., И. В. ТЮПА, канд. техн. наук
(НТУ «Харьковский политехнический институт»)

Теоретически и практически установлена возможность возбуждения и приема ультразвуковых колебаний емкостным способом с достаточно высоким уровнем электрического сигнала в широком частотном диапазоне. Показано, что существует достаточное количество способов получения оптимального по уровню выходного сигнала емкостного преобразователя.

Possibility of excitation and reception of ultrasonic oscillations by the capacitive method with a sufficiently high level of electric signal in a broad frequency range was established in terms of theory and practice. It is shown that there exist a sufficient number of methods to obtain the capacitive transducer output signal of an optimum level.

Ультразвуковые (УЗ) методы неразрушающего контроля (НК) в настоящее время занимают главенствующее положение среди остальных методов в связи с возможностью их применения для решения различных задач, хорошо развитой теоретической и экспериментальной базой и широкой реализацией в виде серийно выпускаемых приборов и устройств. Классический способ возбуждения и приема акустических волн с использованием пьезоэлектрического преобразователя (ПЭП) наряду с преимуществами (высокий коэффициент передачи) имеет и ряд недостатков (ограничение по типам волн и рабочий частотный диапазон). Альтернативой этому методу является применение электромагнитно-акустических и емкостных преобразователей (ЕП). В последнее время ведутся интенсивные теоретические и экспериментальные исследования в области использования электромагнитно-акустических преобразователей. В случае ЕП фундаментальных теоретических и практических работ по изучению данного способа возбуждения и приема волн в литературе не описано [1]. Основной причиной бесперспективности данного способа считается низкая чувствительность (на $10^3 \dots 10^5$ меньше) по сравнению с классическими УЗ методами. Тем не менее, в работе [2] экспериментально доказано, что использование ЕП в качестве источника УЗ колебаний позволяет получить акустический сигнал в режиме возбуждения, достаточный для уверенной регистрации его в режиме приема с использованием стандартной аппаратуры.

Целью данной работы является теоретическое описание и экспериментальное подтверждение процесса возбуждения УЗ колебаний в упругой среде емкостным способом, что позволит оценить уровни выходного сигнала ЕП в режиме приема акустических волн для дальнейшего выбора оп-

тимальных параметров датчика и режимов работы возбуждающей и приемной аппаратуры.

Режим возбуждения. Выберем в качестве объекта контроля (ОК) цилиндрический стальной образец плотностью ρ и скоростью распространения в нем акустической волны c (рис. 1). К верхней плоскости цилиндра через диэлектрическую прослойку d_1 с относительной диэлектрической проницаемостью ϵ_1 прикреплен возбуждающий емкостной преобразователь (БЕП) радиуса R_1 . На ОК и электрод подается постоянное напряжение V_n и переменное напряжение V_0 частотой f с помощью генератора G и источника постоянного напряжения (ИПН). В пространстве ОК вдоль оси z распространяется акустическая волна амплитудой U_z . В точке наблюдения (обратная сторона цилиндра) с координатами $M(0,0,z_0)$ расположен приемный емкостной преобразователь (ПрЕП) в виде пластины радиуса R_2 , с диэлектрической прослойкой толщиной d_2 и ϵ_2 . Выходной сигнал $V_{\text{вых}}$ снимается с ПрЕП путем подачи поляризующего напряжения V_n с использованием схемы электрэнного микрофона.

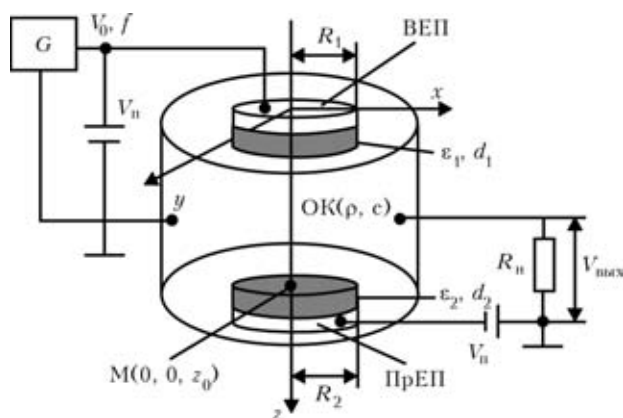


Рис. 1. Схема возбуждения и приема УЗ колебаний емкостным способом (обозначения см. в тексте)



Энергия электрического поля конденсатора определяется формулой [3]:

$$W_c = \frac{c U^2}{2} = \frac{\epsilon \epsilon_0 S U^2}{2d}, \quad (1)$$

где U — напряжение, подаваемое на обкладки конденсатора; ϵ — диэлектрическая проницаемость среды; ϵ_0 — диэлектрическая постоянная; S — площадь обкладки; d — расстояние между обкладками.

Приняв во внимание, что напряжение на обкладках конденсатора изменяется по закону $U = U_0 \sin \omega t$ и электродинамическое давление строго перпендикулярно площади электрода, запишем выражение для давления P_0 на поверхность ОК как дифференциал от энергии конденсатора:

$$P_0 = \frac{\epsilon \epsilon_0 U_0^2 \sin^2 \omega t}{2d^2}. \quad (2)$$

Поскольку $\sin^2 \omega t = 1/2 (1 - \cos 2\omega t)$, то выражение (2) примет вид:

$$P_0 = \frac{\epsilon \epsilon_0}{4d^2} (U_0^2 - U_0^2 \cos 2\omega t). \quad (3)$$

Как видно из этого выражения при подаче на конденсатор переменного напряжения частотой ω амплитуда давления P_0 изменяется во времени с удвоенной частотой 2ω . Для устранения данной особенности применяется поляризация конденсатора путем подачи на его обкладки постоянного напряжения U_{π} .

В таком случае выражение для давления P_0 примет вид:

$$P_0 = \frac{\epsilon \epsilon_0}{4d^2} (U_0 \sin \omega t + U_{\pi})^2 = \frac{\epsilon \epsilon_0}{4d^2} (2U_0 U_{\pi} \sin \omega t - U_0^2 \sin^2 \omega t) + \frac{\epsilon \epsilon_0}{4d^2} (U_0^2 + U_{\pi}^2). \quad (4)$$

Характерной особенностью полученных выражений является то, что амплитуда возбуждающего давления P_0 по сути не зависит ни от формы, ни от площади электрода. Увеличение амплитуды давления, а следовательно, и амплитуды акустических колебаний, можно осуществить путем увеличения амплитуды переменного и поляризующего напряжений, подбора соответствующего материала с высокой диэлектрической проницаемостью в качестве прослойки между электродом и поверхностью ОК, или уменьшения расстояния d между обкладками конденсатора.

Рассмотрим смещение материальных точек ОК вдоль оси z , вызванное переменным давлением P_0 . Расположим точку наблюдения с координатами $M(0,0,z_0)$ на обратной поверхности ОК (см. рис.

1). В общем случае вектор смещения $\vec{U}_z$ будет определяться соотношением:

$$\vec{U}(M) = -\frac{1}{4\pi K_0} \times \int \int \int_{z \geq 0} \frac{P(x,y,z,t) |x-x_0, y-y_0, z-z_0|}{(\sqrt{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2 + (z-z_0)^2})^{3/2}} dx dy dz, \quad (5)$$

где K_0 — коэффициент, который является характеристикой материала образца и выражается через известные параметры, определяющие механические свойства материала ($K_0 = \rho^2 c$); $P(x,y,z,t)$ — распределение давления на поверхности ОК (ограниченного площадью возбуждающего электрода).

Для точки наблюдения с координатами $M\{0,0,z_0\}$, выражение для смещения запишем в виде:

$$U_z(0, 0, z_0, t) = -\frac{1}{4\pi K_0} \times \int \int \int_{z \geq 0} \frac{P(x,y,z,t)(z-z_0)}{(\sqrt{x^2 + y^2 + (z-z_0)^2})^{3/2}} dx dy dz. \quad (6)$$

Эта формула в сферических координатах ρ, ϵ, θ имеет вид:

$$U_z(z_0, t) = -\frac{1}{4\pi K_0} \int_0^{\infty} \rho d\rho \int_0^{\pi/2} d\theta \times \int_0^{2\pi} \frac{(\rho \cos \theta - z_0) P(\rho, \theta, t) \rho^2 \sin \theta}{(\rho^2 + z_0^2 - 2\rho z_0 \cos \theta)^{3/2}} d\varphi. \quad (7)$$

Смещение U_z не зависит от координаты φ , поэтому

$$U_z(z_0, t) = -\frac{1}{2K_0} \int_0^{\infty} \rho d\rho \times \int_0^{\pi/2} \frac{(\rho \cos \theta - z_0) P(\rho, \theta, t) \rho^2 \sin \theta}{(\rho^2 + z_0^2 - 2\rho z_0 \cos \theta)^{3/2}} d\theta. \quad (8)$$

Подставив в полученное выражение значение давления [1] на поверхность полупространства $P(\rho, \theta, t)$, получим:

$$U_z(z_0, t) = -\frac{P_0}{4\pi K_0} \int_0^{\infty} \left[\cos\left(\frac{\omega}{a}\rho\right) - \left(\frac{\omega}{a}\rho\right) \sin\left(\frac{\omega}{a}\rho\right) \right] \times \int_0^{\pi/2} \frac{(\rho \cos \theta - z_0) \rho^2 \cos \theta \sin \theta}{\rho^2 (\rho^2 + z_0^2 - 2\rho z_0 \cos \theta)^{3/2}} d\rho d\theta. \quad (9)$$

Для облегчения дальнейших преобразований выполним замену переменных $\rho = z_0 \zeta$ и представим формулу (9) в виде:

$$U_z(z_0, t) = -\frac{P_0}{8\pi K_0 z_0} \times \int_0^\infty \left[\cos\left(\frac{\omega}{a} z_0 \xi\right) - \left(\frac{\omega}{a} z_0 \xi\right) \sin\left(\frac{\omega}{a} z_0 \xi\right) \right] f(\xi) d\xi, \quad (10)$$

где $f(\xi)$ — значение интеграла по координате θ ,

$$f(\xi) = \int_0^\pi \frac{(\xi \cos \theta - 1) \cos \theta \sin \theta}{(1 + \xi^2 - 2\xi \cos \theta)^{3/2}} d\theta. \quad (11)$$

Интеграл (11) несобственный, поэтому, воспользовавшись средой MatLab с использованием Curve Fitting Toolbox, аппроксимируем интеграл (11) на промежутке $0 \dots \pi$:

$$f(\xi) = \begin{cases} -0,5 - 0,66\xi - 0,33\xi^2, & 0 < \xi < 1, \\ \frac{0,5}{\xi^2}, & \xi > 1 \end{cases} \quad (12)$$

Подставив это выражение в формулу (10), получим:

$$U_z(z_0, t) = -\frac{P_0}{8\pi K_0 z_0} \left[\frac{7}{3} \cos(kz_0) - \frac{13 \sin(kz_0)}{3(kz_0)} + 2 \frac{1 - \cos(kz_0)}{kz_0} - \frac{8}{3} \frac{1}{(kz_0)^2} \left(\cos(kz_0) - \frac{\sin(kz_0)}{(kz_0)} \right) \right] S, \quad (13)$$

где $k = \omega/a$.

Из формулы (13) видно, что помимо амплитуды возбуждающего давления P_0 смещение акустической волны зависит от площади электрода конденсатора и частоты электрического поля. Исследуем влияние этих факторов, задавшись конкретными параметрами среды и условиями расчетного эксперимента: исследуемый ОК — сталь, $\rho = 7,8 \text{ кг/м}^3$, $c = 5 \cdot 10^3 \text{ м/с}$; напряжение на обкладках конденсатора $U_0 = 500 \text{ В}$, $U_n = 500 \text{ В}$; радиус электрода $R_1 = 15 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; расстояние между обкладками конденсатора $d_1 = 0,1 \cdot 10^{-3} \text{ м}$. В качестве диэлектрической прослойки используется промасленная трансформаторная бумага ($\epsilon = 40$).

На рис. 2 представлены величины смещения U_z в зависимости от различных диаметров пластины 10, 20 и 40 мм. Частота возбуждающего давления 10 МГц.

По оси x отложено расстояние от поверхности ОК (точка возбуждения УЗ колебаний) до точки наблюдения УЗ колебаний вдоль оси z . Из графиков видно, что увеличение площади электрода существенно увеличивает амплитуду УЗ волны и влияет на процесс затухания волны в материале в сторону уменьшения коэффициента затухания с увеличением площади электрода.

Исследуем влияние частоты возбуждающего поля на процесс распространения УЗ колебаний

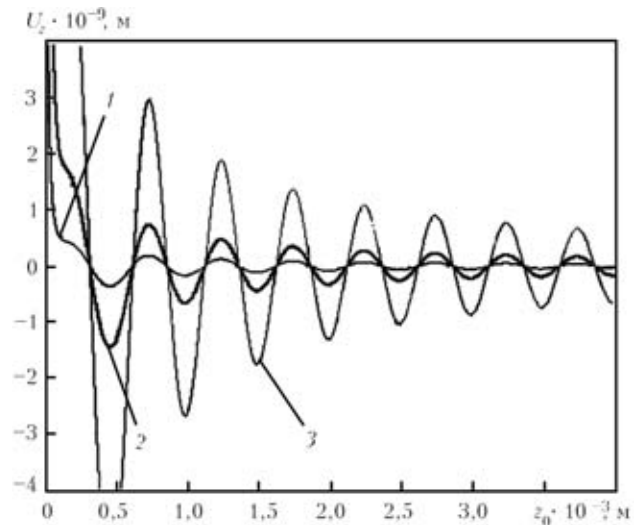


Рис. 2. Зависимости величины смещения U_z от различных диаметров пластины: 1 — $d = 10$; 2 — 20; 3 — 40 мм

для фиксированного значения радиуса электрода $R_1 = 15 \cdot 10^{-3} \text{ м}$.

На рис. 3 представлены зависимости величины смещения U_z для различных значений частоты 2; 5; 10; 20 МГц. Из графиков видно, что частота возбуждающего поля практически не влияет на процесс затухания акустической волны в ОК. При этом в области малых толщин изделия до 1 мм (расстояние до точки наблюдения z_0) наблюдается существенное увеличение амплитуды звуковой волны. Таким образом, для контроля ОК малых толщин целесообразно использовать ЕП в области высоких частот.

Режим приема. Выше получены соотношения, которые позволяют определять смещение точек поверхности ОК под воздействием электромагнитного поля, которое создается плоским конденсатором. Также построены зависимости, которые описывают смещение материальных точек упругой среды от приложенного давления (электри-

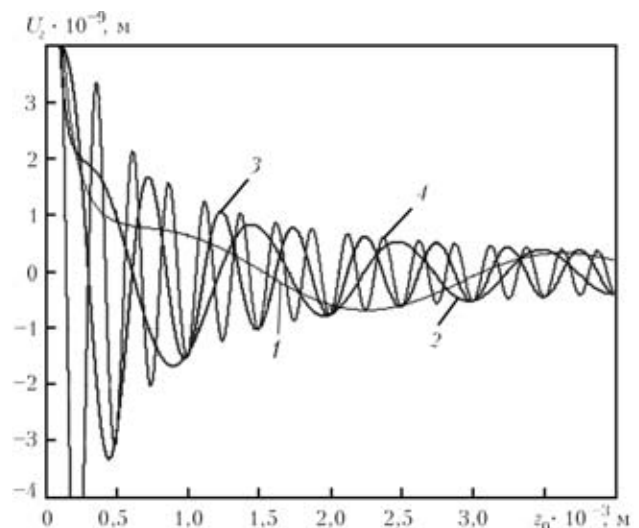


Рис. 3. Зависимости смещения U_z для различных значений частоты: 1 — $f = 2$; 2 — 5; 3 — 10; 4 — 20 МГц



ческого напряжения) и формы электрода (конденсаторной пластины). В некоторых работах [4] установлено, что ЕП может работать не только в режиме возбуждения УЗ колебаний, но и в режиме приема.

Очевидно, что при регистрации акустических сигналов емкость C_0 преобразователя будет меняться из-за модуляции воздушного зазора между обкладками конденсатора под действием УЗ волн.

Запишем выражение для переменной емкости ЕП в режиме приема акустических колебаний в виде:

$$\Delta C = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d_0 \pm \Delta d} \quad (14)$$

где d_0 — начальное расстояние между конденсаторными пластинами; Δd — приращение расстояния между конденсаторными пластинами как вследствие колебаний поверхности ОК, так и по причине колебаний электрода.

