

ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА И НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ

№ 4, 2004

Издается с января 1989 г.

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

Издатель: Международная ассоциация «Сварка»

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор

Б. Е. ПАТОН

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

Адрес редакции

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

Научные редакторы

Н. Г. Белый, А. А. Грузд

Электронная верстка

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

Свидетельство
о государственной регистрации
КВ 4787 от 09.01.2001

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

При перепечатке материалов
ссылка на журнал обязательна

За содержание рекламных
материалов редакция журнала
ответственности не несет

Цена договорная

СОДЕРЖАНИЕ

ТОРЖЕСТВА, ПОСВЯЩЕННЫЕ ЮБИЛЕЮ ИЭС ИМ. Е. О. ПАТОНА НАНУ 3

ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА

БАБИЧЕВ С. А., ЛИТВИНЕНКО В. И., ШАРКО А. В. Автоматизированная
система технической диагностики прочностных характеристик металлов
на основе гибридных нейронных сетей 5
АНТИПЕНКО Е. И., ВИСИЛОВСКИЙ Н. Г., КЕЛЬРИХ М. Б. Оценка
эффективности метода акустической эмиссии при техническом диаг-
ностировании объектов 11
ОВСЯНКИН А. М., ВИШНЕВСКИЙ О. А. Підвищення ефективності
системи контролю технічного стану авіаційної техніки 15

НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ

ТКАЧЕНКО А. А., НАЙДА В. Л., ГАВРЕВ В. С., МОЗЖУХИН А. А. Способы
и оборудование для повышения надежности автоматизированного ульт-
развукового контроля продольных сварных швов труб в условиях их
массового производства 19
**КОЛБИН И. Б., САПРЫКИН С. А., ВОЛКОВ Ю. А., ГОРБЕНКО В. Н., ТО-
ПЧИЙ М. М.** Применение двугранных углов рабочих эталонов для наст-
ройки чувствительности при проведении ультразвукового контроля тон-
костенных стальных изделий 26
РЫБАЧУК В. Г. Инструментальные погрешности фазовых вихретоковых
измерителей электропроводности с частотным уравнивающим
преобразованием 32
СТОРОЖЕНКО В. А., МЕШКОВ С. Н., ГАПТРАКИПОВ А. А.
Теплофизическое моделирование процессов выявления дефекта в
объектах цилиндрической формы при тепловом неразрушающем конт-
роле 37
ГОРДЕЛИЙ В. И. Экспериментальное исследование волн Рэлея, воз-
буждаемых ЭМА преобразователями в железнодорожных рельсах 41

СЕРТИФИКАЦИЯ И КАЧЕСТВО

БОНДАРЕНКО Ю. К., ФУРМАН Я. М. Проблеми визначення похибки та
невизначеності вимірювання в випробувальній лабораторії 45

ХРОНИКА И ИНФОРМАЦИЯ

12-я Международная конференция-выставка «Современные методы и
средства неразрушающего контроля и технической диагностики»
Форум качества 51
V-й Международный научно-технический семинар «Безопасность эксп-
луатации компрессорного оборудования, трубопроводной арматуры» 53
Федеральное агентство по промышленности РФ высоко оценило вы-
ставку «Aerospace testing russia» 55
Наши поздравления
Календар конференций та виставок по НК на 2005 г. 57
Учебные программы на 2005 г. 59
Мониторинг и диагностика роторных машин по вибрации 62
Электромагнитно-акустический дефектоскоп УД-ЭМА-РО-2 для контро-
ля железнодорожных рельсов в условиях низких температур 64

ИЗДАНИЕ ЖУРНАЛА ПОДДЕРЖИВАЮТ:

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



Украинское общество неразрушающего контроля и технической диагностики

TECHNICAL DIAGNOSTICS and NON-DESTRUCTIVE TESTING

№ 4, 2004

Founded in January, 1989

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

Publisher: *International Association «Welding»*

EDITORIAL BOARD:

Editor-in-Chief

B. E. PATON

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

Address:

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

Scientific editors:

N. G. Bely, A. A. Gruz

Electron galley:

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

State Registration Certificate
KV 4787 of 09.01.2001

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

CONTENTS

*CELEBRATIONS DEVOTED TO THE JUBILEE OF THE E. O. PATON
ELECTRIC WELDING INSTITUTE OF NASU* 3

TECHNICAL DIAGNOSTICS

BABICHEV S. A., LITVINENKO V. I., SHARKO A. V. Automated system of technical diagnostics of metal strength characteristics based on hybrid neural networks 5
ANTIPENKO E. I., VISILOVSKI N. G., KELRIKH M. B. Evaluation of the effectiveness of the method of acoustic emission at technical diagnostics of objects 11
OVSYANKINA A. M., VISHNEVSKI O. A. Increase of the effectiveness of the system of monitoring the technical condition of aircraft systems 15

NONDESTRUCTIVE TESTING

TKACHENKO A. A., NAIDA V. L., GAVREV V. S., MOZZHUKHIN A. A. Methods and equipment for improving the reliability of automatic ultrasonic testing of longitudinal welds on pipes under the conditions of their mass production 19
KOLBIN I. B., SAPRYKIN S. A., VOLKOV Yu. A., GORBENKO V. N., TOPCHII M. M. Application of dihedral angles of working standards for adjustment of sensitivity during UT of thin-walled steel products 26
RYBACHUK V. G. Instrumental errors of phase eddy current measurement in instruments of electric conductivity with balancing frequency transducers 32
STOROZHENKO V. A., MESHKOV S. N., GAPTRAKIPOV A. A. Thermophysical modeling of processes to reveal defects in objects of a cylindrical shape at thermal NDT 37
GORDELII V. I. Experimental study of Raleigh waves excited by EMA transducers in railway rails 41

STANDARDIZATION AND QUALITY ASSURANCE

BONDARENKO Yu. K., FURMAN Ya. M. Problems of determination of the error and indeterminateness of measurements in a test laboratory 45

NEWS

12-th International Conference-Exhibition «Modern Methods and Means of Non-Destructive Testing and Technical Diagnostics» 51
Quality Forum 52
5-th International Scientific-Technical Seminar «Safety Operation of Compressor Equipment and Pipeline Fixtures» 53
Federal Agency of RF industry highly valued the Exhibition «Aerospace Testing in Russia» 54
Schedule of NDT Conferences and Exhibitions for the year 2005 57
Training programs for 2005 59
Vibration monitoring and diagnostics of rotor machines 62
Electromagneto-acoustic flaw detector UD-EMA-RO-2 for control of railway rails at low temperatures 64

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



ТОРЖЕСТВА, ПОСВЯЩЕННЫЕ ЮБИЛЕЮ ИЭС им. Е. О. ПАТОНА НАНУ

17 сентября в г. Киеве во Дворце молодежи НТУУ «КПИ» состоялся праздничный вечер по случаю 70-летнего юбилея Института электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины — широко известного и признанного в мире научно-исследовательского центра в области сварки, спецэлектрометаллургии и нанесения защитных покрытий. В нем приняли участие сотрудники института, а также многочисленные гости — руководители ведомств, крупнейших промышленных предприятий, ведущих академических, научно-исследовательских учреждений и высших учебных заведений Украины, а также России, Беларуси и Грузии. Среди почетных гостей — Председатель Верховной Рады Украины В. М. Литвин, первый вице-премьер, министр финансов Украины Н. Я. Азаров, министр просвещения и науки Украины В. Г. Кремень, летчик-космонавт дважды Герой Советского Союза А. А. Леонов и др.

Вечер открыл президент Национальной академии наук Украины директор Института электросварки им. Е. О. Патона академик **Б. Е. Патон**. Он зачитал приветствие Президента Л. Д. Кучмы коллективу института в связи с юбилеем и Указ о награждении государственными наградами Украины сотрудников Института электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины.