Коэффициент затухания УЗ колебаний в ЕП существенно больше, чем в ОК и отсутствует передача механического воздействия на поверхность ОК через диэлектрическую прослойку. Тогда приращение расстояния между конденсаторными пластинами будет определяться только смещением точек поверхности U_z .

Исследуем возможность приема акустической волны емкостным способом согласно схеме (рис.1). Амплитуда выходного электрического сигнала на приемном ЕП будет определяться по формуле [5]:

$$U = \frac{U_z U_n}{d} \quad (15)$$

Как видно из формулы, выходное напряжение не зависит от площади электрода и диэлектрических свойств изолирующей прослойки. Расстояние между обкладками конденсатора d_0 определяется из выбранного поляризующего напряжения U_n из условия пробивного напряжения диэлектрика, т. е. величину d_0 можно существенно уменьшить за счет выбора эффективной диэлектрической прослойки. Например, в качестве обкладки приемного конденсатора можно использовать алюминиевую пластину, покрытую оксидной пленкой Al_2O_3 , которая характеризуется хорошими диэлектрическими свойствами и высокой механической износостойкостью.

Зафиксируем значение поляризующего напряжения на уровне $U_n = 500$ В и расстояние $d_0 = 0,1$ мм. Рассчитаем согласно формуле (15) выходное напряжение ЕП, зависящее от расстояния z_0 от возбуждающего электрода для случая разных частот возбуждающего сигнала и радиусов электродов возбуждающего ЕП, т. е. проведем расчеты для случаев, представленных на рис. 4 и 5.

Из графических зависимостей видно, что уровень выходного сигнала ЕП достаточен для уве-

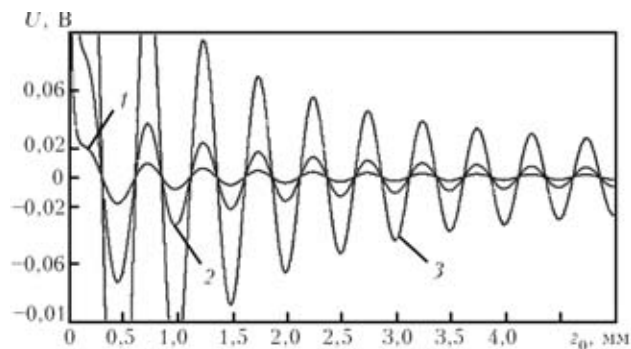


Рис. 4. Зависимости выходного сигнала U_z для различных диаметров пластины: 1 — $d = 10$; 2 — 20; 3 — 40 мм

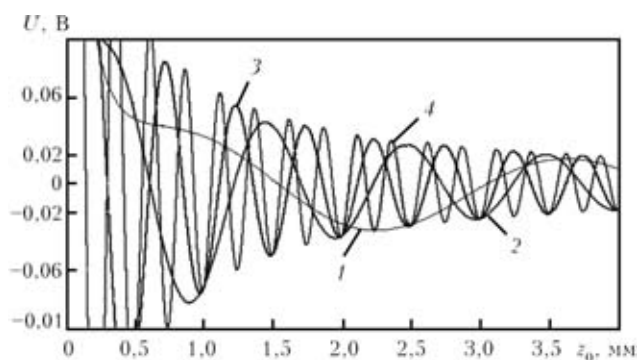


Рис. 5. Зависимости выходного сигнала U_z для различных значений частоты: 1 — $f = 2$; 2 — 5; 3 — 10; 4 — 20 МГц

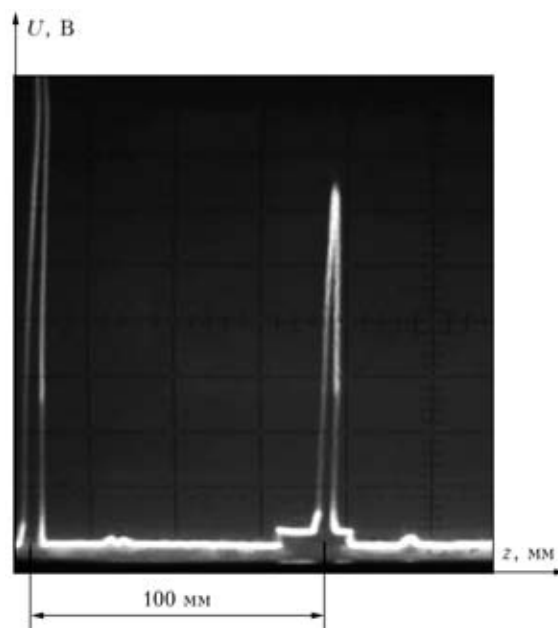


Рис. 6. Осциллограмма возбужденного и принятого УЗ сигнала на частоте 10 МГц

ренного приема, усиления и дальнейшей обработки и находится для данных примеров в диапазоне 200 мкВ...1 мВ на расстоянии $z_0 = 100$ мм. Следует отметить, что для заданной толщины исследуемого изделия существует достаточное количество способов получения оптимального по уровню выходного сигнала путем варьирования физических параметров ЕП и условий эксплуатации. Оптимальный выходной сигнал ЕП для



конкретного значения z_0 можно выразить целевой функцией вида:

$$U = \min f(U_{\text{п}}, U_0, f, V_{\text{п}}, R, d_0, d, z_0, \varepsilon). \quad (16)$$

Для примера проведем оптимизацию, задавшись значениями ЕП и ОК, для случая трех варьируемых параметров, а именно $f, R, V_{\text{п}}$ для цилиндрического стального ОК длиной $l = 100$ мм.

Согласно рис. 1, для полученных оптимальных значений параметров системы ЕП — ОК проведем эксперименты. Полученные результаты приведены на рис. 6, из которого видно хорошее согласование с теоретическими расчетами.

Выводы

В результате проведенного в работе теоретического анализа процессов распространения УЗ волны в ОК, которая возбуждается ЕП, теоретически установлена и практически проверена на практике возможность приема УЗ колебаний емкостным способом с достаточно высоким уровнем электрического сигнала в широком частотном диапазоне.

Для повышения уровня выходного сигнала ЕП существует достаточно степеней свободы в выборе переменных параметров процесса возбуждения и приема с точки зрения повышения эффективности применения данного способа для задач НК.

1. Ермолов И. Н., Ланге Ю. В. Неразрушающий контроль: Справ.: В 7 т / Под ред. В. В. Клюева. — Т.3. — Ультразвуковой контроль. — М.: Машиностроение, 2004. — 864 с.
2. Возбуждение коротких упругих импульсов емкостным методом / Ю. Б. Дробот, А. И. Кондратьев, В. А. Луговой // Дефектоскопия. — 1983. — № 3. — С. 35–37.
3. Тамм И. Е. Основы теории электричества. — Изд. третье. — М.: Гос. изд-во техн.-теор. лит-ры, 1946. — 660 с.
4. Гиттис М. Б., Добромислов В. М., Сажин В. В. Определение некоторых параметров датчиков ультразвуковых колебаний // Дефектоскопия. — 1971. — № 1. — С. 51–57.
5. Григорьев А. Л., Тюпа И. В., Глебова Л. В. Математическая модель емкостного метода возбуждения колебаний в упругих средах // Вісник НТУ «ХПІ»: Темат. вип. «Математичне моделювання в техніці та технологіях». — 2010. — № 68. — С. 38–51.

Поступила в редакцию
04.04.2011

ДЕСЯТА МІЖНАРОДНА НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ "ПРИЛАДОБУДУВАННЯ: СТАН І ПЕРСПЕКТИВИ"

Вже 10 років поспіль в НТУУ "КПІ" на базі приладобудівного факультету проходять міжнародні науково-технічні конференції "Приладобудування: стан і перспективи", учасниками якої є провідні спеціалісти України та зарубіжжя. В засіданнях цієї конференції приймали участь такі спеціалісти в галузі НК, як завідувачий відділом "Неруйнівного контролю" ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАН України д-р. техн. наук Троїцький В.О.; директор центру "Леотест-Медіум", співробітник Фізико-механічного інституту ім. Г. В. Карпенка НАН України канд. техн. наук Учанін В. М.; завідувачий кафедрою приладів та методів НК НТУ "ХПІ" д-р. техн. наук Сучков Г. М., завідувачий відділом "Технічна діагностика зварних конструкцій" ІЕЗ д-р. техн. наук Недосека А. Я. та ін.

Цього року конференція відбувалась 19–20 квітня. В її роботі брали участь 410 представників промислових підприємств, академічних, вузівських та галузевих дослідницьких установ з 32 міст України, Білорусі тощо.

В рамках конференції на базі кафедри приладів та систем НК НТУУ "КПІ" проходили засідання секції "Неруйнівний контроль, технічна та медична діагностика". В її роботі, крім науковців цього інституту, прийняли участь спеціалісти з Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (ІФНТУНГ), НТУ "ХПІ", Луганського державного медичного університету, Галицької академії, Донбаського державного технічного університету тощо.

Тематика доповідей торкалась як проблем контролю і діагностики в галузі медицини (наприклад, доповіді "Діагностування функціональних порушень за статистичними оцінками шумів дихальної системи", Івасів Т. В., Галицька академія; "Віртуальний кардіограф", Кришко Л.Є., НТУУ "КПІ"), так і в галузі технічних наук. В цьому напрямі хотілося б відмітити доповіді "Ємнісний метод комплексної оцінки якості дефектоскопічних рідин", Витвицька Л. А., Чуйко М. Н., ІФНТУНГ; "Підвищення достовірності контролю виробів з неоднорідною структурою", Галаган Р. М., НТУУ "КПІ" та доповідь "Исследование методом акустической интроскопии неравномерностей в формировании свойств порошковых материалов", Богдан Г. А., НТУУ "КПІ" та інш.

Розуміючи необхідність подальшого розвитку галузі неруйнівного контролю в майбутньому і важливість підготовки кваліфікованих кадрів для роботи в цій галузі кафедра приладів та систем НК НТУУ "КПІ" вже декілька років проводить студентські наукові конференції з питань НК, на які запрошуються кращі студенти фахових кафедр українських вузів.

Доповіді Десятої міжнародної науково-технічної конференції "Приладобудування: стан і перспективи" видано окремою збіркою. З нею можна ознайомитись в Оргкомітеті конференції, що розташований в НТУУ "КПІ", Приладобудівний факультет, кафедра приладів та систем НК, тел. 044-454-95-47, e-mail: psnk@kpi.ua.

Інформаційне повідомлення Ж.О. Павленко



РАЗРАБОТКА МЕТОДА ДИАГНОСТИКИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ ПРОТИВООПОЛЗНЕВЫХ АНКЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Сообщение 2. Анализ собственных форм и частот сложной конструкции противооползневого анкерного сооружения

Н. И. БУРАУ, д-р. техн. наук, Ю. В. КЛЕФА, Э. В. КУЛИШ, инженеры (НТУУ «Киевский политехнический институт»)

Разработана дискретная модель сложной конструкции противооползневого анкерного сооружения. Проведен анализ собственных форм и частот колебаний анкеров и определены их зависимости от функционального состояния сооружения, а именно от закрепления замков анкеров и жесткости стержней.

The discrete model of complex construction of an anchor against landslide construction is developed. The analysis of anchors oscillations shapes and frequencies is carried out for different operating conditions of against landslide construction, the functional dependencies of natural frequencies on fixation and rigidity of rods are defined.

Приведенные в работе [1] результаты анализа дискретной модели противооползневого анкерного устройства показали, что для диагностики состояния нагружения анкера, выделения признака уменьшения натяга и определения характера его зависимости от изменяющейся растягивающей силы целесообразно использовать изменения перемещений подпорной стенки и собственных форм и частот анкера. Для отдельного анкера были проведены теоретические исследования и модельные эксперименты с целью установления функциональных зависимостей вибрационных характеристик подпорной стенки и стержня анкера от параметров, которые характеризуют изменение состояния анкерного противооползневого устройства (натяжение анкера, жесткость стержня).

На практике противооползневые анкерные сооружения, которые устанавливаются в потенциально опасных местах, представляют собой сложные инженерные сооружения, состоящие из множества анкеров с жестко закрепленными по поверхности и между собой подпорными стенками (рис. 1). Необходимое количество анкеров в таких сооружениях определяется площадью укрепляемой территории, эколого-геологическими условиями, наличием расположенных на укрепляемой территории зданий и сооружений [2]. Достаточно высокая плотность установки анкеров повышает эффективность защиты территории в случае возникновения и распространения оползневых процессов. Однако сложность реальной конструкции противооползневых сооружений обуславливает необходимость исследований более сложных, чем приведенные в работе [1], диагностических моделей контролируемого объекта. Поэтому в дан-

ной работе объектом исследований является часть противооползневого сооружения, состоящая из трех жестко соединенных плит подпорной стенки с анкерами.

Целью данной статьи является моделирование сложной конструкции противооползневого сооружения, определение и анализ собственных частот отдельных анкеров, находящихся в составе сложной конструкции, в зависимости от способа закрепления и состояния анкера.

Для построения дискретной модели указанной выше конструкции стержни анкеров моделировали стальными тросами одинаковой длины (15 м) из углеродистой стали со следующими характеристиками: плотность 7850 кг/м^3 ; модуль упругости $2,05 \text{ Н/м}^2$; коэффициент Пуассона 0,29; модуль сдвига 8 Н/м^2 ; предел прочности при растяжении $5,85 \text{ Н/м}^2$. Для моделирования подпорной стенки использована модель бетонной плиты с характеристиками: плотность 2000 кг/м^3 ; модуль упругости $2,75 \text{ Н/м}^2$; коэффициент Пуассона 0,2.



Рис. 1. Противооползневые анкерные сооружения в АРК

Во всех модельных экспериментах использовано закрепление плиты по поверхности.

Анализ собственных частот анкеров в зависимости от условий закрепления их замковых устройств. Моделирование сложной конструкции противооползневого устройства проводили для следующих условий:

- подпорные стенки анкеров жестко соединены между собой и жестко закреплены по поверхности;
- жесткость всех стержней анкеров принимается равной и постоянной во всех модельных экспериментах;
- замковые устройства всех трех анкеров жестко закреплены, последовательно определяются собственные частоты каждого анкера по первым трем формам колебаний;
- замковые устройства всех трех анкеров не закреплены (свободные концы стержней), последовательно определяются собственные частоты каждого анкера по первым трем формам колебаний.

Примеры колебаний одного из стержней (левого) по трем формам для жесткого закрепления замковых устройств приведены на рис. 2, а результаты определения собственных частот стержней в табл. 1.

Как видно из приведенных результатов, для анализируемой конструкции противооползневого анкерного сооружения собственные частоты стержней всех трех анкеров совпадают по значениям для каждой формы колебаний и для одних и тех же условий закрепления стержней. Собственные частоты стержней анкеров с закрепленным замком превышают соответствующие частоты для анкеров со свободным (незакрепленным) замком в 6,4 раза по первой форме колебаний, в 2,8 раза по второй и практически в 2 раза по третьей. Такое изменение собственных частот может иметь место в случае, если под действием оползневых процессов анкер будет вырван из коренной породы. В этом крайнем случае наибольшее изменение соб-

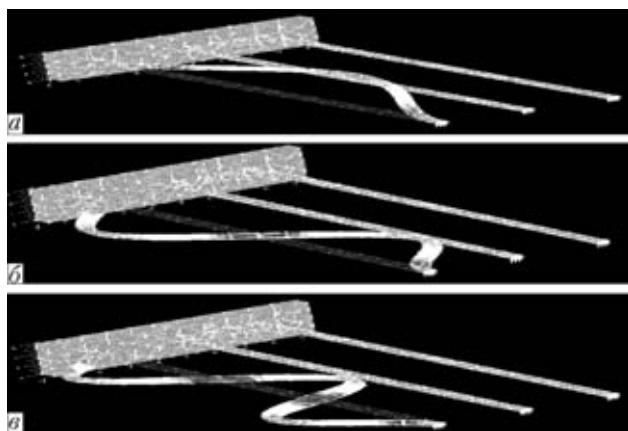


Рис. 2. Колебания левого стержня анкеров с закрепленными замками по первой (а), второй (б) и третьей (в) формам

ственной частоты происходит по первой форме колебаний.