У К А З ПРЕЗИДЕНТА УКРАЇНИ

Про відзначення державними нагородами України
працівників Інституту електрозварювання
імені Є. О. Патона НАН України, м. Київ

За вагомий особистий внесок у розвиток науки, розробку і впровадження новітніх
високоєфективних технологій, зміцнення міжнародного авторитету вітчизняної наукової і інженерної школи
у галузі зварювання п о с т а н о в л я ю :

Нагородити орденом князя Ярослава Мудрого V ступеня

КУЧУКА-ЯЦЕНКА Сергія Івановича — заступника директора, доктора технічних наук, академіка НАН
України

Нагородити орденом «За заслуги» I ступеня

ПОХОДНЮ Ігоря Костянтиновича — завідувача відділу, академіка-секретаря Відділення фізико-
технічних проблем матеріалознавства НАН України, доктора
технічних наук, академіка НАН України

Нагородити орденом «За заслуги» III ступеня

ЗАГРЕБЕЛЬНОГО Олександра Айзиковича — заступника завідувача відділу
КИСЕЛЕВСЬКОГО Фелікса Миколайовича — завідувача відділу, доктора технічних наук, професора
КОВТУНЕНКА Віктора Олексійовича — завідувача лабораторії
ТРИГУБА Миколу Петровича — завідувача відділу, доктора технічних наук
ЦАРЮКА Анатолія Корнійовича — завідувача відділу

Нагородити орденом княгині Ольги III ступеня

ЛОКТЕВУ Вероніку Іванівну — завідувача відділу

Нагородити медаллю «За працю і звитягу»

ГОЛОВАТЕНКА Олексія Івановича — електрозварювальника
ГОРОШКА Миколу Валер'яновича — фрезерувальника
КОРЖА Миколу Михайловича — слюсаря державного підприємства «Дослідний завод зварюваль-
них матеріалів»

Присвоїти почесні звання:

«ЗАСЛУЖЕНИЙ ДІЯЧ НАУКИ І ТЕХНІКИ УКРАЇНИ»

МАХНЕНКУ Володимирі Івановичу — завідувачу відділу, докторові технічних наук, академіку НАН
України

МОВЧАНУ Борисі Олексійовичу — головному науковому співробітникові, докторові технічних наук,
академіку НАН України

НАЗАРЕНКУ Олегу Кузьмовичу — завідувачу відділу, докторові технічних наук, члену-кореспон-
денту НАН України

«ЗАСЛУЖЕНИЙ МАШИНОБУДІВНИК УКРАЇНИ»

КУЦАКУ Валерію Стефановичу — заступникові директора

Президент України

Л. КУЧМА

м. Київ, 9 вересня 2004 року
№ 1053/2004

Борис Евгеньевич кратко охарактеризовал основные этапы деятельности Института электросварки, включая его основание, довоенный и военный периоды, период восстановления народного хозяйства, годы индустриального развития. Руководитель отметил, что на сегодняшнем этапе институт развивает свою деятельность по инновационному пути и «продолжает трудиться так, чтобы народ Украины с каждым годом жил лучше». Он поблагодарил всех, кто в канун юбилея поздравил коллектив Института электросварки со знаменательным событием, и тех, кто принимает участие в торжествах.

Выступивший затем **В. М. Литвин** отметил, что юбилей института — знаковое событие для страны. Успехи Института электросварки неразрывно связаны с незаурядной личностью его руководителя — академика Б. Е. Патона. По словам В. М. Литвина, Б. Е. Патон «взял в руки электрод длиной на всю жизнь». Он пожелал всем ученым и специалистам института добра, счастья и выдающихся успехов. От имени Верховной Рады Украины В. М. Литвин поздравил с награждением сотрудников Института электросварки и вручил Почетные грамоты Верховной Рады Украины членам-корреспондентам НАН Украины Г. М. Григоренко, А. Я. Ищенко, В. И. Лакомскому, докторам технических наук Ю. С. Борисову, Э. Ф. Гарфу, кандидатам технических наук В. Н. Бернадскому, И. А. Рябцеву, помощнику директора Л. В. Катюхе.

Н. Я. Азаров зачитал поздравление премьер-министра Украины В. Ф. Януковича коллективу Института электросварки. В нем высказана уверенность в том, что патоновцы и далее приумножат успехи в науке и в создании передовых технологий. Николай Янович заметил, что институт в сложное время выжил, достиг новых успехов и сейчас ему важно занять достойное место среди научных центров мира. Он отметил, что с 2005 г. объемы финансирования науки в Украине будут удвоены, уже реализована программа увеличения пенсий, выплат ученым-членам Национальной академии наук Украины. Соответственно должна возрастать отдача от деятельности научных учреждений. Н. Я. Азаров поздравил Б. Е. Патона с награждением Института электросварки Почетной грамотой Кабинета Министров Украины. Почетные грамоты были вручены также ряду ученых и специалистов института, среди которых Л. А. Волгин, В. С. Гвоздецкий, Б. А. Житницкий, П. А. Косенко, В. Г. Кривенко, Г. С. Маринский, В. В. Нестеренко, С. И. Притула.

Директор института Б. Е. Патон тепло поблагодарил В. М. Литвина и Н. Я. Азарова за высокую оценку деятельности института и его сотрудников.

В. Г. Кремень поздравил коллектив Института электросварки от имени Министерства образования и науки Украины. По его словам, «это праздник мировой науки». Он дал совет молодым студентам «писать свою жизнь» с академика Б. Е. Патона. Остановившись на деятельности технопарков в Украине, В. Г. Кремень подчеркнул высокую эффективность работы технопарка «ИЭС им. Е. О. Патона» и пообещал «зеленую улицу» его инновационным проектам.

Затем от имени Президиума НАН Украины коллектив Института электросварки поздравил ее первый вице-президент **В. П. Шпак**. Он отметил, что ИЭС им. Е. О. Патона является гордостью академии, всей Украины и признанным в мире научным центром.

С теплыми поздравлениями выступили также заместитель Председателя Киевской городской государственной администрации г. Киева **В. А. Кирьян**, ректор Киевского национального университета им. Тараса Шевченко **В. В. Скопенко**, ректор НТУУ «КПИ» **Н. З. Згуровский**.

Затем лучшие студенты сварочного факультета НТУУ «КПИ» от имени собравшихся в зале возложили цветы к расположенному на территории НТУУ «КПИ» памятнику основателю Института электросварки академика Е. О. Патона.

На вечере прозвучали теплые поздравления в адрес старейших сотрудников института, ветеранов, участников Великой Отечественной войны академиков НАН Украины В. К. Лебедева, Д. А. Дудко, И. К. Походни, докторов технических наук А. А. Россошинского, Ю. А. Стеренбогена, Г. И. Лескова, кандидата технических наук В. Н. Подолы, инженеров В. К. Зяхора, В. С. Убель.

В заключение состоялся праздничный концерт мастеров искусств и художественных коллективов Украины, России и Беларуси.

Дирекция и весь коллектив Института электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины выражают сердечную благодарность руководству государства, всем ведомствам, предприятиям, научным учреждениям, вузам, общественным организациям, а также отдельным лицам, которые поздравили коллектив института в связи с 70-летием со дня его основания.



АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТАЛЛОВ НА ОСНОВЕ ГИБРИДНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

С. А. БАБИЧЕВ, В. И. ЛИТВИНЕНКО, А. В. ШАРКО

Предложена автоматизированная экспертная система технической диагностики прочностных свойств металлопродукции с использованием системы нечеткого вывода и гибридных нейронных сетей.

The paper proposes an automated expert system for technical diagnostics of strength properties of metal products, using a system of fuzzy derivation and hybrid neural networks.

Современное состояние развития автоматизированных систем технической диагностики (ТД) и их широкое внедрение в производство определяют эффективные способы решения проблемных вопросов в различных областях науки и техники. Одной из наиболее актуальных современных задач является своевременное определение прочностных характеристик в нелинейных динамических объектах в условиях априорной неопределенности свойств объекта.

Постановка задачи. Известны системы ТД металлопродукции, основанные на последовательном использовании различных методов НК [1, 2]. Недостатком этих систем является необходимость выполнения большого количества предварительных экспериментальных работ для определения рациональной комбинации и последовательности использования методов контроля, а также необходимость построения градуировочных графиков для тарирования системы, соответствующих разным значениям температуры закалки, отпуска, режимов старения, наработке в сложных условиях эксплуатации при воздействии высоких температур, давлений, знакопеременных нагрузок, радиационного воздействия и т. д. Это существенно сдерживает внедрение таких систем в производство. Кроме этого, точность такого прогнозирования низка, так как при последовательном использовании методов суммарная ошибка измерений складывается. Графическая интерпретация экспериментальных исследований на этапе отработки существующих систем ТД также вносит свои погрешности.

Решение задачи. В данной работе автором разработана автоматизированная экспертная система ТД механических характеристик металлов (рис. 1), в которой графическая интерпретация заменена компьютерной и этапы обучения выполняются самой системой. Основана система на комплексном использовании методов контроля, отличающаяся от известных тем, что с целью повышения точности обработки результатов измерений при определении механических свойств металлов комбинация методов контроля определяется при помощи системы нечеткого вывода [3, 4], а проч-

ностные характеристики рассчитываются с помощью гибридной нейронной сетью.

Последовательность работы экспертной системы следующая.

1. Из партии поступившего металла формируется выборка образцов n_1 , которую последовательно подвергают НК всеми выбранными методами. По результатам измерений гибридной нейронной сетью определяются необходимые прочностные характеристики.

2. Сопоставляется число дефектных образцов с пониженными прочностными свойствами d_1 с его допустимым по техническим условиям предприятия значением — приемочным числом c_1 . Партия изделий принимается, если $d_1 \leq c_1$.

3. Если $d_1 > c_1$, то комплектуется другая выборка n_2 , которая поступает на разрывные испы-

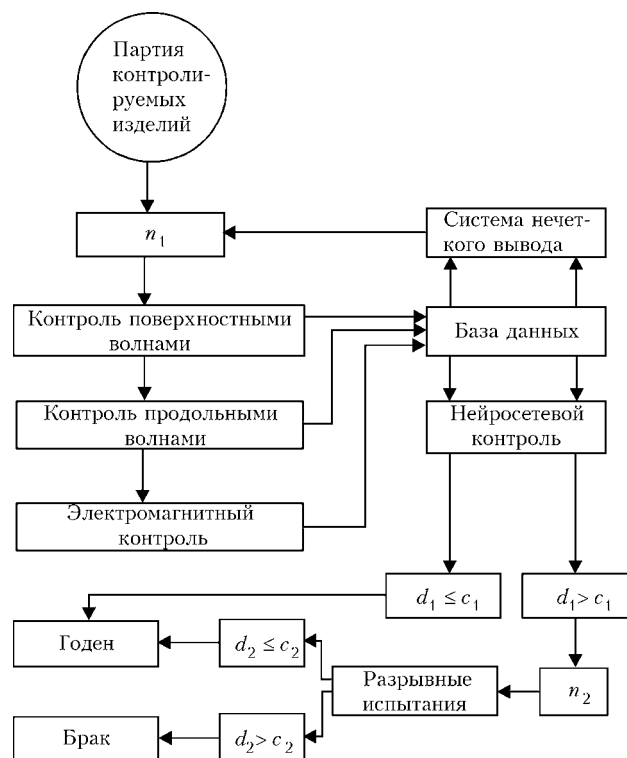


Рис. 1. Структурная схема автоматизированной системы технической диагностики прочностных характеристик металлов



тания. Решающим правилом приемки всей партии изделий является условие $d_2 \leq c_2$.

4. В зависимости от испытаний на второй ступени вся партия изделий бракуется или пускается в дальнейшую эксплуатацию.

Настройка системы заключается в выборе методов контроля, работа которых приводит к минимальной погрешности расчета прочностных характеристик и обучении гибридной нейронной сети, которая в процессе диагностических исследований определяет требуемые прочностные характеристики. Окончательный выбор рациональной комбинации методов контроля и последовательность их проведения осуществляется при помощи системы нечеткого вывода, на основании расчета надежности контроля. Известные показатели надежности при контроле внутренних дефектов материала характеризуются пропусками и перебраковкой изделий. Как пропуск дефектных изделий, так и отнесение годных изделий к разряду бракованных являются нарушением нормального процесса контроля и характеризуют его качество. Если первое из этих нарушений непосредственно связано с эксплуатационной надежностью выпускаемых изделий, выражая «риск потребителя», то последнее выражает лишь дополнительные материальные затраты, приводящие к повышению себестоимости изделий, и определяет «риск поставщика». Для повышения достоверности анализа при забраковке одним из методов диагностики заведомо годных деталей и исключения их из дальнейшего рассмотрения предложен последовательный план контроля. Изделия, свойства которых не соответствуют заданным значениям по заключению применяемого метода считаются бракованными, регистрируются и поступают далее с партией годных изделий на контроль другим методом. Таким образом, контролю всеми методами последовательно подвергается вся партия изделий. При оценке надежности комплексного контроля объектом исследования является комбинация методов, которые рассматриваются как факторы, влияющие на качество оценки. Каждый фактор может принимать два значения, соответствующие применению (+) или отсутствию (–) данного метода. Эффективность функционирования комбинации методов характеризуется параметрами оптимизации, являющимися реакцией (откликом) на воздействие факторов. В качестве наиболее общих параметров оптимизации были выбраны: Y_1 — отношение числа бракованных изделий, выявленных данной комбинацией методов, к общему числу действительного брака, выявленного при использовании всех методов; Y_2 — отношение числа изделий, ложно бракованных данной комбинацией методов к общему числу изделий, ложно забракованных при использовании всех методов; Y_3 — отношение числа бракованных изделий, пропущенных данной комбинацией методов, к числу бракованных изделий, пропущенных той комбинацией, для которой оно максимально; Y_4 — погрешность каждой из рассматриваемых комбинаций, причем погрешностью определенной комбинации методов считают погрешность того метода, для которого она мак-

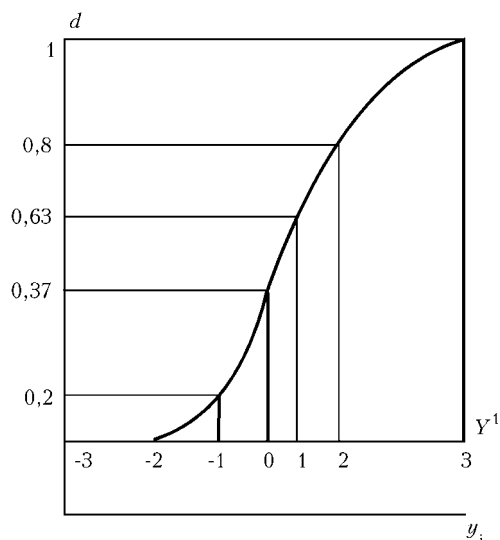


Рис. 2. Кривая желательности

симальна; Y_5 — уровень автоматизации; Y_6 — способность к определению свойств материала, усредненных по всему изделию.

Для количественной оценки параметров Y_5 и Y_6 использовался «ранговый подход». При этом параметрам оптимизации присваиваются оценки — ранги по заранее выбранной шкале. Например, при выборе для оценки параметра Y_5 четырехбалльной шкалы 0–3 балл 3 будет соответствовать полностью автоматизированному процессу, а балл 0 — отсутствию автоматизации.

Для построения обобщенного отклика использовалась функция желательности Харрингтона, с помощью которой сформулирован набор нечетких правил, на основании которых экспертная система делает заключение об эффективности использования предложенной комбинации методов контроля. Здесь числа соответствуют некоторым точкам кривой (рис. 2), задаваемой уравнением $d = \exp[-\exp(-y)]$.

На оси ординат нанесены значения желательности, изменяющиеся от 0 до 1. По оси абсцисс указаны значения отклика, записанные в условном масштабе. Началом отсчета 0 по этой оси выбрано значение, соответствующее желательности 0,37. Выбор именно данной точки связан с тем, что она является точкой перегиба кривой, что в свою очередь создает удобства при вычислениях. То же самое верно для значения желательности, соответствующего 0,63. Стандартные отметки по шкале желательности приведены в табл. 1.

Таблица 1. Стандартные отметки по шкале желательности

Значение функции желательности	Качество процесса
1,00...0,80	Очень хорошее
0,80...0,63	Хорошее
0,63...0,37	Удовлетворительное
0,37...0,20	Плохое
0,20...0,00	Очень плохое



Апробация предложенной методики проводилась на примере оценки надежности контроля предела прочности изделий из стали У8А. Для комплексного контроля в этом случае предварительно были выбраны магнитный, акустический и безобразцовый методы контроля по твердости, обеспечивающие наилучшую корреляцию измеряемых параметров с пределом прочности.

С целью сокращения объема экспериментов испытания проводились на цилиндрических образцах длиной 90 мм и диаметром 22 мм. Образец, прочностные характеристики которого не соответствовали заключению применяемого метода контроля, считался бракованным, регистрировался и поступал с партией годных изделий на контроль другим методом. Таким образом, контролю всеми тремя методами последовательно подвергались вся партия изделий, в результате чего была отбракована группа образцов, основанием для признания бракованными которых являлось заключение о некондиционности, полученное хотя бы одним методом.

При акустических измерениях для каждого образца в диапазоне частот 2...2,5 МГц снимали его амплитудно-частотную зависимость и с помощью гибридной нейронной сети определяли величину предела прочности σ_B .

Электромагнитный контроль проводили по методу сдвигания. Предварительно намагниченные образцы помещали в измерительную катушку, соединенную с баллистическим гальванометром. Величину намагниченности образца определяли по максимальному отбросу стрелки гальванометра при извлечении образца из измерительной катушки.