Чтобы установить функциональную зависимость изменения собственных частот от условия закрепления анкеров в рассматриваемой конструкции противооползневого сооружения проведен цикл модельных экспериментов для следующих условий:

- подпорные стенки анкеров жестко соединены между собой и жестко закреплены по поверхности;
- жесткость всех стержней анкеров принимается равной и постоянной во всех модельных экспериментах;
- в исходном состоянии замковые устройства всех трех анкеров жестко закреплены, анализируются колебания, когда в сооружении последовательно каждый из анкеров может быть вырван из коренной породы;
- в исходном состоянии замковые устройства всех трех анкеров жестко закреплены, анализируются колебания, когда в сооружении последовательно по два из трех анкеров становятся незакрепленными, т.е. могут быть вырваны из коренной породы;

Результаты моделирования приведены в табл. 2.

Как видно из полученных результатов, для одинаковых по размерам, характеристикам и функциональному состоянию анкеров собственные частоты конструкции из трех анкеров практически не зависят от пространственного положения анкера с дефектом закрепления. Если учесть результаты, приведенные в табл. 1 для случая закреп-

Таблица 1. Собственные частоты стержней конструкции из трех анкеров для различных условий закрепления замков анкеров, Гц

Форма колебаний	Стержень	Замок	
		закрепленный	незакрепленный
1	левый	0,491436	0,076998
	правый	0,491491	0,076999
	центральный	0,491577	0,077000
2	левый	1,355181	0,482281
	правый	1,355841	0,482381
	центральный	1,356142	0,482427
3	левый	2,657598	1,349643
	правый	2,659305	1,350525
	центральный	2,660249	1,350556

Таблица 2. Собственные частоты конструкции из трех анкеров с дефектом закрепления, Гц

Форма колебаний	Незакрепленный замок анкера					
	одного			двух		
	левый	правый	центр.	правый и центр.	левый и центр.	левый и правый
1	0,08	0,07	0,07	0,04	0,045	0,04
2	0,48	0,49	0,48	0,32	0,31	0,33



ленных замков всех трех анкеров рассматриваемой конструкции противооползневого сооружения, можно получить зависимость изменения собственных частот по первым трем формам колебаний от состояния конструкции противооползневого сооружения, состоящего из трех анкеров. Значения приведенных частот f_i^*/f_{i0} ($i = 1; 2; 3$), где f_{i0} — значение собственной частоты по i -й форме колебаний для случая закрепленных замков всех трех анкеров (состояние S_0), f_i^* — значение собственной частоты по i -й форме колебаний с незакрепленными замками одного из анкеров (состояние S_1) или двух анкеров (состояние S_2), приведены в табл. 3.

Как видно из приведенных результатов, если под воздействием оползневых процессов стержень одного анкера вырван из коренной породы, собственная частота такого сооружения значительно уменьшается по всем трем формам колебаний: в 7 раз по первой; в 2,8 — по второй; почти в 2 раза по третьей. Еще более значительное уменьшение частот наблюдается, если два из трех анкеров противооползневого сооружения вырваны из коренной породы: в 12,5 раз — по первой форме; в 4,2 — по второй; в 2,3 раза — по третьей форме колебаний. Наибольшее изменение частоты имеет место по первой форме колебаний, что может служить диагностическим признаком изменения состояния закрепления анкера и использоваться для диагностики функционального состояния анкерного противооползневого сооружения.

Анализ собственных частот анкеров в зависимости от изменения жесткости их стержней. Отдельный модельный эксперимент провели для анализа влияния на собственные частоты уменьшения жесткости стержня одного из анкеров сложной конструкции противооползневого сооружения. Как и в предыдущих исследованиях [2, 3], уменьшение жесткости ΔC стержня анкера ис-

пользовали для имитации уменьшения натяжения анкера.

В данном модельном эксперименте моделировали конструкцию противооползневого сооружения, состоящую из трех анкеров с подпорными стенками, для следующих условий:

- замковые устройства всех трех анкеров жестко закреплены;
- в исходном состоянии жесткость всех трех анкеров принимается равной;
- подпорные стенки анкеров жестко закреплены между собой и закреплены по поверхности;
- жесткость одного анкера (левого) изменялась в каждом модельном эксперименте (уменьшалась), относительное изменение жесткости принималось равным $\Delta C = 0,15; 0,25$;
- для анкера с уменьшающейся жесткостью определялись собственные частоты по первым трем формам колебаний.

Результаты моделирования приведены в табл. 4.

Результаты, приведенные в табл. 4 для $\Delta C = 0,15$, являются очень близкими к результатам моделирования одного анкера с закрепленным замком в [1]. Дальнейшее уменьшение жесткости анкера приводит к еще более существенному уменьшению собственных частот, в особенно по первой форме колебаний — более, чем в три раза. Если учесть результаты анализа собственных частот, приведенные в табл. 3, можно сделать вывод, что изменение собственных частот при уменьшении жесткости анкера находится в пределах перехода противооползневого устройства из функционального состояния S_0 в состояние S_1 . Если в результате измерений и анализа импульсного отклика контролируемого анкера значение приведенной частоты по первой форме колебаний будет меньше единицы и больше порогового значения, соответствующего состоянию S_1 , это будет признаком изменения (уменьшения) натяжения анкера под воздействием оползневых процессов. Если же значение приведенной частоты по первой форме колебаний станет меньше порогового значения, это будет признаком того, что анкер вырван из коренной породы и не выполняет своей поддерживающей и защитной функции.

Выводы

Разработана дискретная модель сложной конструкции противооползневого сооружения, содержащая три анкера с подпорными стенками, которые жестко закреплены между собой и по поверхности. Для данной модели определены собственные частоты отдельных анкеров, находящихся в составе конструкции, в зависимости от способа закрепления и состояния анкера.

В результате моделирования сооружения с незакрепленными и закрепленными замками стерж-

Таблица 3. Значения приведенных собственных частот в зависимости от закрепления замков анкеров

f_i^*/f_{i0}	Состояния		
	S_0	S_1	S_2
$i=1$	1	0,14	0,08
$i=2$	1	0,36	0,24
$i=3$	1	0,51	0,44

Таблица 4. Значения приведенных собственных частот в зависимости от уменьшения жесткости стержня

f_i^*/f_{i0}	ΔC		
	0	0,15	0,25
$i=1$	1	0,73	0,32
$i=2$	1	0,75	0,55
$i=3$	1	0,75	0,54

жней определены собственные частоты, которые для каждого из условий закрепления стержней всех трех анкеров совпадают для каждой формы колебаний. Собственные частоты стержней анкеров с закрепленным замком превышают соответствующие частоты для анкеров со свободным (незакрепленным) замком в 6,4 раза по первой форме колебаний, в 2,8 раза по второй и почти в 2 раза по третьей формам колебаний.

Проведено моделирование и исследование влияния изменения функционального состояния элементов сооружения на собственные частоты по первым трем формам колебаний. В результате моделирования дефектов закрепления стержней установлено, что если стержень одного или двух анкеров вырван из коренной породы (замок не закреплен), собственная частота такого сооружения значительно уменьшается по всем трем формам колебаний. Наибольшее изменение частоты имеет место по первой форме колебаний — в 7 раз для незакрепленного замка одного анкера и в 12,5 раза, если незакрепленными станут два из трех анкеров.

Проведено моделирование и анализ влияния на собственные частоты уменьшения жесткости стержня одного из анкеров сложной конструкции противооползневого сооружения. В результате ус-

тановлено, что уменьшение жесткости стержня одного из анкеров приводит к уменьшению собственных частот по первой форме колебаний в 1,4 раза для $\Delta C = 0,15$ и более, чем в три раза для $\Delta C = 0,25$. Изменения собственной частоты по первой форме колебаний целесообразно использовать в качестве диагностического признака изменения функционального технического состояния противооползневого анкерного сооружения.

Полученные результаты являются новыми и будут использованы для разработки системы вибрационной диагностики функционального технического состояния противооползневых анкерных сооружений.

1. Бурау Н. И., Клефа Ю. В., Кулиш Э. В. Разработка метода диагностики функционального технического состояния элементов конструкций противооползневых анкерных сооружений. Сообщение 1. Анализ напряженно-деформированного состояния и собственных частот анкера // Техн. диагностика и неразруш. контроль. — 2011. — №2. — С. 40–45.
2. Гинзбург Л. К. Противооползневые удерживающие конструкции. — М.: Стройиздат, 1979. — 81 с.
3. *Theoretical bases of vibration diagnostics of anchor against landslide constructions* / N. Bouraou, Iu. Klofa, Yu. Zsukovskij, E. Kulish // *Vibrations in Physical Systems*. — 2010. — 24. — P. 63–68.

Поступила в редакцию
06.04.2011

Национальная конференция по НК в Хорватии — научный тур

Хорватское общество по неразрушающему контролю приглашает членов Украинского общества НКТД принять участие в национальной конференции "MATEST", которая состоится **2 – 5 ноября 2011 г.** в Хорватии, г. Сплит.

После завершения конференции намечено провести туристическую поездку по Хорватии (Сплит – Дубровник) и Италии (Неаполь – Рим – Бари – остров Искья (термальные источники)).

В г. Брешиа (Италия) **1 – 12 ноября** состоится сессия Международной академии неразрушающего контроля под названием "Будущее NDT". На сессии будут представлены интересные доклады по актуальным вопросам неразрушающего контроля.

Украинское общество неразрушающего контроля и технической диагностики приглашает всех желающих принять участие в работе конференции, а также при желании — в туристической поездке.

*По организационным вопросам просьба обращаться в Секретариат УО НКТД:
(044) 200-46-66, 205-22-49, 525-95-29.*



ТЕПЛОВОЙ КОНТРОЛЬ КОНЦЕНТРАТОРОВ НАПРЯЖЕНИЙ В КОНСТРУКЦИЯХ ИЗ ПОЛИМЕРНО-КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

А. А. ФИЛИПЕНКО, канд. техн. наук, **О. Н. БУДАДИН**, д-р. техн. наук, **Р. К. ХУЗИН**, инж.
(ОАО «Центр. науч.-исслед. ин-т специального машиностроения», г. Хотьково, РФ)

Показана возможность прогнозирования ресурса безопасной эксплуатации конструкций из полимерно-конструкционных материалов в процессе их реальной эксплуатации с помощью теплового метода контроля.

Shown is the possibility of prediction of the residual safe operating life of structures from polymer-structural materials during their actual service using thermal inspection method.

При механическом нагружении в местах концентрации напряжений может происходить пластическая деформация, сопровождающаяся выделением тепла [1–6]. В сложных композитных конструкциях при их нагружении возникают микроразрушения в элементах структуры, вызывающие выделение энергии. Кроме того, в случае дефектов типа нарушений сплошности, например, трещиноподобных дефектов, когда напряжение сингулярно возрастает при приближении к вершине дефекта, область пластической деформации существует даже при сколь угодно малых напряжениях в конструкции [6].

Распространение тепла в конструкции приводит к тому, что на ее поверхности возникает сложное распределение температурного поля [7]. Зафиксировав это распределение и выделив его на фоне структурной неоднородности и помех, можно определить местоположение проекции концентратора напряжения на поверхность контроля, а решив обратную задачу нестационарной теплопроводности [8], можно восстановить распределение источников тепла, а следовательно, и определить геометрические координаты внутреннего положения и размер дефекта. Этот подход был положен в основу методики диагностики технического состояния конструкций из полимерно-конструктивных материалов (ПКМ) тепловым методом.

Решена задача моделирования температурного поля в изделии с концентратором напряжения, образовавшегося на дефекте в виде трещины при механическом нагружении контролируемого изделия. Выведены соотношения между режимами механического нагружения и количеством выделяемого тепла в области концентратора напряжения, что позволяет:

– определять оптимальные режимы механического нагружения с точки зрения максимальной выявляемости внутренних концентраторов напряжения;

– оценивать возможность обнаружения областей концентраторов напряжений и дефектов по анализу температурных полей;

– определять оптимальный состав программно-аппаратных средств для проведения контроля.

На основании проведенного моделирования разработана методика теплового контроля концентраторов напряжения в изделии, образовавшегося на дефекте типа нарушения сплошности (трещины).

Показано, что изменение температурного поля в области дефекта может быть достоверно зарегистрировано существующей тепловизионной техникой, в том числе получено соотношение, связывающее пространственную разрешающую

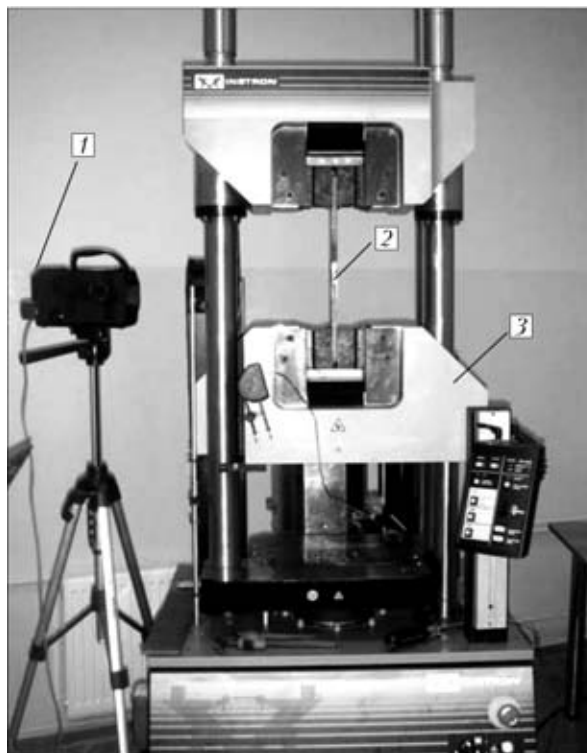


Рис. 1. Экспериментальная установка для проведения эксперимента: 1 — тепловизионная система; 2 — образец; 3 — установка для статического и динамического нагружения образцов

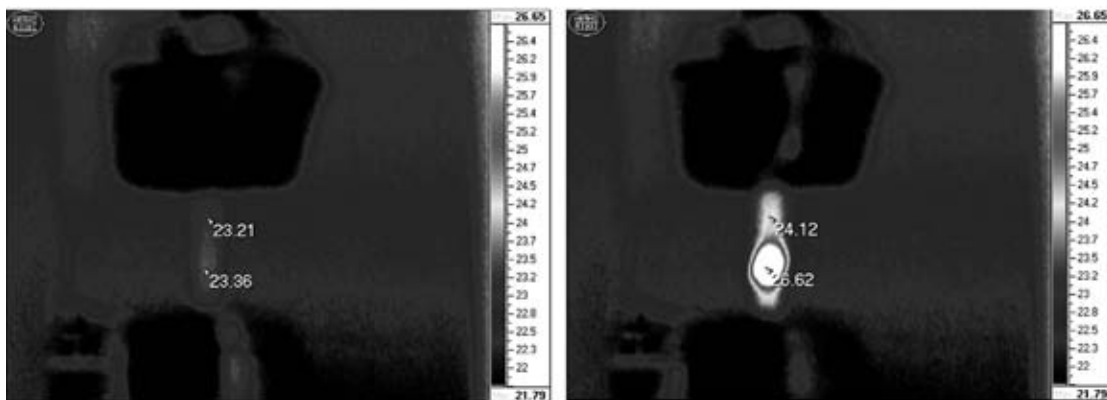


Рис. 2. Последовательность термограмм поверхности образца в процессе его нагружения

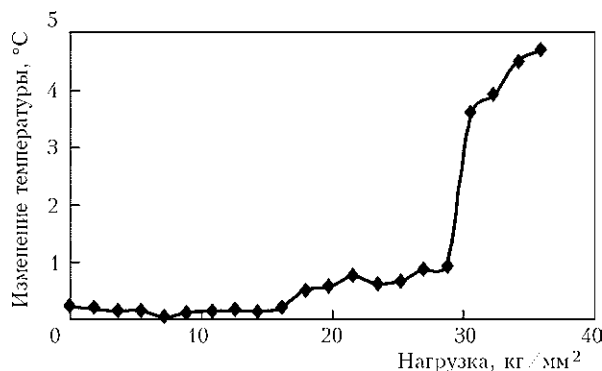


Рис. 3. Перепад температуры в области концентратора напряжения

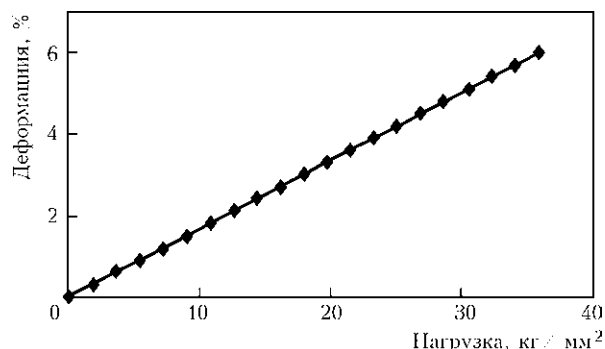


Рис. 4. Зависимость величины деформации от нагрузки

способность теплового контроля со скоростью нагружения исследуемого объекта, и, наконец, описан метод определения истинного размера области концентрации напряжений, исходя из размера нагретой области.

Экспериментальные исследования проведены на образцах из ПКМ.

На рис. 1 показана экспериментальная установка для исследования теплового поля образцов из ПКМ при их циклическом нагружении.

На рис. 2 представлена последовательность термограмм поверхности образца в процессе его нагружения. Видно, что в соответствии с увеличением величины нагружения величина температурной аномалии, в области внутреннего концентратора напряжения возрастает.

На рис. 3, 4 приведены некоторые результаты обработки экспериментальных данных.

Проведенные исследования показали, что тепловым методом возможно определять местонахождение внутренних концентраторов напряжения в конструкциях из ПКМ и прогнозировать предельную величину нагружения либо количес-

тво циклов нагружения не доводя изделие до разрушения. Это дает возможность прогнозирования ресурса безопасной эксплуатации конструкций из ПКМ в процессе их реальной эксплуатации.

Авторы выражают благодарность инженеру Гульбису М. А. за работу по проведению экспериментов.

1. Rittel D. Thermomechanical aspects of dynamic crack initiation // Intern. J. of Fracture. — 1999. — **99**. — P. 202–212.
2. Dunaev I. M., Dunaev V. I. Thermomechanics of brittle fracture // Ibid. — 2004. — **128**. — P. 81–93.
3. Matvienko Y. G. Local fracture criterion to describe failure assessment diagrams for a body with a crack/notch // Ibid. — 2003. — **124**. — P. 107–112.
4. Rittel D. An investigation of the heat generated during cyclic loading of two glassy polymers. Part I: Experimental // Mechanics of Materials. — 2000. — **32**. — P. 131–147.
5. Rittel D., Rabin Y. An investigation of the heat generated during cyclic loading of two glassy polymers. Pt II: Thermal analysis // Ibid. — 2000. — **32**. — P. 149–159.
6. Матвиенко Ю. Г. Модели и критерии механики разрушения. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. — С. 212.
7. Rabin Y., Rittel D. Infrared temperature sensing of mechanically loaded specimens: thermal analysis // Experimental Mechanics. — 2000. — **40**. — P. 1–6.
8. Тепловой неразрушающий контроль изделий / О. Н. Будадин, А. И. Потапов, В. И. Колганов и др. — М.: Наука, 2002. — 472 с.

Поступила в редакцию
23.02.2011

ВНЕСОК НВФ «ЗОНД» У ВИРІШЕННЯ ОСНОВНИХ ЗАВДАНЬ ТЕХНІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ ОБ'ЄКТІВ НАФТОГАЗОВОГО КОМПЛЕКСУ

О. М. КАРПАШ, д-р техн. наук, **Я. М. ЗІНЧАК**, **М. О. КАРПАШ**, **І. І. ЦЮЦЯК**, канд. техн. наук
(Івано-Франків. нац. ун-т нафти і газу)

Розглядаються актуальні питання технічної діагностики в нафтогазовій промисловості. Висвітлено основні технічні засоби та приведено нормативні документи.

Burning problems of technical diagnostics are considered. General technical means and normative documents are outlined.

Аналіз аварій і надзвичайних ситуацій техногенного характеру в Україні за останні роки показав, що майже у половині випадків причини їх виникнення мають технічний характер (незадовільний технічний стан споруд, конструкцій, обладнання та інженерних мереж, їх значна зношеність, яка має тенденцію до зростання, припинення їх оновлення) [1]. Сьогодні ми знаходимось у ситуації, коли зниження показників експлуатаційної надійності устаткування перейшло критичну межу. Процес забезпечення безвідмовності функціонування є особливо актуальним для об'єктів підвищеної небезпеки.

Не є виключенням і нафтогазова промисловість. Внаслідок аварій нафтогазовий сектор економіки несе великі втрати через смертність людей та погіршення їх стану здоров'я; руйнування та пошкодження основних фондів виробничого та невиробничого призначення, знищення майна; екологічні наслідки аварій (забруднення довкілля, знищення сільськогосподарських угідь, погіршення якості рекреаційних ресурсів); недовироблення вуглеводнів внаслідок припинення процесів видобування, транспортування чи перероблення.

Незважаючи на те, що керівництво нафтогазовою промисловістю, захищаючись від загроз виникнення аварій, проводить ряд заходів (управлінських, організаційних, правових, технічних, науково-методологічних), тенденція збільшення кількості аварій свідчить про недосконалість стратегії прийнятих рішень.

Через економічні причини основним підходом, прийнятим в Україні, є не оновлення споруд, конструкцій, обладнання та інженерних мереж, а управління експлуатаційним строком їх надійного та безпечного використання шляхом визначення залишкового ресурсу і встановлення нових строків експлуатації, що перевищують проектні.

На наукові установи покладається відповідальність за забезпечення безаварійної роботи

згаданих вище об'єктів в частині розроблення методичних основ оцінки залишкового ресурсу та встановлення нових термінів.

Українські наукові організації тривалий час займаються проблемами надійності техніки. Можна виділити чотири основних напрямки наукових досліджень [2]:

- підвищення надійності і довговічності матеріалів, машин та конструкцій;
- підвищення експлуатаційної надійності енергетичного устаткування електро- та атомних станцій;
- підвищення надійності трубопровідних систем;
- підвищення надійності функціонування складних систем.

Принаймні три з зазначених напрямків стосуються нафтогазової промисловості.

У зв'язку з тим, що Україна є транзитною державою з транспортування вуглеводнів із сходу на захід та враховуючи наявність постійних політичних конфліктів з Росією, особливого значення має напрям досліджень підвищення надійності трубопровідних систем.

Переважна кількість робіт цього напрямку стосується методів і систем технічної діагностики магістральних трубопроводів та обладнання компресорних станцій.

Ці роботи проводяться науковцями і стосовно інших об'єктів підвищеної небезпеки, перелік яких визначений Постановою Кабінету Міністрів України від 15.10.2003 р. № 1631.

До таких об'єктів в тому числі відносяться наступні об'єкти нафтогазової промисловості [3]:

- обладнання основних виробництв нафтогазовидобувної та нафтопереробної промисловості;
- обладнання лінійної частини магістральних газопроводів, нафтопроводів та технологічне обладнання, яке використовується при їх експлуатації;

– лінійні частини газопроводів систем газопостачання природних і зріджених газів, споруди на них та газокористувальне обладнання.

Кожна держава повинна мати важелі забезпечення безпечної експлуатації споруд, конструкцій, устаткування та інженерних мереж. До них належить [4]: державна стандартизація; державна експертиза; технічне діагностування; державне ліцензування; декларування безпеки потенційно небезпечних об'єктів та їх страхування.

Тільки у поєднанні і правильному застосуванні перелічених важелів можливе значне зниження ризиків виникнення аварійних ситуацій. На жаль, в Україні відсутні законодавчі документи, які вибудовували б струнку систему поєднань цих важелів на всіх життєвих циклах техногенних об'єктів, а саме: у процесі проектування, виготовлення, експлуатації, ремонту та утилізації [5].

У цій статті розглядається один із важелів запобігання виникнення аварійних ситуацій — технічна діагностика. Для технічного діагностування використовують широкий спектр різноманітних методів дослідження і контролю (неруйнівний контроль, руйнівний контроль, інженерні розрахунки, дослідження стану довкілля, ґрунтів, повітря тощо).

Основним предметом дослідження неруйнівного контролю є дефекти матеріалів і конструкцій, які за несприятливих умов навантаження і експлуатації призводять до руйнування конструкцій, відмов устаткування та аварій. Дефекти мають певну природу. Їх можна класифікувати як дефекти проектування, виготовлення, будівництва, монтажу та експлуатації.

Ідеологія технічної діагностики полягає у виявленні дефектів, визначенні їх параметрів, аналізі їх критичності, застосуванні процедур усунення дефектів, ремонті і оновленні устаткування.

Отже, технічна діагностика є практичним інструментом вироблення інформації, на основі якої можуть розраховуватися показники надійності окремих конструктивних елементів і рівні ризиків складних технічних систем.

Основне завдання технічної діагностики — оцінка залишкового ресурсу об'єктів, що експлуатуються.

Як показує світова практика, для того, щоб розрахувати залишковий ресурс, наприклад, магістрального трубопроводу, необхідно мати як мінімум 34...37 параметрів, в тому числі дані про виявлений дефект та властивості матеріалу у зоні дефекту.

Якщо з технічними засобами і технологіями виявлення дефектів типу порушення суцільності матеріалу та вимірюванням геометричних характеристик більш-менш усе гаразд, то в контролі фізико-механічних, на наш погляд, є певна невиз-

наченість, у першу чергу, через недостатню обґрунтованість і розуміння що, як і коли необхідно вимірювати.

Найбільш підступною причиною раптових руйнувань об'єктів є внутрішні залишкові напруження, що виникають у конструкції, окремій деталі. Такі напруження в сталях можуть досягати межі текучості і часто виявляються більш небезпечними до зменшення міцності, ніж інші типи дефектів.

Тому міцність, надійність та готовність конструкції для використання за експлуатаційним призначенням переважно визначається наявністю, характером та величиною робочих (векторна сума технологічних, навантажувальних та експлуатаційних напружень) і фактичних внутрішніх напружень.

Слід зазначити, що для одержання достовірних результатів розрахунку залишкового ресурсу міцності об'єктів тривалої експлуатації необхідно в першу чергу знати фактичні механічні характеристики матеріалу, без чого немає змісту визначати абсолютні величини внутрішніх напружень, бо їх нема з чим порівнювати. Як правило, на вирішення даного завдання направлено більшість існуючих засобів контролю напружено-деформованого стану. У таких випадках більш коректно говорити про якісні зміни поля напружень. Окрім того, необхідно знати і характеристики напружено-деформованого стану, що виник до певного часу експлуатації.

Це є головним не тільки в оцінці статичної міцності об'єкта, але й визначальним у вивченні та оцінці утомної міцності у зв'язку з локальним характером руйнування та його сильній залежності від фактичного напружено-деформованого стану матеріалу.

Також однією з причин руйнувань конструкцій може бути деградація матеріалу в процесі тривалої експлуатації.

Під час вирішення проблеми надійності об'єктів відповідного призначення послідовно виникають наступні завдання: визначення залишкових напружень; визначення характеру внутрішніх напружень та значень їх складових; визначення фактичних механічних характеристик матеріалів і характеристик матеріалів та характеристик напружено-деформованого стану.

На наш погляд це основні завдання, які необхідно вирішувати як у технічному, так і технологічному (методичному) плані.

Також вкрай важливим є формування єдиної організаційної структури управління процесом технічного діагностування.

Акцентуючи увагу на вдосконаленні в Україні діяльності із попередження аварійних ситуацій, необхідно відзначити, що практично вся діяльність покладена на Держгірпромнагляд України, який тримає у своїх руках важелі безпосереднього управління та регулювання. Адже технічне посвід-

чення, технічне діагностування, експертиза проєктів нової техніки і технологій, реєстрація та технічний огляд технологічного транспорту, навчання спеціалістів — це ті елементи державного нагляду і контролю, від яких залежить рівень безпеки і безаварійності промислових об'єктів.

У цьому напрямку Держгірпромнаглядом України підготовлено ряд законодавчих документів. Зокрема врегульована підготовка та сертифікація фахівців з неруйнівного контролю (НПАОП 0.00-1.27-97, НПАОП 0.00-8.14-97) [6, 7]. Постановою КМ України від 26.05.2004 № 687 затверджено НПАОП 0.00-6.18-04 «Порядок проведення огляду, випробування та експертного обстеження (технічного діагностування) машин, механізмів, устаткування підвищеної небезпеки» [8]. Однак в останньому документі є ряд суперечливих положень, крім того, на практиці не виконуються усі його вимоги. Зокрема, технічне діагностування устаткування проводиться власником цього устаткування, що суперечить п.4 цього документу та загальноприйнятій світовій практиці, а це призводить до суб'єктивності та недостовірності результатів технічного діагностування.

На покращення наукового підґрунтя забезпечення надійності і безпечної експлуатації споруд, конструкцій, устаткування та інженерних мереж призвана Державна науково-технічна програма «Ресурс» [9], яка затверджена постановою КМ України від 08.10.2004 р. № 1331. Програма націлена також на вирішення проблем продовження залишкового ресурсу, що особливо актуально в умовах значної зношеності основних виробничих фондів. Програма охоплює такі важливі наукові напрями, як розроблення теорії наукових основ нормування безпеки, методів, критеріїв та правил розрахунку нормативного ресурсу об'єктів довготривалої експлуатації, створення методології єдиної системи надійності і безпечного стану конструкцій, споруд та інженерних мереж, розроблення методології створення державного реєстру небезпечних об'єктів та систем моніторингу їх технічного стану.

Фінансування виконання Програми незначними коштами проводилось впродовж 2005–2007 років. При мізерному фінансуванні і в такі короткі терміни неможливо виконати усі завдання Програми. Очевидно, що вона розглядається, певним чином, як підготовчий етап, оскільки її першочерговим завданням є визначення пріоритетних напрямів і завдань відповідних наукових досліджень. Без подальшого фінансування, що спостерігається сьогодні, кінцевого результату не буде досягнуто. На наш погляд подальше фінансування повинні взяти на себе галузеві інституції.

Технічна діагностика є комплексною, наукоємкою і міждисциплінарною галуззю. Вона спирається на результати багатьох фундаментальних досліджень. Саме тому при проведенні технічного

діагностування не слід відкидати людський фактор. Достовірність результатів технічного діагностування не можна вважати однозначною без врахування того, яка кваліфікація фахівців і в яких умовах проведене діагностування. Людський фактор проявляється як в організації огляду і контролю, так і в інтерпретації результатів контролю, діагностування та прийняття на їх основі рішень. Одним із завдань програми «Ресурс» є створення єдиної системи підготовки, підвищення кваліфікації та атестації фахівців з питань забезпечення надійності та безпечної експлуатації споруд, обладнання та інженерних споруд, оцінки та діагностики технічного стану об'єктів.

У цілому методологічна основа технічного діагностування повинна відповідати вимогам Міждержавного стандарту ГОСТ 27-310-95 [10]. Вона полягає у наступному:

- виявлення можливих видів відмов складових частин і об'єкта в цілому, вивчення їх причин і умов виникнення та розвитку;
- визначення можливих несприятливих наслідків виявлених відмов, проведенні якісного аналізу вагомості наслідків відмов або кількісної оцінки їх критичності;
- складання і періодичне коригування переліку критичних елементів та технологічних процесів;
- оцінювання достатності передбачених засобів і методів контролю здатності до функціонування і діагностування об'єкту для своєчасного виявлення і локалізації його відмов, обґрунтування необхідності введення додаткових засобів і методів сигналізації, контролю і діагностування;
- розробка пропозицій і рекомендацій щодо змін конструкційних елементів або технологічних процесів, спрямованих на зменшення імовірності і вагомості наслідків відмов, оцінювання ефективності раніше виконаних доопрацювань.
- оцінювання достатності у системі технологічності обслуговування контрольно-діагностичних і профілактичних процедур, спрямованих на попередження відмов під час експлуатації, внесення пропозицій щодо коригування методів і періодичності технічного обслуговування;
- аналіз правил поведінки персоналу в аварійних ситуаціях, передбачених експлуатаційною документацією, внесення пропозицій з їх вдосконалення;
- аналіз можливих помилок персоналу під час експлуатації, технічного обслуговування і ремонту, оцінювання їх можливих наслідків. Внесення пропозицій з вдосконалення додаткових засобів захисту від помилок персоналу.

Така методологічна основа повинна сприяти значному скороченню відмов та аварійних ситуацій.

Неруйнівний контроль та технічна діагностика об'єктів нафтогазової промисловості беруть початок у 1960-х роках в м. Івано-Франківську. Цьому слугувало завдання трьох міністерств СРСР

(Мінгео, Мінгазпром, Міннафтопром) розробити технічні засоби і методики виявлення дефектів у різьбовій частині бурильних труб, коли у процесі буріння глибоких свердловин нафтогазові підприємства терпіли великі економічні втрати через аварії з бурильними колонами. Наукові дослідження проводилися у ЦНДЛ ВО «Укрнафта», потім в СКТБ «Надра» ІФНТУНГ та Івано-Франківському філіалі Всесоюзного науково-дослідного інституту розробки та експлуатації нафтопромислових труб. Ці дослідження закінчилися успішно і були втілені у пересувний дефектоскопічний лабораторії ПДУ-1М.