Твердость определяли по форме отпечатка индентора, полученного при измерении твердости по Виккерсу при нагрузке 1000 Н алмазной пирамидой с углом при вершине 136°. При этом одновременно с измерением диагонали определяли ширину отпечатка в двух взаимно-перпендикулярных направлениях. Предел прочности образцов подсчитывался по формуле:

$$\sigma_B = (0,285 + 0,057S), \quad (1)$$

где HV — твердость по Виккерсу; S — ширина отпечатка.

Механические испытания проводили на разрывной машине. Матрица полного факторного эксперимента, реализующего все возможные сочетания уровней факторов и значения всех параметров, представлена в табл. 2.

Каждый отклик имеет свой физический смысл и свою размерность. Чтобы их объединить, для каждого вводится некоторая безразмерная кодированная шкала, которая однотипна для всех объединенных откликов и может быть получена путем линейной формы преобразования $Y_i^1 = a_0 + a_i y_i$. На рис. 2 симметрично относительно

Таблица 2. Матрица планирования для системы неразрушающего контроля предела прочности

Номер	Факторы			Параметры					
	X_1	X_2	X_3	$Y_1, \%$	$Y_2, \%$	$Y_3, \%$	$Y_4, \text{МПа}$	$Y_5, \text{ранг}$	$Y_6, \text{ранг}$
1	+	+	+	100	100	100	80	5	4
2	–	+	+	91	58	50	80	3	2
3	+	–	+	89	54	58	70	2	2
4	–	–	+	82	42	100	50	0	0
5	+	+	–	98	32	16	80	5	4
6	–	+	–	89	23	58	80	3	2
7	+	–	–	92	29	42	70	2	2

нуля на оси Y расположены кодированные значения отклика. Значения на кодированной шкале обычно принято выбирать от 3 до 6. В данном случае использовано три интервала в сторону убывания и три — в сторону возрастания. Выбор числа интервалов определяет крутизну кривой в средней зоне. Выбранные значения параметров, соответствующих базовым отметкам по шкале желательности, приведены в табл. 3.

На основании данных табл. 3 был сформулирован следующий набор нечетких правил:

P_1 : Если $Y_1 = 0,98$ и $Y_2 = 0,2$ и $Y_3 = 0,1$ и $Y_4 = 0,3$

и $Y_5 = 4$ и $Y_6 = 3$, то $D = 0,8$;

P_2 : Если $Y_1 = 0,89$ и $Y_2 = 0,39$ и $Y_3 = 0,38$ и $Y_4 = 0,64$

и $Y_5 = 2,54$ и $Y_6 = 3$, то $D = 0,63$;

P_3 : Если $Y_1 = 0,8$ и $Y_2 = 0,6$ и $Y_3 = 0,7$ и $Y_4 = 0,1$

и $Y_5 = 1$ и $Y_6 = 1$, то $D = 0,37$;

P_4 : Если $Y_1 = 0,74$ и $Y_2 = 0,73$ и $Y_3 = 0,89$ и $Y_4 = 1,2$

и $Y_5 = 0,15$ и $Y_6 = 0,35$, то $D = 0,2$.

Для нахождения оптимального сочетания функций принадлежности и алгоритмов вывода задача выбора рациональных комбинаций методов контроля решалась при помощи алгоритмов вывода Мамдани и Сугэно, гауссовой, двойной гауссовой и треугольной функций принадлежности нечетких множеств. Структурная схема работы нечеткой экспертной системы выбора рациональных комбинаций методов контроля прочностных свойств металлов показана на рис. 3.

Таблица 3. Значения параметров в базовых точках функции желательности

Параметр оптимизации	Значения параметров, соответствующих желательности			
	0,2	0,37	0,63	0,80
$Y_1, \%$	74	80	89	98
$Y_2, \%$	73	60	39	20
$Y_3, \%$	89	70	38	10
$Y_4 \cdot 10^8, \text{Па}$	1,2	1	0,64	0,3
$Y_5, \text{ранг}$	0,15	1	2,54	4
$Y_6, \text{ранг}$	0,35	1	2	3



При работе алгоритма вывода Мамдани использовали следующие последовательности обработки данных.

1 — фазификация. Для определения степени истинности каждой предпосылки каждого правила функции принадлежности, определенные на входных переменных, применяются к их фактическим значениям, т. е. определяются $A_1(y_1)$, $A_2(y_1)$, $A_3(y_1)$, $A_4(y_1)$, $B_1(y_2)$, $B_2(y_2)$, $B_3(y_2)$, $B_4(y_2)$, ..., $G_1(y_6)$, $G_2(y_6)$, $G_3(y_6)$, $G_4(y_6)$, где A , B , C , E , F , G — значения функции принадлежности при заданных значениях аргумента y .

2 — агрегация. Находятся уровни «отсечения» для предпосылок каждого из правил с использованием операции минимизации:

$$\alpha_1 = A_1(y_1) \wedge B_1(y_2) \wedge C_1(y_3) \wedge E_1(y_4) \wedge F_1(y_5) \wedge G_1(y_6);$$

$$\alpha_2 = A_2(y_1) \wedge B_2(y_2) \wedge C_2(y_3) \wedge E_2(y_4) \wedge F_2(y_5) \wedge G_2(y_6);$$

$$\alpha_3 = A_3(y_1) \wedge B_3(y_2) \wedge C_3(y_3) \wedge E_3(y_4) \wedge F_3(y_5) \wedge G_3(y_6);$$

$$\alpha_4 = A_4(y_1) \wedge B_4(y_2) \wedge C_4(y_3) \wedge E_4(y_4) \wedge F_4(y_5) \wedge G_4(y_6),$$

и определением усеченных функций принадлежности нечетких множеств:

$$M'_1(D) = (\alpha_1 \wedge M_1(D));$$

$$M'_2(D) = (\alpha_2 \wedge M_2(D));$$

$$M'_3(D) = (\alpha_3 \wedge M_3(D));$$

$$M'_4(D) = (\alpha_4 \wedge M_4(D)).$$

Здесь $M(D)$ — усеченные функции принадлежности для входных переменных; $M'(D)$ — усеченные функции принадлежности для нечетких правил.

3 — аккумуляция. Нахождение функции принадлежности итогового нечеткого подмножества для переменной выхода:

$$\mu_{\Sigma}(D) = M(D) = M'_1(D) \vee M'_2(D) \vee M'_3(D) \vee M'_4(D).$$

4 — дефазификация. Приведение к четкости осуществлялось центроидным методом путем определения центра тяжести для кривой $\mu_{\Sigma}(D)$.

При работе алгоритма вывода Сугэно использовали следующие последовательности обработки данных.

1 — фазификация. Определяются $A_1(y_1)$, $A_2(y_1)$, $A_3(y_1)$, $A_4(y_1)$, $B_1(y_2)$, $B_2(y_2)$, $B_3(y_2)$, $B_4(y_2)$, ..., $G_1(y_6)$, $G_2(y_6)$, $G_3(y_6)$, $G_4(y_6)$.

2 — агрегация. Находятся уровни «отсечения» для предпосылок каждого из правил с использованием операции минимизации

$$\alpha_1 = A_1(y_1) \wedge B_1(y_2) \wedge C_1(y_3) \wedge E_1(y_4) \wedge F_1(y_5) \wedge G_1(y_6);$$

$$\alpha_2 = A_2(y_1) \wedge B_2(y_2) \wedge C_2(y_3) \wedge E_2(y_4) \wedge F_2(y_5) \wedge G_2(y_6);$$

$$\alpha_3 = A_3(y_1) \wedge B_3(y_2) \wedge C_3(y_3) \wedge E_3(y_4) \wedge F_3(y_5) \wedge G_3(y_6);$$

$$\alpha_4 = A_4(y_1) \wedge B_4(y_2) \wedge C_4(y_3) \wedge E_4(y_4) \wedge F_4(y_5) \wedge G_4(y_6),$$

и нахождением индивидуальных выходных правил:

$$M'_1 = A_1 y_1 + B_1 y_2 + C_1 y_3 + E_1 y_4 + F_1 y_5 + G_1 y_6;$$

$$M'_2 = A_2 y_1 + B_2 y_2 + C_2 y_3 + E_2 y_4 + F_2 y_5 + G_2 y_6;$$

$$M'_3 = A_3 y_1 + B_3 y_2 + C_3 y_3 + E_3 y_4 + F_3 y_5 + G_3 y_6;$$

$$M'_4 = A_4 y_1 + B_4 y_2 + C_4 y_3 + E_4 y_4 + F_4 y_5 + G_4 y_6.$$

3 — дефазификация с определением четкого значения переменной вывода:

$$D = \frac{\alpha_1 M'_1 + \alpha_2 M'_2 + \alpha_3 M'_3 + \alpha_4 M'_4}{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4}.$$

Для оценки качества работы нечеткой системы вывода обобщенная функция желательности Харрингтона рассчитывалась алгебраически как среднее геометрическое частных функций желательности:

$$D = \sqrt[6]{d_1 d_2 d_3 d_4 d_5 d_6}.$$

Результат обработки экспериментальных данных с помощью нечетких систем вывода и алгебраическим методом показан в табл. 4.

Эффективность работы нечетких систем вывода определялась при помощи парного двухвыборочного t -теста для средних. Установлено, что для решения задачи выбора рациональной комбинации методов контроля прочностных свойств стали наиболее согласованные с алгебраическим

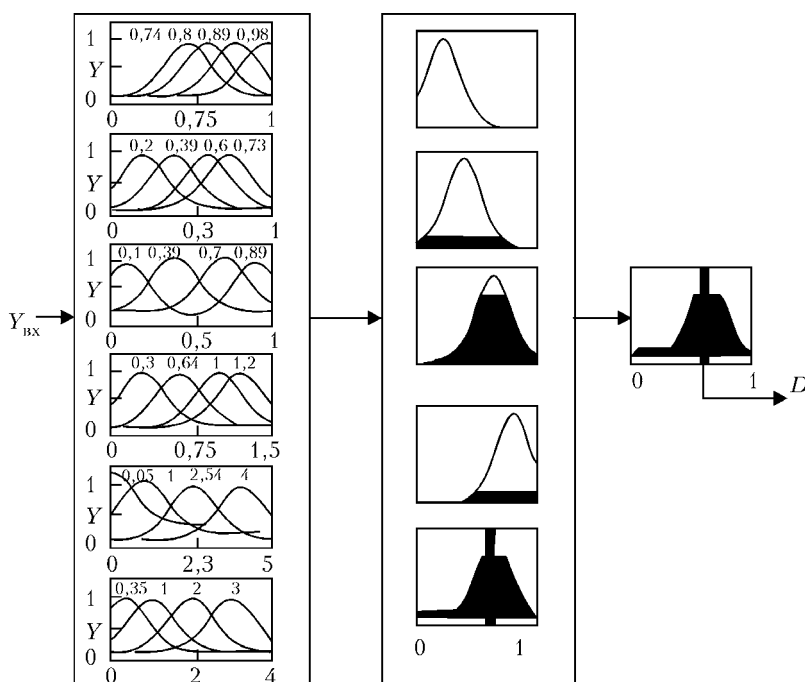


Рис. 3. Структурная схема нечеткой экспертной системы выбора рациональных комбинаций методов контроля прочностных свойств металлов



Таблица 4. Значения обобщенных функций желательности, полученных алгебраическими расчетами и с использованием нечетких систем вывода

Номер	Факторы			Gauss		Gauss2		tri+gauss		Алгебраический расчет
	X_1	X_2	X_3	M_1	C_1	M_2	C_2	M_3	C_3	
1	+	+	+	0,504	0,667	0,500	0,665	0,500	0,572	0,603
2	–	+	+	0,619	0,666	0,626	0,663	0,627	0,613	0,642
3	+	–	+	0,591	0,651	0,565	0,668	0,533	0,592	0,593
4	–	–	+	0,383	0,211	0,500	0,634	0,500	0,588	0,575
5	+	+	–	0,703	0,985	0,500	0,637	0,500	0,611	0,702
6	–	+	–	0,619	0,667	0,625	0,658	0,627	0,614	0,619
7	+	–	–	0,627	0,667	0,628	0,661	0,602	0,609	0,623

Примечание. M_1, M_2, M_3 — алгоритмы вывода Мамдани, C_1, C_2, C_3 — алгоритмы вывода Сугэно; gauss — для входных переменных используются гауссовы функции принадлежности; gauss2 — используются двойные гауссовы функции принадлежности; tri+gauss — для входных переменных используются треугольные функции принадлежности, а для выходных — гауссовы.

кими расчетами значения функции желательности D достигаются при использовании экспертной системы с гауссовыми функциями принадлежности ($D = 0,703; 0,985; D_{\text{алг}} = 0,702$). Это объясняется плавной формой кривой, при этом система более чувствительна к изменениям входных переменных. Максимальное значение функция желательности принимает при работе алгоритма вывода Сугэно ($D = 0,985$) и использовании комбинации электромагнитного и акустического методов. Целесообразность такого сочетания обусловлена физической сущностью электромагнитного и акустического методов. Оба они основаны на анализе усредненных акустических и электромагнитных характеристик всего материала в целом и, следовательно, являются более стабильными, чем методы определения предела прочности по форме отпечатка индентора.

Прочностные характеристики исследуемого материала определялись гибридной нейронной сетью, основу которой составляют нечеткие нейроны. Весовые коэффициенты таких нейронов представляют собой нечеткие множества с заданными функциями принадлежности. Для нахождения оптимального сочетания функций принадлежности в слоях сети автором проведены исследования по определению предела прочности стали У8А гибридной нейронной сетью с различными функциями принадлежности нейронов сети. Для подстройки весов использовались два алгоритма обучения: алгоритм обратного распространения ошибки и комбинированный алгоритм, разработанный специально для гибридных нейронных сетей. На вход сети поступали эмпирические данные, полученные акустическим и электромагнитными методами контроля. Измерения резонансной частоты автоциркуляции выполнялись путем снятия амплитудно-частотных характеристик. Для определения скорости распространения поверхностных волн были выполнены измерения времени прохождения УЗ сигнала между фиксированными положениями пьезопреобразователей, установленных на контролируемой поверхности. Электромагнитным методом контроля определялась коэрцитивная сила исследуемого образца.

После выполнения акустических измерений образцы были подвергнуты разрывным испытаниям, в результате которых определялся предел прочности стали.

Для повышения точности обучения нейронной сети на предварительном этапе осуществлялась предобработка данных, в процессе которой значения элементов обучающего множества приводились к определенному диапазону (масштабирование данных). На заключительном этапе восстанавливались масштабы данных на выходе сети. Предобработка экспериментальных данных осуществлялась по формуле:

$$c' = \frac{(c - c_{\min})(b - a)}{(c_{\max} - c_{\min})} + a,$$

где $[a, b]$ — диапазон приемлемых входных сигналов; $[c_{\min}, c_{\max}]$ — диапазон значений признака; c, c' — предобработанный сигнал, который будет подан на вход сети.

Восстановление данных на выходе сети проводилось по обратной формуле:

$$c = \frac{(c' - a)(c_{\max} - c_{\min})}{(b - a)} + c_{\min}.$$

Структурная схема гибридной нейронной сети изображена на рис. 4.

Входы и веса полученной сети — вещественные числа, принадлежащие отрезку $[-1, 1]$. Выходным сигналом являлась определяемая прочностная ха-

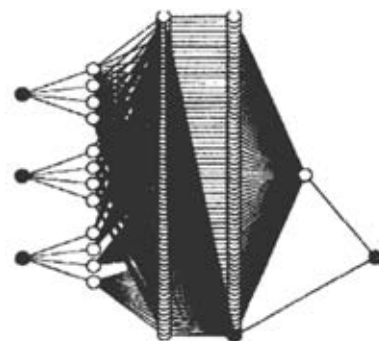


Рис. 4. Структурная схема гибридной нейронной сети

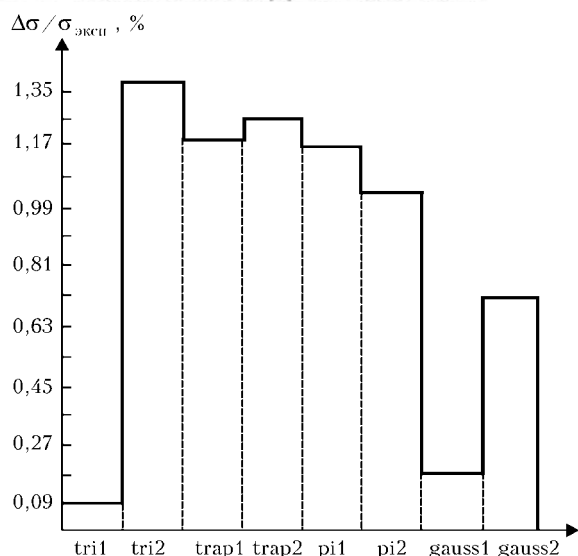


Рис. 5. График распределения относительных погрешностей расчета в зависимости от типа используемой сети

рактеристика исследуемого металла. Для обучения гибридной нейронной сети использовался алгоритм вывода Мамдани с треугольной (trimf), трапецидальной (trapmf), гауссовой (gaussmf) и π -функциями принадлежности нейронов. Вес нейронов сети настраивали при помощи комбинированного алгоритма, специально разработанного для гибридных нейронных сетей и наиболее распространенного алгоритма обратного распространения ошибки. Эффективность работы сети оценивалась по относительной погрешности расчета предела прочности $\Delta\sigma/\sigma_{\text{эксп}}$, где $\sigma_{\text{эксп}}$ — значение предела прочности, определенное в процессе механических испытаний. График распределения относительных погрешностей расчета в зависимости от типа используемой сети показан на рис. 5.