Згодом науковий потенціал цього напрямку зосередився у Науково-виробничій фірмі «Зонд», яка у 2010 р. відзначає свій 20-річний ювілей. Наказом Держнафтогазпрому № 125 від 12.10.1995 р. фірма «Зонд» призначена головною організацією з розроблення, виготовлення та впровадження технічних засобів і технологій неруйнівного контролю та технічної діагностики нафтогазопромислового обладнання та інструменту. Цим же наказом на фірму покладено обов'язки вирішення всіх питань технічного і методичного забезпечення та підготовки та атестації дефектоскопістів для галузі [11].

Своїми розробками, науковими публікаціями та послугами фірма добре відома як в Україні, так і за кордоном. За розроблення, виготовлення та впровадження технічних засобів і технологій технічного діагностування об'єктів нафтогазової промисловості ряд фахівців фірми стали лауреатами Державної премії України в галузі науки і техніки [12].

Сьогодні підприємства нафтогазового комплексу озброєні розробленими на фірмі рядом спеціалізованих технічних засобів та технологій, які дозволяють на сучасному рівні проводити технічне діагностування обладнання, інструменту та інженерних мереж.

До них можна віднести:

Технічні засоби: ряд переносних дефектоскопічних установок типу «Зонд»; комп'ютеризовані пересувні лабораторії неруйнівного контролю «ПЛНК-1», «ПЛНК-2», «ПЛНК-9»; пересувний комп'ютеризований комплекс для безконтактного контролю насосно-компресорних труб «Магніскан-2К»; комп'ютеризований стаціонарний комплекс для неруйнівного контролю нафтопромислових труб «Зонд-СОТ»; комп'ютеризована стаціонарна установка для контролю поліетиленових труб в процесі їх виробництва «ПОЛІМЕР-4К»; ультразвуковий прилад для контролю величини корозійної зношеності і визначення залишкової товщини стінки труб і виробів з плоскою поверхнею «КТУ-1»; прилад для визначення фізико-механічних характеристик і сортування за групами міцності сталей бурильних і насосно-компресорних труб «СІГМА 10.1»; тра-

сошукач «ПКі-1», «ПОШУК-1» для виявлення підземних інженерних мереж (сталевих та пластмасових труб, електрокабелів); сканери типу «ГНОМ»; п'єзоелектричні перетворювачі для ультразвукового контролю труб нафтового сортаменту та нафтогазопромислового устаткування.

Нормативні документи:

НВФ «Зонд» у співпраці з академічними та галузевими науково-дослідними установами для нафтогазової галузі розроблено та впроваджено 18 нормативних документів [13–30].

НВФ «Зонд» також надає послуги підприємствам галузі з технічного діагностування нафтогазопромислового устаткування та інструменту. У 2010 р. вона отримала статус уповноваженої організації Держгірпромнагляду України (Наказ Держгірпромнагляду України від 15.03.2010 р. № 59).

На фірмі функціонує акредитована Національним агентством з акредитації України випробувальна лабораторія, яка проводить сертифікаційні випробування нафтогазопромислового устаткування та інструменту (Атестат акредитації від 18.10.2010 р. № 2Е593).

Діяльність НВФ «Зонд» з 1999 р. регулюється сертифікованою на відповідність вимогам стандартів серії ДСТУ ISO 9000 системою управління якістю (сертифікат на систему управління якістю від 15.07.2007 р. № UA2.047.02631–07).

За 2004–2010 роки фахівцями фірми на підприємствах нафтогазового комплексу продіагностовано:

бурових веж — 294 од.;

фонтанних запірних арматур та колонних головок — 1210 од.;

посудин, що працюють під тиском — 516 од.;

спецтехніки та вантажо-підіймального обладнання — 283 од.;

верстатів-качалок — 83 од.;

компресорних установок — 5 од.

Висновки

1. Технічна діагностика є комплексною, науковою і міждисциплінарною наукою і є важливим важелем забезпечення надійної експлуатації об'єктів нафтогазового комплексу.

2. Технічна діагностика є інструментарієм, який подає інформацію, на базі якої розраховуються показники надійності, залишкового ресурсу і рівні ризиків нафтогазопромислових об'єктів.

3. Результати технічного діагностування будуть вагомішими при значній увазі до його розвитку зі сторони керівництва галузі, яке повинно забезпечити розроблення нормативно-методичних документів та сприяння науковим дослідженням, розвитку сучасної матеріально-технічної бази.

4. Важливий внесок у розвиток технічної діагностики зробила Науково-виробнича фірма «Зонд».

1. *Розпорядження* Кабінету Міністрів України від 11 червня 2003 р. № 351-р «Про схвалення Концепції Державної програми забезпечення технологічної безпеки в основних галузях економіки».
2. *Звітні матеріали* про роботу Міністерства освіти і науки України в сфері науково-технічної та інноваційної діяльності за 2000 р. — Київ: Міносвіти України, 2001.
3. *Постанова* Кабінету Міністрів України від 15 жовтня 2003 р. № 1631 «Про затвердження переліку об'єктів, машин, механізмів підвищеної небезпеки».
4. *Указ* Президента України від 26.03.1999 р. № 284/99 «Про концепцію захисту населення і територій у разі загрози виникнення надзвичайних ситуацій».
5. Буравльов Є. П., Гетьман В. В. *Управління технологічною безпекою України*. — Київ: Інститут проблем національної безпеки, 2006. — 248 с.
6. *НПАОП 0.00-1.27-97*. Правила атестації фахівців з неруйнівного контролю.
7. *НПАОП 0.00-8.14-97*. Порядок сертифікації персоналу з неруйнівного контролю.
8. *НПАОП 0.00-6.18-04*. Порядок проведення огляду, випробування та експертного обстеження (технічного діагностування) машин, механізмів, устаткування підвищеної небезпеки.
9. Державна науково-технічна програма «Ресурс», затверджена Постановою Кабінету Міністрів України від 08.10.2004 р. № 1331.
10. *ГОСТ 27.310-95*. Межгосударственный стандарт. Надежность в технике. Анализ видов, последствий и критичности отказов. Основные положения.
11. *Наказ* «Держнафтогазпрому» від 12.10.1995 р. № 1103/2006 «Про організацію робіт з неруйнівного контролю та технічної діагностики».
12. *Наказ* Президента України від 20.10.2006 р. № 1103/2006 «Про присудження Державних премій України в галузі науки і техніки 2006 р.»
13. *ДСТУ 4001-2000*. Зварні шви по сталі. Еталонний зразок для калібрування при ультразвуковому контролі.
14. *ДСТУ 4002-2000*. Зварні шви по сталі. Еталонний зразок № 2 для ультразвукового контролю зварних швів.
15. *ГСТУ 320.02829777.001-95*. Положення про службу неруйнівного контролю в нафтовій і газовій галузях. — Київ: Держнафтогазпром України, 1996.
16. *ГСТУ 320.02829777.002-95*. Інструкція по проведенню неруйнівного контролю нарізних труб нафтового сортаменту в процесі їх експлуатації. — Держнафтогазпром України, 1996.
17. *ГСТУ 320.02829777.013-99*. Рекомендації про проведення неруйнівного контролю бурового обладнання. — Міністерство енергетики України, 2000.
18. *ГСТУ 320.02829777.014-99*. Неруйнівний контроль та оцінка технічного стану металоконструкцій бурових веж у розібраному і зібраному станах. — Міністерство енергетики України, 2000.
19. *СТП 320.00135390.066-2002*. Діагностування фонтанних арматур, колонних головок та іншого гирлового обладнання. — Затв. наказом ВАТ «Укрнафта» № 89 від 24.03.2003.
20. *СТП 320.00135390.067*. Оцінка технічного стану вежових підйомників для збирання баштових веж (ПВК-1, ПВУ-35, ПВ2-45, ПВ-5-60, ПВЛ) та механізмів підймання щоглових веж (МПВ, МПВА). — Затв. наказом ВАТ «Укрнафта» № 247 від 30.09.2003.
21. *СТП 320.00135390.068*. Оцінка фактичного технічного стану основ бурових веж — Затв. наказом ВАТ «Укрнафта» № 248 від 30.09.2003.
22. *СТП 320.00135390.069-2002*. Методика технічного діагностування для продовження терміну експлуатації відомортизованого обладнання для видобутку нафти і газу. — Затв. наказом ВАТ «Укрнафта» № 118 від 15.04.2003.
23. *СТП 320.00135390.070-2001*. Методики технічного діагностування для продовження терміну експлуатації технологічного транспорту та спецтехніки. — Затв. наказом ВАТ «Укрнафта» № 138 від 13.05.2003.
24. *СТП 320.00135390.071-2002*. Методика технічного діагностування для продовження терміну експлуатації відомортизованого обладнання для ремонту свердловин. — Затв. наказом ВАТ «Укрнафта» № 216 від 26.08.2003.
25. *СОУ 60.3-30019801-007:2004*. Магістральні газопроводи. Неруйнівний контроль при капітальному ремонті. — Затв. наказом ДК «Укртрансгаз» № 255 від 10.08.2004.
26. *СОУ 11.1-20077720-003:2004*. Арматура фонтанна та головки колонні. Контроль технічного стану. Методи неруйнівні. — Затв. наказом НАК «Нафтогаз України» № 439 від 16.08.2004.
27. *СОУ 11.2-30019775-044:2005*. Засоби для капітального ремонту свердловин. Підймальне обладнання. Вежі та лебідки. Контроль технічного стану. — Затв. наказом ДК «Укргазвидобування» № 365 від 06.07.2005.
28. *СОУ 11.2-30019775-053:2005*. Засоби для капітального ремонту свердловин. Обладнання та інструмент. Контроль технічного стану. — Затв. наказом ДК «Укргазвидобування» № 512 від 27.09.2005.
29. *СОУ 60.3-30019801-031:2005*. Магістральні трубопроводи. Контроль якості зварювання. — Затв. наказом ДК «Укртрансгаз» від 26.12.2005 № 384.
30. *СОУ 60.3-30019801-061:2008*. Технологічні трубопроводи, що працюють під тиском до 10 МПа. Правила експлуатації та ремонту. — Затв. наказом ДК «Укртрансгаз» від 23.07.2008 р. № 254.

Надійшла до редакції
27.10.2010

ПОДГОТОВКА ПЕРСОНАЛА ПО ТЕПЛОВОМУ КОНТРОЛЮ В СИСТЕМЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ ОБЪЕКТОВ

Е. В. АБРАМОВА, канд. техн. наук (НПО «Институт термографии», Москва)

Статья посвящена актуальным вопросам развития направлений теплового контроля, его технологической базе и опыту сертификации персонала.

The paper deals with urgent problems of development of thermal inspection directions, its technological base and experience of personnel certification.

Обеспечение соответствующего уровня безопасной эксплуатации, энергетической и экологической эффективности технических устройств, зданий и сооружений в современных условиях требует развития нормативно-правовой, технической, методической базы неразрушающего контроля (НК) и, в первую очередь, наличия подготовленного квалифицированного персонала.

Современные технологии контроля качества, надежности и энергоэффективности оборудования и строительных конструкций — это, прежде всего, экспресс-обследование с определением точных геометрических, теплотехнических и др. характеристик в натурных условиях неразрушающими методами. Без них построить эффективную систему мониторинга энергетической, промышленной и экологической безопасности невозможно.

Для получения достоверной информации о параметрах внутренней структуры материалов необходимо применять многопараметрический НК, основанный на анализе взаимодействия различных физических полей с материалами.

Значимость диагностики и НК для народного хозяйства будет увеличиваться по мере постоянного повышения тарифов и цен на энергоносители, выхода из строя выработавших свой ресурс промышленных объектов, обуславливающих в свою очередь рост аварийных ситуаций с человеческими потерями.

Как показывает мировой опыт, в ближайшем будущем основой технологий экспресс-диагностики технического состояния различных объектов станут методы НК и совместной обработки результатов многопараметрических спектральных и энергетических измерений.

Традиционными, наиболее востребованными методами НК и большинства материалов и объектов являются визуальный и измерительный, ультразвуковой, радиационный, магнитный и др.

Одним из перспективных методов НК и диагностики является быстро развивающийся тепловой метод, где информацию о параметрах объекта несет температура его поверхности, значения которой в основном определяются изменением теплотехнических, геометрических характеристик и параметров нагрузки.

Любые объекты, эксплуатация которых прежде всего связана с изменением температурных режимов их функционирования могут диагностироваться с использованием теплового контроля (ТК).

В отличие от традиционных методов дефектоскопии, требующих вывода объекта из рабочего состояния, ТК применяется на эксплуатируемых объектах под рабочими нагрузками. Он может быть использован также на начальной стадии оценки технического состояния объекта как «скрининговый», диагностический метод, дающий возможность выявить нарушения в функционировании объекта, более подробный анализ которых в последующем может быть проведен другими методами НК.

На практике применяются, в основном, два способа реализации ТК (рис. 1):

- дефектоскопия, когда заключение о наличии дефекта делается на основе прямых измерений перепадов температур между дефектными и качественными участками в соответствии с различными пороговыми правилами;

- дефектометрия, т. е. определение характеристик дефектов и материалов изделий, в этом случае заключение делается на основе косвенных измерений температур, тепловых потоков, параметров среды и т. д. с использованием различных расчетных математических моделей теплопередачи, что требует специальной подготовки персонала.

Для контроля объектов под нагрузкой в основном применяют пассивные методы ТП. При этом не требуется дополнительно нагревать или охлаждать объект, температурное поле объекта изменяется в силу естественных причин. Активные ме-

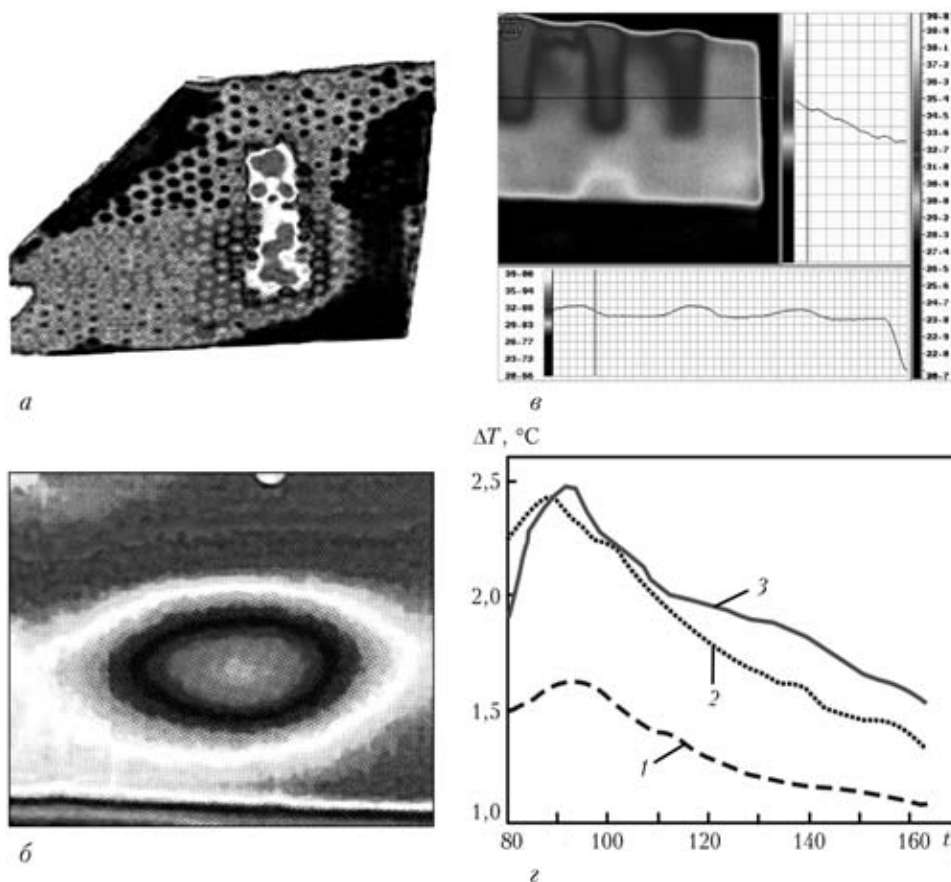


Рис. 1. Способы реализации ТК: а, б — дефектоскопия: определяется местоположение и площадь дефекта по резкому изменению температуры в зоне дефекта в соответствии с принятым пороговым правилом*; в, з — дефектотермия: в — термограмма и термопрофиль (под ней) дефектов типа отслоения штукатурного покрытия от основного материала строительных объектов; з — изменение во времени перепадов температур ΔT на дефектах 1–3, по которым определяют глубину залегания последних

тоды, требующие изменения теплового состояния объекта путем применения нагревающих (охлаждающих) устройств, чаще всего применяют как традиционные методы дефектоскопии, анализирующие его отклик на воздействующую нагрузку в виде нагрева или охлаждения. Наиболее часто их используют для контроля объектов авиации, космонавтики, военно-промышленного комплекса. Пассивные же методы ТК наиболее перспективны для применения в металлургии, нефтехимическом комплексе, газовом хозяйстве, при диагностике технического состояния взрывопожароопасных производств, подъемных сооружений, железнодорожного и других видов транспорта, газо- и нефтепродуктопроводов, зданий и сооружений, энергетике и т. д.