Установлено, что для решения задач ТД механических характеристик металлов наименьшую погрешность при обработке данных (0,09 %) дает гибридная нейронная сеть с треугольными функциями принадлежности и комбинированным алгоритмом обучения нейронов сети.

Главным достоинством предложенной системы является высокая достоверность получения необ-

ходимой информации вследствие повышения размерности информативных входных параметров (результат работы наиболее оптимальной комбинации методов НК) и высокой точности прогноза гибридной нейронной сети. При этом процесс обработки поступающих на вход эмпирических данных максимально автоматизирован. Эксперту необходимо ввести на вход предварительно обученной гибридной нейронной сети набор экспериментальных характеристик, далее процесс получения необходимой информации происходит автоматически. Сформулированные в процессе обучения сети нечеткие правила являются для пользователя максимально прозрачными. Они легко интерпретируются и модифицируются при помощи редактора базы знаний системы нечеткого логического вывода.

Выводы

Представлены разработки по созданию автоматизированной экспертной системы ТД прочностных характеристик металлов, основанной на аппарате гибридных нейронных сетей, в которой выводы делаются системой нечеткого вывода с использованием функции желательности Харрингтона. Впервые использован аппарат нечеткой логики и нейронных сетей для определения прочностных характеристик металлов. Определены границы и области рационального использования нейронных сетей для решения задач ТД. Показано, что для решения задачи определения предела прочности стали наиболее оптимальной является гибридная нейронная сеть с треугольными функциями принадлежности и комбинированным алгоритмом обучения нейронов сети.

1. Шарко А. В., Бугай Н. В. Система комплексного неразрушающего контроля механических свойств металлов / Надежность и долговечность машин и сооружений. — Киев. — 1985. — № 8. — С. 104–106.
2. Бугай Н. В., Лебедев А. А., Шарко А. В. Комплексный контроль стали 12Х1МФ при технической диагностике металла энергооборудования // Дефектоскопия. — 1992. — № 5. — С. 47–53.
3. Галушкин А. И. Нейрокомпьютеры. — М.: ИПРЖР, 2000. — С. 532.
4. Дьяконов В., Круглов В. Математические пакеты расширения MATLAB // Спец. справ. — С.-Петербург, 2001. — С. 311–314.



ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДА АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ПРИ ТЕХНИЧЕСКОМ ДИАГНОСТИРОВАНИИ ОБЪЕКТОВ

Е. И. АНТИПЕНКО, Н. Г. ВИСИЛОВСКИЙ, М. Б. КЕЛЬРИХ

Рассмотрены вопросы использования метода акустической эмиссии (АЭ) при техническом диагностировании объектов, отслуживших нормативный срок эксплуатации. Приведен перечень нормативной документации, регламентирующей применение этого метода. Показана картина предразрушающего состояния объекта при его нагружении. Дана критериальная оценка выявленных дефектов. Рассмотрено практическое применение метода АЭ для оценки состояния резервуаров вертикальных, стальных, имеющих дефекты днища (коррозионные поражения, сквозные трещины и т. п.).

Considered are the issues of using the method of acoustic emission (AE) in technical diagnostics of objects, the design life of which is over. A list of standards is given, which specify the application of this method. The pattern of pre-failure condition of an object under load is shown. Criterial assessment of the revealed defects is given. Practical application of AE method is considered for evaluation of the condition vertical steel tanks, which have bottom defects (corrosion attack, through-thickness cracks, etc.).

Предразрушающее состояние и разрушение материалов сопровождается акустическим излучением, возникающим при быстром освобождении упругой энергии, запасенной кристаллической решеткой, или разрушением межатомных связей. Частотный диапазон акустического излучения занимает полосу от нескольких герц до нескольких мегагерц.

Несмотря на столь раннее открытие явления акустического излучения, изучение его природы успешно завершилось лишь в прошлом столетии. Толчком в практическом применении послужило создание персонального компьютера. Возможности этого метода по сравнению с традиционными методами неразрушающего контроля (НК) оказались очень большими. С помощью указанного метода, используя показания нескольких преобразователей, закрепленных на поверхности объекта, можно получить интегральную оценку технического состояния по наличию развивающихся дефектов металла и сварных швов областей, охваченных преобразователями. При этом определяются координаты участка и степень опасности источника акустического излучения. Специалисты быстро оценили преимущества данного метода при выполнении технического диагностирования по сравнению с традиционными методами НК.

В Украине работы в области диагностирования с использованием метода АЭ сосредоточены в Институте электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, где работает координационный совет, помогающий организациям в работе по этому направлению. Многолетняя научная деятельность и практический опыт в области АЭ контроля позволили научно обосновать и использовать в промышленности АЭ технологии, позволяющие прогнозировать разрушающую нагрузку в реальном времени. При непосредственном участии научных сотрудников института с привлечением специалистов из регионов осуществляется разработка норматив-

ной документации, проводятся семинары, с 1989 г. издается журнал «Техническая диагностика и неразрушающий контроль».

В настоящее время в Украине разработаны специалистами и утверждены Госназдорхрантруда Украины следующие документы.

1.1. ДНАОП 0.00-1.07.94 «Правила будови та безпечної експлуатації посудин, що працюють під тиском». Пункт 4.6.19 обязывает использовать АЭ при замене гидравлического испытания пневматическим.

1.2. ДНАОП 0.00-6.05-97 «Методика оценки технического состояния безопасности оборудования и трубопроводов, работающих в среде хлора». В пункте 3.3.11 предусмотрено испытание оборудования на прочность с использованием метода АЭ.

1.3. РД 30277055.001-2000 «Железнодорожные вагоны-цистерны. Методика технического диагностирования котла для определения остаточного ресурса и возможности продления сроков службы».

1.4. Р 50.01-01 «Рекомендації щодо акустико-емісійного контролю об'єктів підвищеної небезпеки».

1.5. ДСТУ 4046-2001 «Оборудование технологическое нефтеперерабатывающих, нефтехимических и химических производств. Техническое диагностирование. Общие технические требования». Пункты 2.5.3 и 5.3.1 предусматривают и регламентируют применение метода АЭ.

1.6. РД 001.01-95 «Методические указания по оценке технического состояния мостовых, козловых и специальных кранов». Пункт 4.3.4 предусматривает возможность использования метода АЭ для оценки технического состояния металлоконструкций.

Классификация источников сигналов АЭ (дефектных мест) осуществляется по ГОСТ 27655-88, пункт 4.4 которого дает четыре критерия оценки по параметру классификации «n»: отсутствие сит-



налов АЭ — 1 класс; активный источник АЭ, $n \leq 1 - 2$ класс; критически активный источник АЭ, $1 \leq n \leq 6 - 3$ класс; катастрофически активный источник, $n = 6 - 4$ класс.

На рис. 1 квадратики показаны значения показателя $n > 8$ (4-й класс — катастрофически активный источник) (левая ордината) в зависимости от нагрузки (правая ордината $P = 0,5$ МПа) и времени.

Следует отметить, что в современных многоканальных АЭ комплексах на программном уровне решен вопрос критериальной оценки выявленных активных дефектов по нескольким критериям, определяемым по параметрам АЭ сигналов и результатам нагружения.

Вопрос критериальной оценки опасности дефекта по активности АЭ также представлен в Р 50.01-01.

Из сказанного выше следует, что приборы, основанные на применении метода АЭ, позволяют регистрировать именно активные дефекты, относящиеся к числу наиболее опасных, что отличает их от традиционных методов НК. Естественно, для активации дефектов требуется нагружение объекта.

Если выявленный дефект не активный при нагружении объекта, т. е. силовое поле нагрузки недостаточно для его развития, то можно предположить, что он появился еще на этапе производства (несплошности литья, трещины после сварки, термообработки и т. п.). Таким образом, в основу критериальной оценки состояния объектов с помощью АЭ может быть положена классификация источников сигналов по параметрам сигналов АЭ и нагрузки объекта.