Пассивные и активные методы ТК могут быть использованы на одних и тех же объектах для выявления дефектов разного типа в различных условиях.

Одним из последних документов, подтверждающих актуальность применения ТК и перспективы его развития, является Федеральный закон Российской Федерации от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности».

Принятие Закона регламентирует проведение мероприятий по определению параметров энергоэффективности энергопотребляющих объектов с целью экономии топливно-энергетических ресурсов страны.

Методом НК, с помощью которого можно решить поставленные задачи технического диагностирования, является тепловой. Он позволяет выбрать оптимальные температурные нагрузки функционирования объектов, выявить и определить степень опасности дефектных узлов по признакам их перегрева по отношению к качественным зонам, определить утечки тепла через ограждающие конструкции зданий, оценить их теплопотери через них и т.п.

Востребованность ТК увеличивается год от года. Отмечен специалистами рост в следующих направлениях:

- количестве и качестве аппаратуры контроля, предлагаемой в настоящее время на рынке: от самой простой и относительно дешевой, доступной широкой аудитории, до профессиональных и дорогих тепловизионных камер для проведения уникальных исследований;

* Вавилов В.П. Инфракрасная термография и тепловой контроль. — М.: ООО "Издательский Дом "Спектр", 2009. — 544 с.

– номенклатуре объектов контроля, которая постоянно расширяется, например, с введением в действие упомянутого выше Закона № 261-ФЗ в России постепенно вводится обязательное энергетическое обследование (энергоаудит) зданий перед сдачей в эксплуатацию и в период их функционирования в соответствии с законодательной базой страны; проводится контроль электро- и теплофикационного оборудования, дымовых труб, трубопроводов и т. д.

К сожалению, рост количества специалистов по ТК и развитие технологической базы значительно отстают по своим темпам от роста предложений на рынке производителей приборов ТК. Количество проданных тепловизоров значительно больше, чем количество сертифицированных специалистов, их применяющих. Поэтому даже при наличии совершенной техники можно получить неудовлетворительные результаты контроля.

Зачастую последний осуществляется совершенно неподготовленным персоналом, научившимся правильно «нажимать кнопки» приборов в соответствии с инструкциями по эксплуатации, но не владеющим теоретическими и физическими основами метода, технологией контроля, умением грамотно расшифровывать термограммы и получить подтвержденные измерительными данными результаты с заданной погрешностью. Это приводит к серьезным нарушениям в процедурах диагностики оборудования, выдаче некорректных, а иногда и ошибочных заключений, и, в конечном счете, к дискредитации метода. Ситуация усугубляется еще тем, что нормативные технические документы по ТК в основном устарели, методик контроля крайне мало. Тем самым возрастают требования к квалификации персонала, а так как в России практически нет учебных заведений, в которых бы готовили специалистов по тепловому методу, то возрастает актуальность получения базовых знаний по его теории, технологии и практических навыков в учебных центрах, на курсах повышения квалификации.

Подготовка и оценка уровня квалификации специалистов НК, в том числе и ТК, проводится в специализированных центрах, относящихся к признанным в России и Европе Системам сертификации персонала.

Центры проводят подготовку и сертификацию (аттестацию) персонала в области НК и технического диагностирования на I, II и III квалификационные уровни в соответствии:

– с российскими стандартами в Системе добровольной сертификации персонала неразрушающего контроля Российского общества по неразрушающему контролю и технической диагностике (СДСПНК РОНКТД);

– в Единой системе оценки соответствия в области промышленной, экологической безопасности, безопасности в энергетике и строительстве;

– в системе ISO 17024 в соответствии с европейскими стандартами EN 473, ISO 9712, EN 4179 (один центр в России по ТК);

– в области авиации и космонавтики по российским и европейским нормам (СДСПНК-РОНКТД, EN4179, EASA AMC 145.A.30.(f);

– в области объектов Российского морского и речного регистра судоходства (ГОСТР 51000.9–97, EN 473:2000, СДСПНК, один центр в России по ТК).

Ситуация в области сертификации специалистов планируется к изменению в связи с выходом Указа Президента РФ от 24.01.2011 «О единой национальной системе аккредитации».

Подготовка в Центрах в области ТК должна давать специалистам такие базовые знания, чтобы они могли самостоятельно работать в области диагностирования различных объектов строительства, энергетики, промышленности, подконтрольных Ростехнадзору, в жилищно-коммунальном секторе и другого подчинения.

Спецификой ТК является то обстоятельство, что его объектами являются действующее оборудование, находящееся под нагрузками, эксплуатирующиеся здания и сооружения. При этом объект нельзя принести в испытательную лабораторию, сложно, а зачастую и невозможно создать эталонные образцы с известными дефектами, диагностику нужно проводить в натурных условиях, применять комплексные технологии контроля с использованием бесконтактных, контактных измерений и расчетных моделей теплопередачи для получения корректных результатов контроля. С учетом этих особенностей формируется курс подготовки специалистов в области ТК.

Подготовка персонала должна проводиться специалистами, имеющими личный практический опыт в области ТК, с учетом развития современной технологической и приборной базы. Большое внимание следует уделять нормативной базе и технологии контроля различных видов объектов.

Техническая база ТК включает кроме традиционных тепловизоров контактные приборы измерения величин, необходимых для корректной диагностики объектов, определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций зданий, измерения параметров теплоизоляции, определения степени дефектности объектов электроэнергетики, учета влияния излучательных характеристик поверхности и условий контроля.

Длительность курса в основном составляет 2 недели, при этом 3/4 времени занимает изучение теории и технологии контроля, получение практических навыков по его проведению, остальное время посвящается сдаче квалификационных эк-

замен. Важно уделять внимание вопросам ознакомления с современными приборами, предлагаемыми на рынке различными фирмами, грамотному выбору оптимальной аппаратуры по техническим характеристикам и стоимости. Для слушателей важно изучение технологических документов по проведению ТК различных объектов, актуальна информация по решению организационных вопросов создания технической базы испытательных лабораторий ТК, имеющих признание как независимые и технически компетентные в своей области аккредитации.

Опыт автора в области подготовки и сертификации персонала ТК свидетельствует о том, что в ряде случаев существует необходимость строить индивидуальные планы подготовки специалистов по желанию заказчика, в зависимости от базовых знаний и навыков кандидатов, включающие углубленное изучение технологии ТК тех объектов, которые представляют для них наибольший интерес.

Например, в области подготовки специалистов по ТК зданий и сооружений рассматриваются дополнительно российский и зарубежный опыт термографии, существующие нормативные документы, особенности технологии контроля применительно к разным типам ограждающих конструкций зданий, оптимальные расчетные модели теплопередачи в стационарных и нестационарных режимах воздействия внешних и внутренних температур, условия контроля, необходимый состав приборов и дополнительного оборудования, разрабатываются подробная технологическая инструкция по проведению контроля, форма отчета, процедуры заполнения энергетического паспорта, вплоть до существующих расценок на проведение работ по диагностике.

Общий курс подготовки включает теоретические и методические основы метода, разработку технологических карт контроля различных объектов, практические занятия и сдачу сертификационных экзаменов.

В рамках теоретической части подготовки рассматриваются:

- физические основы метода;
- принципы построения аппаратуры контроля;

- способы измерения основных информационных параметров;
- метрологическое обеспечение контроля.

Подготовка по методическим основам ТК включает следующие темы:

- основные положения технологии контроля различных объектов;
- наиболее применяемые на практике расчетные модели теплопередачи;
- выбор аппаратуры для контроля конкретных объектов;
- особенности расшифровки термограмм с учетом конструкции объектов и параметров окружающей среды;
- способы идентификации дефектов;
- оценка мешающих факторов;
- определение качества объекта.

Практические занятия проводятся:

- в лабораторных условиях на образцах и имитаторах дефектов;
- в натуральных условиях на реальных объектах;
- путем расшифровки термограмм контролируемых объектов из информационной базы в соответствии с заявкой сертифицируемого специалиста (рис. 2). В качестве учебного образца по строительству Центры подготовки и сертификации персонала могут использовать само здание, где они располагаются.

Очень важно уделять внимание обратной связи с сертифицированными специалистами с целью оптимизации курса по замечаниям слушателей; создания базы термограмм, образцов заключений по ТК; оказания методической помощи по вопросам проведения диагностики различных объектов. Это очень важная часть в подготовке специалистов. Материал набирается при общении со специалистами, имеющими высокую квалификацию и большой опыт работы, специфические знания особенностей технологии.

Личный опыт автора в области сертификации персонала по ТК показывает, что слушателей курсов подготовки прежде всего интересуют вопросы технологии контроля различных объектов, получение информации о нормативно-правовой базе его применения в нашей стране, приобретения средств ТК, оптимальных с точки зрения обеспе-



Рис. 2. Экзаменационные образцы: а — образец с внутренними дефектами из стеклопластика; б — контактное соединение — термограмма; в — дымовые трубы — термограмма

чения полноты требуемых технических характеристик и привлекательной стоимости, а также критерии признания технической компетентности испытательных лабораторий, осуществляющих свою деятельность в области энергетической и промышленной безопасности.

В силу того, что в области ТК большинства объектов отсутствуют нормативные технологические документы по проведению контроля, оценке уровня дефектности, определению пороговых правил и выдаче заключений по результатам диагностики важное значение имеет разработка методических документов по технологии контроля.

В рамках Схем сертификации персонала только специалисты высшей квалификации (III уровень) разрабатывают методические документы по НК, в том числе и по ТК. Это очень важное направление, но в сложившейся ситуации оно практически не финансируется, и только энтузиасты своего дела работают в этой области.

Согласно требований Единой системы оценки соответствия в области промышленной, экологической безопасности, безопасности в энергетике и строительстве методические документы по НК должны включать следующие разделы: область применения; нормативные ссылки; терминология, принятые сокращения; общие положения; органи-

зация контроля; квалификация персонала; средства контроля; подготовка к контролю; настройка средств контроля; проведение контроля; оценка качества; оформление результатов контроля; требования безопасности.

Разработанные специалистами методические документы, аттестованные принятым порядком соответствующими органами, имеют статус разрешающего документа по технологии НК опасных производственных объектов. Такие документы могут применять центры для изучения на курсах подготовки персонала и сдачи квалификационных экзаменов.

Выводы

Комплексный подход к подготовке и сертификации специалистов в разных областях применения ТК, включая строительство и электроэнергетику, оценку технической компетентности испытательных лабораторий, а также разработку и аттестацию методических документов по технологии его проведения обеспечит оптимальные условия для решения важных задач безопасности эксплуатации и повышения энергоэффективности различных объектов.

Поступила в редакцию
02.03.2011

Новый издательский проект!

Уважаемые коллеги! Сообщаем вам об основании нового международного журнала по проблемам неразрушающего контроля. **Издатели журнала:** УО НКТД и РО НКТД, **участники проекта** — национальные общества НК (по желанию).

Идея такого проекта объясняется необходимостью общения специалистов НК бывших стран СССР в плане обмена опытом и возможных совместных работ. Несмотря на деградацию прикладной науки во всем мире, нам надо максимально использовать имеющийся научный потенциал.

♦ Журнал будет иметь информационную направленность и ориентирован на руководителей предприятий, лабораторий НК, сертификационных и учебных центров, а также на широкий круг специалистов НК как в странах — участницах проекта, так и за рубежом.

♦ Главным редактором журнала согласился стать президент РО НКТД академик **Клюев В.В.**, заместителем главного редактора — президент УО НКТД профессор **Троицкий В.А.**

♦ Первый номер журнала планируется к выходу осенью этого года и будет посвящен подробному представлению состояния НК и ТД в странах — участницах проекта, а также деятельности национальных обществ НК.

Перечень постоянных рубрик журнала: Новости ♦ Интервью номера ♦ Общества НК (информация об обществах) ♦ Выставки, семинары, конференции (подготовка, отчеты, реклама, календарь мероприятий) ♦ Современные технологии (технические статьи, обзоры, информация об оборудовании и приборах и т.д.) ♦ Подготовка специалистов (системы сертификации, требования к специалистам, международное признание сертификатов, библиотека специалистов, информационные ресурсы для подготовки и т.д.) ♦ Нормативные документы и стандарты (документы, проекты документов, обсуждения) ♦ Обратная связь (ответы специалистов на вопросы читателей журнала) ♦ Контактные данные обществ.

Тираж журнала — минимум 5000 экземпляров, объем примерно 80 полос формата А4.

Журнал будет бесплатным для читателей.

Издание журнала планируется в Москве ООО "Издательский Дом "Спектр".



16-я СЕССИЯ НАУЧНОГО СОВЕТА ПО НОВЫМ МАТЕРИАЛАМ ПРИ КОМИТЕТЕ ПО ЕСТЕСТВЕННЫМ НАУКАМ МЕЖДУНАРОДНОЙ АССОЦИАЦИИ АКАДЕМИЙ НАУК

25–27 мая 2011 г. в Киеве в ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины состоялась 16-я сессия Научного совета по новым материалам при Комитете по естественным наукам Международной ассоциации академий наук (МАН). Тематика сессии «*Новые процессы получения и обработки конструкционных и функциональных материалов*».

В заседании Научного совета приняли участие более 100 ученых и специалистов в области материаловедения от академий наук, вузов и предприятий Беларуси, России и Украины.

25 мая, в первый день работы Научного совета, прошло заседание секции совета по материалам на основе полимеров, 26 мая состоялось пленарное заседание, 27 мая заседала новая секция «Биоматериалы и хирургия».

Открыл пленарное заседание Научного совета его председатель, президент МАН, президент НАН Украины, директор ИЭС им. Е. О. Патона академик Б. Е. Патон. Он напомнил участникам сессии о том, что еще в 1964 г. президент академии наук СССР академик М. В. Келдыш выступил с инициативой создания научного совета «Новые процессы получения и обработки металлических материалов». В этом же году академик М. В. Келдыш подписал распоряжение о создании этого совета. Затем в сферу деятельности совета были включены полимерные и керамические материалы, композиты.

В современных условиях деятельность совета должна способствовать развитию новых направлений получения и обработки материалов. Серьезные достижения сейчас есть в области создания биоматериалов, которые применяются при трансплантации некоторых органов человека. В связи с этим было решено создать в совете по новым материалам секцию «Биоматериалы и хирургия». Возглавить секцию предложено чл.-кор. НАН Украины И. С. Чекману.

Далее академик Б. Е. Патон ознакомил участников сессии с программой и регламентом работы шестнадцатого пленарного заседания, на котором были заслушаны 14 докладов, посвященных широкому кругу проблем в области материаловедения.

Академик РАН Е. Н. Каблов (Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов (ВИАМ), Москва, Российская Федерация) выступил с комплексным докладом «Перспективные полимерные композиционные материалы (ПКМ) и натурные климатические испытания. Технологические платформы как основной механизм формирования инновационной экономики».

ПКМ, как и другие композиционные материалы — это гетерогенные материалы, состоящие из двух или более компонентов (армирующие элементы и матрица), которые отличаются по химическому составу и структуре и имеют ярко выраженную границу раздела фаз. Главное преимущество ПКМ в том, что материал, технология и конструкция в этом случае создаются одновременно, в отличие от конструкций из металлических сплавов. ПКМ применяются в настоящее время в изделиях гражданской и военной авиации, космической отрасли, судостроении, топливно-энергетическом комплексе, автомобилестроении и других отраслях народного хозяйства. В ВИАМе разработаны новые эпоксидные связующие для различных технологий изготовления ПКМ, выпущены комплекты нормативной и технологической документации, налажена поставка опытных партий связующих и препрегов. Для разработки, организации производства и продвижения на рынок новых полимерных композиционных материалов (связующих, наполнителей, препрегов, объемно-армированных гибридных и градиентных материалов), технологий производства изделий из них, включая способы защиты и соединения с другими материалами в России реализуется проект технологической платформы «Новые полимерные композиционные материалы и технологии».