Эффективность технического диагностирования с использованием АЭ метода доказана практическими работами ООО «Сереп», Мариуполь, на объектах повышенной опасности в России, Казахстане, Узбекистане, Украине [1–9]. Специалисты ООО «Сереп» используют два АЭ-комплекса — Aline32D, имеющих шестнадцать и двенадцать каналов, что обеспечивает возможность выполнения технического диагностирования металлоконструкций любой протяженности и формы (перегрузателей производительностью 7000 т/ч, мостовых кранов, железнодорожных цистерн, объектов нефтехимии сферических и цилиндрических, газгольдеров, резервуаров вертикальных стальных, трубопроводов и др.). При необходимости используется УЗ контроль, цветная дефектоскопия, измерение твердости, вихретоковый метод, визуально-измерительный контроль и другие методы.

Совместно с учеными Киевского университета экономики и технологий транспорта (КУЭТТ) специалисты ООО «Сереп» завершают исследования по техническому диагностированию методом АЭ литья (надрессорных балок и боковых рам) тележек железнодорожных вагонов, что недоступно для УЗ контроля. Для выполнения работ предприятие располагает штатом специалистов II и III уровней по различным методам контроля, аттестованных в Украине, а также специалистов по АЭ методу III и II уровней, прошедших серти-

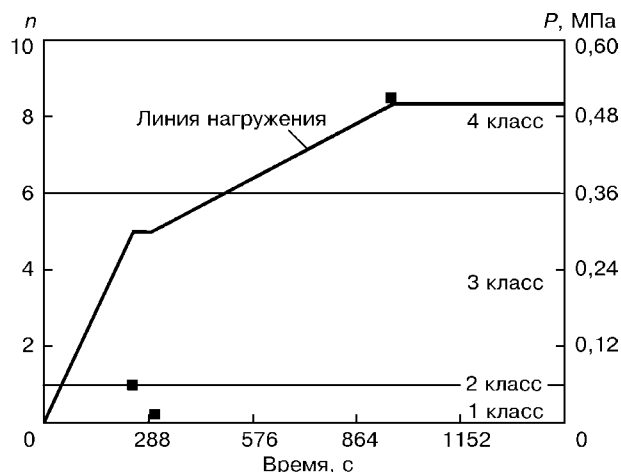


Рис. 1. Локально-динамический критерий показателя n

фикацию компетентности в соответствии с требованиями европейских стандартов EN.

Успешно используются в работах по техническому диагностированию в Мариуполе ИЦ «Азовмаштест» ОАО «Азов» 8-канальный АЭ комплекс Aline32D; НППЦ «Инженер» ОАО «МК Азовсталь» 8-канальный компьютеризованный комплекс на базе АФ-44.

Следует отметить, что работы по подготовке специалистов по АЭ методу по трехуровневой аттестации, развернутые в 2003 г. в Украине, не завершены, т. е. подготовленные по данному методу специалисты не аттестованы в соответствии с EN 473.

Современные тенденции использования оборудования до предела его возможностей предъявляют повышенные требования к техническому диагностированию и точности прогнозирования остаточного ресурса.

Традиционные методы НК, разработанные для контроля процесса производства, были автоматически включены в нормативную документацию (НД) по техническому диагностированию. При этом разработчиками НД не принято во внимание неконтролепригодность отслуживших нормативный срок объектов (толстый слой краски, грязь, теплоизоляция, теневая защита, ремонтные ламели, усиливающие накладки и т. п.). Таким образом, для проведения контроля традиционными методами НК необходимо выполнить значительный объем работ по очистке от грязи, зачистке металла от краски, демонтаж теплоизоляции, ремонтных ламелей и т. п.

Быстрое развитие механики разрушения открыло возможность прогнозирования остаточного ресурса. Были разработаны методики [1], однако они требовали точных данных по механическим характеристикам металла, количеству нарабатанных циклов, уровню остаточных напряжений, а также характеристик дефекта, его размеров, формы и ориентировки к силовому полю нагрузки. Их истинность определяет точность прогноза. Так как перечисленных характеристик дефекта традиционные методы НК не могли обеспечить, методика не работает и по сей день, сохранились только записи в НД, где упоминается термин «прогнозирование остаточного ресурса».



Рис. 2. Установка ПАЭ на цистерну через вырезанные окна в обшивке теплоизоляции

Согласно статистическим данным, представленным американскими специалистами, усталостные повреждения материалов вызывают 80 % отказов техники, работающей в жестких условиях эксплуатации. Накопление усталостных повреждений происходит на микроуровне, недоступном для традиционных методов НК. Для решения этого вопроса необходимо увеличить чувствительность современного УЗ дефектоскопа примерно на два порядка по сравнению с его предельными возможностями.

Таким образом, информация, получаемая традиционными методами НК, недостаточна для оценки состояния объекта с дефектами [3] и определения остаточного ресурса.

Метод АЭ, обладая интегральными свойствами, не требует выполнения большого объема трудоемких работ по зачистке поверхности объекта. Нет необходимости демонтажа теплоизоляции, для преобразователей акустической эмиссии (ПАЭ), достаточно вырезать в обшивке окна для их размещения (рис. 2).

Программное обеспечение современных АЭ комплексов позволяет реализовать следующие виды локации: линейную; зонную; объемную; на плоскости.

Контроль объектов сложной формы осуществляется «по развертке их поверхности». Выбор количества ПАЭ регламентируется размерами объекта, его конструктивными особенностями и затуханием УЗ в металле. Процедура определения затухания и скорости распространения должна проводиться на заполненном нагружаемой средой (водой, газом, маслом и т. п.) объекте. Указанные параметры обеспечивают точность определения координат и критериальную оценку источника АЭ.

На рис. 3 приведена развертка железнодорожной цистерны с шестью ПАЭ. В работе по лоцированию источников сигналов АЭ используется треугольная антенна, т. е. вся лоцируемая поверхность (развертка) разбивается на треугольники с расположенными в вершинах ПАЭ (01-04-02): (02-04-05) и т. д.

Визуальным контролем внутренней поверхности котла подтверждено наличие лоцированного источника коррозионного поражения металла днища.

В процессе выполнения технического диагностирования возникает необходимость определения предразрушающего состояния, которое характеризуется экспоненциальным ростом параметров сигналов АЭ (интенсивности, накоплении событий,

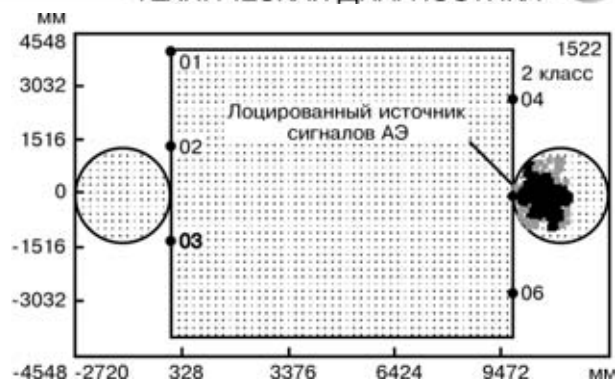


Рис. 3. Развертка железнодорожной цистерны с шестью ПАЭ и активным источником сигнала АЭ 2 класса

энергии, длительности импульсов и других данных) при увеличении нагрузки (рис. 4). Интенсивность (левая ордината) увеличивается на порядок при достижении давления $P = 0,5$ МПа (правая ордината). Прекращение нагружения объекта (выдержка) не приводит к уменьшению параметров АЭ и только сброс давления предотвращает разрушение объекта.

Многopараметровость сигналов АЭ и их высокая информативность свидетельствуют об уникальных свойствах метода АЭ. Возможности наложения на параметры АЭ сигналов нагружения (см. рис. 4) позволяют оценивать динамику параметров сигналов АЭ в зависимости от уровня нагрузки, что при определенных условиях обеспечивает оценку остаточного ресурса.

Весьма актуальной является проблема загрязнения окружающей среды. Часто в колодцы, расположенные у кромки реки, попадают различные нефтепродукты, истекающие из резервуаров, установленных на берегу. Загрязнения нефтепродуктами р. Южный Буг, а также появление в подземных водах Украины химических веществ свидетельствует о том, что в Украине эта проблема актуальна.