Для создания единой системы обеспечения безопасной эксплуатации, повышения работоспособности, увеличения межремонтных и календарных сроков, гарантированного применения в любых погодных и природных условиях новейших материалов, образцов вооружения, военной, специальной техники (ВВСТ) и других сложных технических систем (СТС) гражданского и оборонного комплексов подготовлен проект технологической платформы «Национальная сеть центров климатических испытаний».

Созданию нового поколения химических источников тока, содержащих нитевидные кристаллы оксидов переходных элементов, был посвящен доклад «Инженерия функциональных и конструкционных материалов» академика РАН Ю. Д. Третьякова и д-ра техн. наук Е. А. Гудилина (Факультет наук о материалах МГУ, Москва, Российская Федерация). Новые литиевые химические источники тока (ХИТ) отличаются малой степенью саморазряда (2...10 % в месяц), хорошей циклируемостью (до 1000 циклов) и длительным временем эксплуатации (~ 5 лет). Такие ХИТ применяются в сотовых телефонах, компьютерах, спутниках, ги-



бридных двигателях и т. д.

Д-р техн. наук Л. И. Леонтьев (Институт металлургии Уральского отделения РАН) в докладе «Новые перспективные материалы и технологии их получения» рассказал об электрохимической технологии производства металлических нанопорошков, технологии получения нанопорошков металлов методом термического разложения оксалатов и о получении металлических порошков и дроби методом распыления. Разработаны конструкционные порошковые стали с новым композиционным типом структуры, состоящей из крупных сферических частиц железного порошка, связанных по границам мелкозернистыми прослойками на основе нанопорошков медноникелевых сплавов, диффузионно-насыщенных железом и дисперсно-упрочненных включениями ZrCb. Новые стали по прочности и пластичности в 2–4 раза превосходят аналогичные по составу и полученные из смеси обычных порошков.

Академик НАН Украины Б. А. Мовчан в докладе «Электронно-лучевая технология твердо- и жидкофазных медицинских субстанций с наноразмерной структурой» ознакомил присутствующих со схемами и некоторыми параметрами электронно-лучевого испарения неорганических веществ. Было показано, что открытые (сообщающиеся) поры размером меньше 0,1 мкм пористой неорганической матрицы образуют эффективную систему физико-химических нанореакторов. Эти нанореакторы способны при использовании определенных технологических параметров осаждения металла и вещества матрицы (температуры подложки, введения газов в технологическую камеру, ионизации парового потока и др.) и последующих химико-термических обработок полученных конденсатов управлять составом, формой, размером и структурой наночастиц неорганических материалов. На основе проведенных исследований создана электронно-лучевая установка для производства твердофазных и жидкофазных медицинских субстанций с наночастицами неорганических материалов.

Доклад д-р техн. наук В. М. Бузника (Институт металлургии и материаловедения им. А. А. Байкова РАН, Москва, Россия) был посвящен проблеме применения фторполимеров в конструкционном и функциональном материаловедении. Фторполимеры — высокомолекулярные полимерные соединения, в которых водород частично или полностью замещен на фтор, они являются антропогенными материалами и не имеют природных аналогов. В конструкционном материаловедении фторполимеры могут применяться непосредственно в качестве конструкционного материала, покрытий отдельных деталей и изделий. В функциональном материаловедении их применяют в качестве электроизоляционных, оптических, антиадгезионных, антипригарных, протекторных, трибологических,

фильтрационных материалов и др. В настоящее время фторполимеры применяют в атомной и химической промышленности, авиационной и космической технике, электронике и электротехнике, в автомобилестроении, в строительстве, медицине и т. д. Для дальнейшего продвижения фторполимеров в народное хозяйство в России создан консорциум «Фторполимерные материалы и нанотехнологии».

Д-р техн. наук В. И. Лысак (Государственный технический университет, Волгоград, Россия) в докладе «Новые пути и подходы к созданию композиционных металлических, металло-керамических и интерметаллидных материалов» рассказал о композиционных материалах, получаемых сваркой взрывом. Разработаны технологии получения слоистых, армированных, дискретно-упрочненных композитов, композитов с интерметаллидными упрочняющими слоями, прессовок из порошков и наноматериалов. Создана автоматизированная система проектирования металлических слоистых композиционных материалов, композитных деталей и узлов и технологических процессов их изготовления сваркой взрывом.

Доклад д-р физ.-мат. наук В. Г. Гаврилюка был посвящен исследованию водородной хрупкости металлов и перспективам разработки водородостойких сталей. В сталях водородная хрупкость проявляется в том случае, если атомы водорода сопровождают дислокации. При этом с увеличением скорости деформации температурный интервал водородной хрупкости повышается. Электронная концепция водородной хрупкости позволяет предсказать влияние легирующих элементов на водородную хрупкость, что может быть использовано для разработки водородостойких сталей. Легирование элементами, расположенными слева от железа в периодической таблице, может быть эффективным для уменьшения водородной хрупкости. Cr, Si, Mn, Mo повышают стойкость к водородной хрупкости. Влияние Ni на водородную хрупкость положительно только благодаря стабилизации ГЦК-решетки. При повышении его концентрации хрупкость увеличивается.

О современных инструментах из сверхтвердых материалов в технологиях механической обработки рассказал д-р техн. наук С. А. Клименко (Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины, Киев, Украина). В задачи процесса механической обработки входит формирование изделия с требуемыми конфигурацией и размерами при высокой производительности процесса, а также формирование в поверхностном слое изделия состояния, отвечающего условиям эксплуатационного нагружения. Инструменты, разработанные в ИСМ, эффективно применяются промышленными предприятиями для решения актуальных и наиболее сложных производственных технологических задач обработки различных материалов



практически во всех отраслях промышленности.

С докладом «Структурообразование, наследственность и свойства литой стали» выступил д-р техн. наук С. Е. Кондратюк (Физико-технологический институт металлов и сплавов, НАН Украины, Киев, Украина). Исследования, выполненные автором доклада, показывают, что структура и свойства исходных шихтовых материалов влияют на металлический расплав, а через него на структуру и свойства закристаллизовавшегося металла. Структура стали даже после трех переплавов сохраняет признаки первичной структуры исходных шихтовых материалов. Полученный твердый металл приобретает микро- и макроструктуру, как бы переданную через расплав от структуры исходных шихтовых материалов, т. е. в данном случае проявляется эффект так называемой структурной наследственности. Таким образом, структурой и свойствами литой стали можно управлять

используя эффект структурной наследственности.

Участники сессии имели возможность в ходе дискуссии обменяться мнениями о прочитанных докладах, о состоянии работ в области разработки новых материалов в своих странах, оценить работу Научного совета по новым материалам, высказать пожелания по ее улучшению. Проводимые ежегодно сессии Научного совета по новым материалам МААН позволяют сохранять и развивать творческие связи между учеными различных стран, способствуют интенсификации информационного обмена между ними.

Следующую сессию Научного совета по новым материалам МААН, которая будет посвящена разработке конструкционных и функциональных материалов для медицины, запланировано провести в мае 2012 г. в ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины.

И. А. Рябцев, д-р техн. наук (ИЭС им. Е. О. Патона)



СОВМЕСТНОЕ ЗАСЕДАНИЕ ПРЕЗИДИУМА РАН И ПРЕЗИДИУМА НАН УКРАИНЫ

14 июня 2011 г. в Москве состоялось совместное заседание Президиума Российской академии наук и Президиума Национальной академии наук Украины. В его работе приняла участие представительная делегация НАН Украины во главе с президентом академиком Б. Е. Патон. С вступительным словом выступили президент РАН академик РАН Ю. С. Осипов и президент НАН Украины академик Б. Е. Патон.

Далее участники заседания заслушали интересные и содержательные научные доклады ученых РАН и НАН Украины: академика НАН Украины Д. Г. Гродзинского «Радиобиологические и радиэкологические последствия Чернобыльской катастрофы: 25 лет спустя», чл.-кор. РАН Л. О. Большова «Уроки и рекомендации 25 лет исследований последствий аварии на Чернобыльской АЭС. Первые выводы относительно аварии на АЭС «Фукусима-1», академика НАН Украины В. М. Гейца «Россия и Украина в общеевропейском пространстве: гармонизация интересов и объединение усилий», чл.-кора РАН В. Г. Барановского «Европейские перспективы России и Украины: сравнительный анализ».

По итогам заседания были приняты два общих постановления Президиума РАН и Президиума НАН Украины: «О сотрудничестве между Российской академией наук и Национальной академией наук Украины и его дальнейшем развитии» и «О премии, присуждаемой Российской академией наук и Национальной академией наук Украины за выдающиеся научные результаты, которые получены в ходе общих исследований в области

естественных, технических, гуманитарных и общественных наук». В частности, последним постановлением были утверждены Положения о названной премии и решено, что первый конкурс претендентов на ее получение должен состояться в 2012 г.

Заседание завершилось подписанием Соглашения о научно-техническом сотрудничестве между Национальной академией наук Украины и РАН. Приложениями к настоящему Соглашению являются Перечень приоритетных направлений для сотрудничества НАН Украины и РАН и Протокол относительно безвалютного эквивалентного обмена учеными. Соглашением, в частности, предусмотрено, что научные учреждения и организации обеих академий наук, заинтересованные в установлении или расширении научных связей, согласовывают и подписывают прямые межинститутские договора о научном сотрудничестве. Очередное совместное заседание Президиума НАН Украины и Президиума РАН состоится в 2012 г. в Киеве.





ПО СТРАНИЦАМ ЖУРНАЛА «ДЕФЕКТОСКОПИЯ» (РФ) ЗА 2010 г.

Попов А. В., Желобецкий В. А., Попов В. А. *Новые подходы к диагностике и мониторингу коррозионного состояния газопроводов по результатам статистической обработки данных зонд-модульного обследования.* — № 9. — С. 97–103.

Приведены исследования по разработке методов оценки коррозионного состояния участка магистрального газопровода (МГ), подверженных воздействию блуждающих токов, а также вблизи электроизолирующих вставок (ВЭИ) и фланцев (ИФ), с использованием зонд-модульной технологии, статистической обработки результатов и их сопоставления.

Данилов В. Н. *О некоторых особенностях сигнала прямого линейного преобразователя с фазированной решеткой в режиме излучения.* — № 10. — С. 59–74.

Изучены некоторые особенности формирования сигналов линейного прямого преобразователя с фазированной решеткой. Проведено сопоставление характеристик сигналов преобразователя с фазированной решеткой и излучающего элемента в виде вытянутой прямоугольной пьезопластины.

Показано, насколько амплитуда сигнала, излучаемого в направлении акустической оси, в случае фокусировки превышает амплитуду сигнала обычного преобразователя с протяженным излучающим элементом.

Ефимов А. Г. *Разработка адаптивных вихретоковых средств дефектотрии.* — № 10. — С. 89–99.

Разработана конструкция вихретокового преобразователя (ВТП) с колебательным контуром, проведены теоретические и экспериментальные исследования взаимосвязи между напряжением, вносимым в дефектоскопический измерительный модуль, и параметрами дефекта, рабочим зазором, частотой, углом наклона ВТП. Рассмотрены различные методы цифровой фильтрации сигнала ВТП и аппроксимации полученных значений. Представлены разработанные средства вихретокового контроля.

Брезгина Л. П., Козлов Е. А., Пovyшев В. Н. *Сравнение возможностей ультрамалоракурсной томографии и интегральной малоракурсной томографии для регистрации откольных и сдвиговых разрушений в оболочках из железа и стали при взрывном нагружении.* — № 12. — С. 3–22.

Продемонстрирована принципиальная возможность адекватного воспроизведения методами ультрамалоракурсной и интегральной малоракурсной гамма-томографии особенностей откольных и сдвиговых разрушений в исследуемых оболочках с требуемым пространственным разрешением.

Проведены оценка эффективности таких подходов и сравнение результатов восстановления изображений по представленным алгоритмам с данными, полученными методом малоракурсной гамма-томографии на основе мультипликативных алгебраических алгоритмов, и фотографиями меридиональных сечений двух претерпевших взрывное нагружение и сохраненных оболочек.

Варламов Д. П., Матвиенко А. Ф. *Мониторинг стресс-коррозионной дефектности протяженной многониточной системы магистральных газопроводов по результатам многократной внутритрубной дефектоскопии.* — № 12. — С. 32–38.

Приведены результаты внутритрубной магнитной дефектоскопии, выполненной на шестиниточном коридоре магистральных газопроводов. Дан сопоставительный анализ результатов трех инспекций, выполненных в течение 2000–2009 гг. Показана высокая эффективность внутритрубной дефектоскопии, проведенной с использованием современных отечественных магнитных снарядов-дефектоскопов.

Вавилов В. П. *Пессимистический аспект тепловизионного энергоаудита строительных сооружений.* — № 12. — С. 49–54.

Показано, что тепловизионные оценки тепловых потерь в строительных зданиях и сооружениях могут сопровождаться погрешностями от 30 до 100 %, что требует пересмотра регламентируемых требований к температурному напору между внутренними помещениями и наружной средой.

Бадеев В. А., Михнев В. А. *Метод микроволновой визуализации с возможностью распознавания закрытых объектов.* — № 12. — С. 64–71.

Описан двухпараметровый метод микроволновой визуализации с возможностью распознавания подповерхностных объектов. В основе метода лежит оценка сдвига фаз волны, соответствующего непосредственному отражению от объекта. Проведена проверка метода на модельных и экспериментальных данных.

Попов В. А., Корзунин Г. С., Желобецкий В. А., Попов А. В. *Некоторые аспекты коррозионных обследований компрессорных станций промплощадок.* — № 12. — С. 72–77.

Рассмотрены специфические особенности протекания коррозии на промплощадках компрессорных станций после длительных сроков эксплуатации. Обследование выполняли на Далматовской и Шатровской ГКС в связи с обнаружением при визуальном осмотре аппаратов воздушной осушки газа типа «Хадсон» и «Крезолуар» коррозии трубок и трубных досок вблизи места их взаимного контакта.

Гримс М., Хаддад С., Бухаджера А. *Ультразвуковой метод определения модулей упругости. Численное моделирование и экспериментальные результаты.* — № 12. — С. 78–92.

Предложен способ определения модулей растяжения-сжатия и сдвига в образцах трапециевидной формы эхоимпульсным ультразвуковым методом с использованием только одного преобразователя. Продольные и сдвиговые волны возбуждаются в материале на поверхности контакта жидкость-образец. Возможность выполнения измерений проверена с помощью численного моделирования волновых процессов методом конечных разностей во временной области и подтверждена экспериментами на образцах из цемента.



КРАТКИЕ ИТОГИ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОГО СЕМИНАРА «ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ»

Украинское общество неразрушающего контроля и технической диагностики (УО НКТД), Институт электросварки им. Е.О.Патона НАН Украины, ПАО «Государственная энергогенерирующая компания «Центрэнерго» 12–13 июля 2011 г. провели Научно-практический семинар «Применение современных технологий неразрушающего контроля для диагностики энергетического оборудования».

В семинаре приняли участие около 60 специалистов, которые представляли более 30 предприятий Украины и России, среди которых:

■ ГАО «Черноморнефтегаз», г. Симферополь; ■ ГП «Антонов», г. Киев; ■ ГП «Донецкий экспертно-технический центр Госгорпромнадзора Украины»; ■ ГП «Киевский экспертно-технический центр Госгорпромнадзора Украины»; ■ ГП «Колоран» ИФХ им. Л. В. Писаржевского НАН Украины, г. Киев; ■ ГП «Николаевский экспертно-технический центр Госгорпромнадзора Украины»; ■ ГП КБ «Южное», г. Днепрпетровск; ■ Завод № 410 ГА, г. Киев; ■ Змиевская ТЭС ПАО «Центрэнерго», п. Комсомольский, Харьковской обл.; ■ Зуевская ТЭС ООО «Востокэнерго», г. Харцызск, Донецкой обл.; ■ Институт проблем прочности НАН Украины, г. Киев; ■ Институт электросварки им. Е.О.Патона НАН Украины, г. Киев; ■ Кременчугская ТЭС ПАО «Полтаваоблэнерго», г. Кременчуг; ■ Кураховская ТЭС ООО «Востокэнерго», г. Курахово, Донецкой обл.; ■ НПФ «Промсервисдиагностика», г. Киев; ■ НПФ ООО «Инженерно-технический центр», г. Черновцы; ■ НТУУ «Киевский политехнический институт»; ■ Одесский припортовый завод, г. Южный, Одесской обл.; ■ ООО «Атомэнергосервис», г. Луганск; ■ ООО «Елран», г. Киев; ■ ООО «МНПО «Спектр», г. Москва; ■ ООО «Трубопровод Контроль Сервис», г. Москва; ■ ООО «Энергодиагностика», г. Москва; ■ ООО НТЦ «Промтехдиагностика», г. Ивано-Франковск; ■ ПАО «Днепроэнерго», г. Запорожье; ■ ПАО «Западэнерго», г. Львов; ■ ТК «Спецмонтаж», г. Киев; ■ Трипольская ТЭС ПАО «Центрэнерго», г. Украинка, Киевской обл.; ■ УГП «Укрхимтрансаммиак», г. Киев; ■ Физико-механический институт им. Г.В.Карпенко НАН Украины, г. Львов; ■ ЧАО «Научно-производственный диагностический центр», г. Кривой Рог; ■ ЧАО «Северодонецкое объединение «Азот», г. Северодонецк, Луганской обл.

Научная программа первого дня семинара, который состоялся в ИЭС им. Е.О.Патона НАН Укра-

ины, включала доклады об использовании передовых технологий неразрушающего контроля для целей производственного и эксплуатационного контроля и диагностики ответственных конструкций.

Открыл семинар заместитель директора ИЭС академик НАН Украины, Л.М.Лобанов.

Далее участников семинара приветствовал председатель УО НКТД проф. В.А.Троицкий (ИЭС). Он вручил им именные сертификаты, дающие право на льготные условия сертификации в системе УО НКТД, сделал обзор программы семинара и представил докладчиков.

Доклад В.А.Троицкого был посвящен работам, выполняемым в рамках Европейского научного проекта «*Ship Inspector – Определение критически опасных трещин и коррозии корпусов кораблей*». Данная тема является развитием предыдущего европейского проекта LRUCM, посвященного развитию технологии дальнего действия ультразвукового контроля низкочастотными направленными волнами. Целью нового проекта является создание систем на основе технологий низкочастотного УЗК и фазированных решеток для обнаружения дефектов и коррозионных повреждений в критических зонах конструкций кораблей без извлечения их из воды. УО НКТД является одним из участников проекта. Другими участниками проекта являются TWI (Англия), DGZfP (Германия), BNDTS (Болгария), AIPND (Италия), SMART Group (Англия), I&T Nardoni (Италия), HSNT (Греция), Isotest (Италия), Tecnitest (Испания), Zenon (Греция), Cereteth (Греция), HSE (Англия), American Bureau of Shipping – Europe (Англия), Lloyds Register EMEA (Англия), Class NK (Англия). Созданные в результате выполнения проекта средства смогут использоваться также для контроля других крупногабаритных листовых конструкций с ограниченным доступом.

С.Е. Жаринов (МНПО «Спектр», Москва) представил два доклада: «*Контроль состояния трубок теплообменника акустическим методом с использованием современной технологии «Акустический глаз»* для безконтактной экспресс-диагностики состояния трубных пучков теплообменников» и «*Применение технологии фазированных решеток для УЗ контроля сварных швов металлоконструкций на примере нового дефектоскопа Isonic ISONIC 2010*». Особый интерес специалистов-энергетиков вызвал первый доклад. Принцип технологии «Акустический глаз» заключается в возбуждении акустической волны внутри



трубки и приема отраженных сигналов от внутренних дефектов, таких как: коррозионные поражения, эрозия, широко раскрытые трещины, сквозные дефекты, внутренняя деформация. Система состоит из двух блоков: акустического датчика, включающего генератор акустических сигналов и микрофон, а также из системного блока для обработки полученной информации. Преимуществами технологии являются: контроль трубок из любых материалов (в том числе из материалов с большим затуханием: нержавеющая сталь, медь, латунь, пластики, композиты) из одной точки установки акустического датчика, возможность контроля трубок сложной конфигурации, высокая производительность и автоматизированный анализ результатов контроля.



Очень интересный доклад «Диагностика энергооборудования с использованием метода магнитной памяти металла» сделал **А.А.Собринин** (ООО «Энергодиагностика», Москва).

Процессами, предшествующими эксплуатационному повреждению, являются изменения свойств металла (коррозия, усталость, ползучесть) в зонах концентрации напряжений. Соответственно, изменяется намагниченность металла, отражающая фактическое напряженно-деформированное состояние трубопроводов, оборудования и конструкций. Метод МПМ (другое название – магнитометрический метод) основан на регистрации и



анализе распределения собственных магнитных полей рассеяния на поверхности изделий с целью определения зон концентрации напряжений, дефектов, неоднородности структуры металла и сварных соединений.

Слушателям семинара были также представлены доклады по другим перспективным направлениям НК и ТД:

■ **Бухенский В.Н.** Рентгеноскопический контроль в полевых условиях без применения расходных материалов (рентгеновской пленки, фосфорных пластин и т.п.). ■ **Казакевич М.Л., Троицкий В.А., Васенец И.М., Шевцов В.М.** Новые результаты в области неразрушающего контроля и ремонта дефектов теплообменных трубок. ■ **Давыдов Е.А., Шекеро А.Л.** Измерение точных размеров трещиноподобных дефектов дифракционно-временным методом ультразвукового контроля. ■ **Швыдкий С.А.** Определение дефектов и коррозионных поражений в протяженных объектах с ограниченным доступом направленными низкочастотными волнами. ■ **Бондаренко Ю.К., Логинова Ю.В.** Проблемы внедрения системы управления качеством предприятия при монтаже, ремонте сварных конструкций на основе результатов НК и ТД с использованием новых технологий в соответствии с требованиями ДСТУ ISO 9001-2009.





Данный семинар был задуман с тем, чтобы продемонстрировать заинтересованным специалистам не абстрактные, а реальные выгоды от использования современных технологий и средств неразрушающего контроля. Поэтому на второй день семинара его участники отправились на Трипольскую ТЭС (г. Украинка, Киевской обл.), где их радушно встретили заместитель главного инженера станции по ремонту С.Г.Тарутин, руководитель лаборатории металлов и сварки станции А.А.Тройняк и ведущий инженер А.В.Грузевич, которые взяли на себя непростую задачу организации практической части семинара и отлично с ней справились.

Участникам семинара на образцах реальных энергетических объектов были продемонстрирована работа системы «Acoustic Eye» для контроля трубок теплообменников, дефектоскопа на фазированных решетках «Isonic 2010», портативного ультразвукового дефектоскопа «Isonic UTPode», ультразвукового течеискателя «Arbil» (APS 5000), измерителя концентрации напряжений ИКН-3М-12 и ИКН-6М-8, электромагнитного индикатора трещин ЭМИТ-1М, вихретокового импульсного дефектоскопа «ВИД 022». Специалисты имели возможность самостоятельно протестировать данные приборы и задать интересующие их вопросы.

Успешному проведению семинара способствовали поддержка заместителя директора ИЭС ака-



демика НАН Украины Л.М.Лобанова, генерального директора ПАО «Центрэнерго» А.А.Соловьева, директора Трипольской ТЭС П.П.Кравца, главного инженера Трипольской ТЭС М.П.Салимона, содействие директора ООО «Энергодиагностика» проф. А.А.Дубова и технического директора МНПО «Спектр» С.Е. Жаринова, координационная работа заместителя председателя УО НКТД М.Л.Казакевича.

УО НКТД ожидает предложений от своих коллективных и индивидуальных членов относительно тематики будущих подобных семинаров.

Шекеро А.Л., ИЭС им.Е.О.Патона НАН Украины



М. Л. КАЗАКЕВИЧУ — 65



В июне исполнилось 65 лет **Казакевичу Михаилу Леонидовичу** — директору Госпредприятия «Колоран» ИФХ НАН Украины, доценту НТУУ «КПИ», руководителю Главной организации метрологической службы НАН Украины и Отраслевой научно-испытательной лаборатории.

Михаил Леонидович закончил физический факультет государственного университета в Ростове-на-Дону. Трудовую деятельность начал в Украинском НИИ авиатехнологии. Кандидатскую диссертацию по неорганической химии защитил в Институте физической химии им. Л.В. Писаржевского НАН Украины. Научная и практическая деятельность Михаила Леонидовича на протяжении многих лет связана с Академией наук Украины и направлена на разработку технологии, материалов и оборудования для неразрушающего контроля методом проникающих веществ в атомной энергетике, авиации, судостроении и др. Под его руководством и при его непосредственном участии разработано, введено в отраслевую документацию и организовано производство нового поколения материалов для капиллярного контроля и течеискания. Более 25 лет их применяют в штатном режиме на ведущих предприятиях Украины для контроля таких объектов, как сварные соединения АЭС, контейнеры для хранения отработанного ядерного топлива, авиационно-космической техники. М.Л. Ка-

закевич участвовал в создании «Директивного техпроцесса на контроль герметичности» украинского самолета-богатыря АН-124 «Руслан», в работах по продлению ресурса контроля он продолжает принимать участие.

Идеи и разработки Михаила Леонидовича защищены 28 авторскими свидетельствами и патентами, опубликованы более чем в 50 печатных работах. Он постоянный участник всемирных, европейских и национальных научных конференций в области НК.

Юбиляр является членом Группы советников Европейской федерации НК и принимает участие как руководитель в реализации Международного проекта «Сертификация и аккредитация лабораторий НК в Украине», о ходе выполнения которого выступал с докладами в Брюсселе (2010 г.) и Валенсии (2011 г.).

М.Л.Казакевич — действительный член Международной академии НК и выполняет обязанности вице-президента Украинского общества НКТД по направлению «Международные связи», входит в состав редколлегии журнала «Техническая диагностика и неразрушающий контроль».

В качестве эксперта Национального агентства по аккредитации юбиляр участвовал в работах по сертификации всех ведущих Органов по сертификации специалистов в области НК Украины.

Искренне желаем Михаилу Леонидовичу крепкого здоровья, долгих лет жизни, счастья, деловой активности и успешного свершения всех творческих планов.



Н. П. АЛЕШИНУ — 70

Исполнилось 70 лет известному ученому в области сварочного производства и диагностики сварных соединений, заслуженному деятелю науки Российской Федерации, лауреату Государственной премии РФ, Премии Совета Министров СССР и премий Правительства РФ, проректору по научной работе, заведующему кафедрой технологии сварки и диагностики МГТУ им. Н. Э. Баумана академику РАН **Николаю Павловичу Алешину**.

Научную деятельность Николай Павлович начал на кафедре технологии и оборудования сварочного производства МВТУ им. Н. Э. Баумана после его окончания в 1968 г., где прошел путь от инженера, младшего научного сотрудника до профессора. С июня 1989 г. он — заведующий кафедрой технологии сварки и диагностики и одновременно директор ФГУ «НУЦ «Сварка и контроль» при МГТУ им. Н. Э. Баумана».

В 1972 г. Н. П. Алешин защитил кандидатскую диссертацию, а в 1982 г. — докторскую. В 2000 г. он был избран членом-корреспондентом, а в 2006 г. — академиком РАН.

Основное направление научной деятельности Н. П. Алешина — создание новых технологий и диагностических автоматизированных систем для контроля сварных соединений и оценки технического состояния различных производственных объектов машиностроения, нефтегазовой, авиакосмической, атомной и других отраслей промышленности. Область его научных интересов связана с созданием теории взаимодействия пучков упругих колебаний с коротковолновыми отражателями, учитывающей явления дифракции волн в твердотельном приближении, формулированием и подтверждением гипотезы образования помех в крупнозернистых средах, с разработкой акустосварочной физико-математической модели для сварных швов из аустенитных сталей и метода решения задачи рассеяния акустического поля на групповых отражателях, а также с разработкой теории расчета и уникальной технологии изготовления раздельно-совмещенных («хордовых») преобразователей с высокой помехоустойчивостью.

Под руководством Н. П. Алешина созданы автоматизированные ультразвуковые диагностические комплексы типа «АВТОКОН-МГТУ» с контактным и бесконтактным вводом упругих колебаний для оценки технического состояния сварных соединений и основного металла магистральных газо- и нефтепроводов при их сооружении, реконструкции и ремонте, широко применяемые на объектах газотранспортной системы ОАО «Газпром». Для идентификации размеров и топологии выявленных дефектов разработаны портативные ультразвуковые мультипрограммные дефектоскопы-томографы типа СК-РДМ, обеспечивающие в процессе контроля слежение и регистрацию качества акустического контакта и объемов проконтролированного металла, а также программно-аппаратный комплекс для ранжирования по потенциальной опасности выявленных дефектов при проведении акустоэмиссионного контроля. Под его руководством и при его непосредственном участии разработаны автоматизированные системы активного управления сварочными процессами, теория свариваемости и новые технологии сварки современных материалов и наплавки композиционных материалов в защитных газах и в вакууме.

Выполненные разработки получили признание как у нас в стране, так и за рубежом. Они нашли широкое применение в промышленности, о чем свидетельствуют присужденные Н. П. Алешину Премии Совета Министров СССР (1981 и 1985) и Премии правительства РФ (1997, 2001 и 2009), Государственная премия РФ (2003) и международная премия «Рентген-Соколов» (1997) в области неразрушающего контроля.

Н. П. Алешин — автор более 200 опубликованных работ и изобретений, в числе которых 11 монографий, учебников и учебных пособий. Под его руководством успешно защищены 32 кандидатских и 5 докторских диссертаций.

С 1992 г. и по настоящее время Н. П. Алешин является президентом НП «Национальное агентство контроля сварки». На протяжении ряда лет он руководитель Управляющего совета по неразрушающему контролю Госстандарта РФ, член бюро Межгосударственного совета СНГ по сварке и родственным технологиям, заместитель председателя Национального комитета по сварке, председатель диссертационного совета при МГТУ им. Н. Э. Баумана, главный редактор журнала «Сварка и диагностика». Под его руководством в России создана и внедрена новая система аттестации сварочного персонала, материалов, оборудования и технологий сварки. В 2005 г. Н. П. Алешин награжден орденом Дружбы.

Сердечно поздравляем юбиляра, желаем крепкого здоровья, творческого долголетия и благополучия!

ПОДПИСКА — 2012

на журнал «Техническая диагностика и неразрушающий контроль»

Украина		Россия		Страны дальнего зарубежья	
на полугодие	на год	на полугодие	на год	на полугодие	на год
160 грн.	320 грн.	900 руб.	1800 руб.	26 дол. США	52 дол. США

В стоимость подписки включена доставка заказной бандеролью.

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



РЕКЛАМА в журнале

«Техническая диагностика и неразрушающий контроль»

Реклама публикуется на обложках и внутренних вклейках следующих размеров

- Первая страница обложки (190×190 мм)
- Вторая, третья и четвертая страницы обложки (200×290 мм)
- Первая, вторая, третья, четвертая страницы внутренней обложки (200×290 мм)
- Вклейка А4 (200×290 мм)
- Разворот А3 (400×290 мм)
- 0,5 А4 (185×130 мм)
- 0,25 А4 (90×130 мм)

Технические требования к рекламным материалам

- Размер журнала после обрезки 200×290 мм

- В рекламных макетах, для текста, логотипов и других элементов необходимо отступать от края модуля на 5 мм с целью избежания потери части информации

Все файлы в формате IBM PC

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

Стоимость рекламы и оплата

- Цена договорная
- По вопросам стоимости размещения рекламы, свободной площади и сроков публикации просьба обращаться в редакцию

- Оплата в гривнях или рублях РФ по официальному курсу
- Для организаций-резидентов Украины цена с НДС и налогом на рекламу
- Для постоянных партнеров предусмотрена система скидок
- Стоимость публикации статьи на правах рекламы составляет половину стоимости рекламной площади
- Публикуется только профильная реклама (сварка и родственные технологии)
- Ответственность за содержание рекламных материалов несет рекламодатель

Контакты:

тел./факс: (38044) 205-23-90; 200-54-84
E-mail: journal@paton.kiev.ua

Подписано к печати 05.08.2011. Формат 60×84/8. Офсетная печать.
Усл. печ. л. 9,04. Усл.-отт. 9,89. Уч.-изд. л. 10,24 + 6 цв. вклеек.
Печать ООО «Фирма «Эссес».

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