Нельзя сказать, что эта проблема обойдена вниманием. Разработаны методики, предусматривающие определение вертикальности стенок цилиндрической части, УЗ сварных швов и т. п. Однако они не решают вопросы контроля целостности и герметичности днищ, которые повреждаются чаще всего. Проблема еще более усугубляется в случае

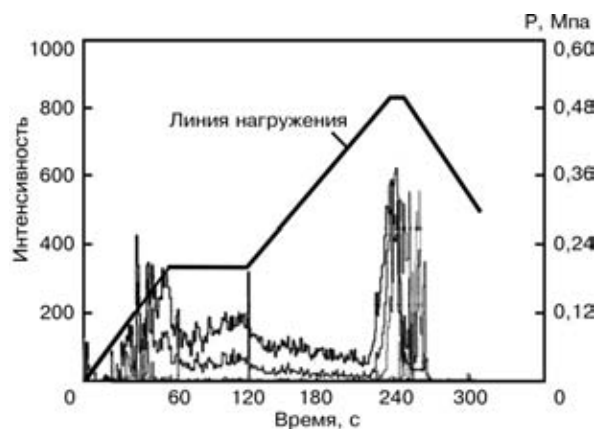


Рис. 4. Экспоненциальное возрастание параметра АЭ интенсивности, вызванное предразрушающим состоянием объекта

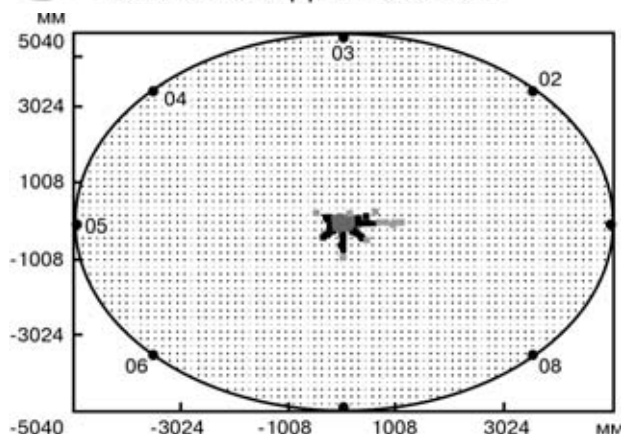


Рис. 5. Фрагмент коррозионного поражения дна РВС

потери устойчивости конического дна, так как в образовавшихся разломах остаток продукта трудноудаляем, что делает объект неконтролепригодным. Таким образом, вывод из эксплуатации и очистка резервуара перед обследованием требуют значительных финансовых затрат.

Метод АЭ позволяет оценить техническое состояние дна резервуара без вывода их из эксплуатации. Открывается возможность сортировки резервуаров, дна которых требуют ремонта, замены или продолжения безопасной эксплуатации.

Техническое диагностирование осуществляется многоканальным АЭ комплексом с помощью закрепленных на стенках резервуара ПАЭ, которые регистрируют акустические сигналы, вызванные коррозионным поражением или протечками продукта. Полученные результаты позволяют определять местоположение дефектного участка, а по параметрам сигналов классифицировать состояние дна (рис. 5).

Заканчивая рассмотрение эффективности АЭ метода, нельзя обойти очень важный вопрос технического диагностирования в части определения остаточного ресурса, предусмотренного нормативной документацией Украины.

Критериальный прогноз по толщине стенки может привести к большему расчетному остаточному ресурсу по отношению к ресурсу, заложенному конструктором (с учетом добавки на коррозионное поражение и принятие толщины по ГОСТ).

Ограниченное число данных при использовании расчета по предельному состоянию также не обеспечивают оценки реального остаточного ресурса.

Остаточный ресурс металлоконструкции с дефектом определяется точностью используемых в расчете данных по механическим характеристикам, эксплуатационным данным объекта и размеру, форме и ориентировке дефекта к силовому полю нагрузки, которую традиционные методы НК на данном этапе не могут обеспечить. Метод АЭ в отличие от традиционных методов НК позволяет подтвердить ресурс прочности при нагружении объекта испытательной нагрузкой, а также выявить его предразрушающее состояние и указать координаты развивающихся дефектов.

Техническое диагностирование, например, закрытого трубопровода можно осуществить путем извлечения из траншеи с последующим контролем традиционными методами НК, ремонтом и при необходимости закрытием. Однако есть более простой — рытье шурфов на трассе с определенным интервалом и установкой на вскрытых местах трубопровода ПАЭ и с помощью АЭ комплекса, используя линейную локацию, определить поврежденный участок.

Акустическая эмиссия, как показал мировой опыт, не имеет альтернативы по интегральной оценке технического состояния металла и сварных швов без разборки, при подводном и наземном залегании объектов, отслуживших назначенный срок эксплуатации. Дистанционность, выявление развивающихся дефектов, а также оперативность оценки состояния объекта ставят его вне конкуренции.

1. Правила определения предельных безопасных размеров несплошностей в сварных соединениях. — М.: Издание МГТУ им. Баумана, 1989.
2. МР 204-86. Применение метода акустической эмиссии для контроля сосудов, работающих под давлением.
3. Иванов В. И. Развитие акустико-эмиссионных методов и средств технической диагностики корпусных объектов на основе изучения процессов формирования сигналов при деформации и разрушении металлов / Автореф. дис. на соискание уч. степени доктора технических наук. — М. 1990. — С. 2-5.
4. Розина М. В. Определение ранней стадии предразрушения при усталости металла / В мире неразруш. контроля. — 2000. — 9, № 3. — С. 40.
5. Р 50.01-01. Рекомендації щодо акустико-емісійного контролю об'єктів підвищеної безпеки.
6. ДСТУ У223-2003. Котли, посудини під тиском і трубопроводи. Технічне діагностування. Загальні технічні вимоги.
7. ДСТУ 4227-2003. Настанови щодо проведення акустико-емісійного діагностування об'єктів підвищеної безпеки.
8. Недосека А. Я. Основы расчета и диагностики сварных конструкций. — Киев, Индипром, 2001. — С. 815.



ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ

А. М. ОВСЯНКІН, О. А. ВИШНЕВСЬКИЙ

Розглянуто проблеми коригування системи контролю технічного стану авіаційної техніки при її технічному обслуговуванні і ремонті на основі побудови математичної моделі залежностей появи дефектів від напружування.

The paper deals with the problems of correction of the system of monitoring the technical condition of aircraft systems during its maintenance and repair based on plotting a mathematical model correlating defect initiation with the operating period.

Система контролю технічного стану (ТС) авіаційної техніки (АТ) передбачає встановлення початкових інтервалів контролю виробником та їх узгодження відповідними органами державного регулювання. Інтервали повторного контролю повинні базуватися на досвіді експлуатації і враховувати границі допустимості пошкоджень [1].

Втомні пошкодження необхідно виявляти з достатньою вірогідністю для визначених розмірів пошкоджень з урахуванням докладного логічного аналізу конструкцій і пошкоджень. В системі обґрунтовано використовуються вибіркові огляди, програми яких розробляються на базі статистичних даних.

Організація робіт по діагностуванню і контролю при технічному обслуговуванні (ТО) і ремонті АТ здійснюється, наприклад, згідно Авіаційних вимог, що розробляються федеральним органом [2].

У відповідності до вимог основними задачами системи контролю є не тільки встановлення місця і причини відмови, але також прогнозування технічного стану і вдосконалення системи експлуатації [2], що передбачає зміни періодичності обслуговування і контролю (рис. 1).

Важливим є встановлення єдиного підходу при використанні методів і засобів контролю АТ. Це питання актуальне з появою технічних умов на виявлення пошкоджень на мікро- і субмікрорівні в конструкціях з підвищеним рівнем надійності.

Роботи з забезпечення контролю та оцінки технічного стану є складовою задач і функцій лабораторій з діагностування і контролю підприємств (рис. 2).

Інформація, що збирається лабораторією, використовується для формування пропозицій відносно подальшої експлуатації. Така інформація може бути використана для коригування системи технічного обслуговування і ремонту. Найбільш обґрунтовано коригування системи проводиться при детально-

му аналізі статистичної інформації. Статистична інформація про пошкодження є основою для прийняття рішень про досконалість прийнятої системи, якщо аналізується небезпека пошкоджень.

Більшість залежностей потоку дефектів (або їх сумарних розмірів) від напружування мають типовий розподіл, що характеризується наявністю декількох пікових значень, які періодично повторюються (рис. 3).

Це стосується як числа і розміру дефектів елементів силового набору фюзеляжу з алюмінієвих сплавів, так і дефектів конструкцій фюзеляжу з композиційних матеріалів. Наявність пікових значень залежностей з різною амплітудою вимагає, на наш погляд, додаткового аналізу цих залежностей з точки зору допустимості деяких значень дефектів, їх впливу на надійність і можливості зміни таких характеристик. Для здійснення більш докладного аналізу використовуємо найбільш типову залежність числа дефектів (тріщин) елементів силового набору фюзеляжу (стрингерів і шпангоутів) від нальоту (рис. 3, а). Мінімум кількості дефектів — точки 11, 4 і 9, пов'язані



Рис. 1. Структурна схема задач системи контролю ТС

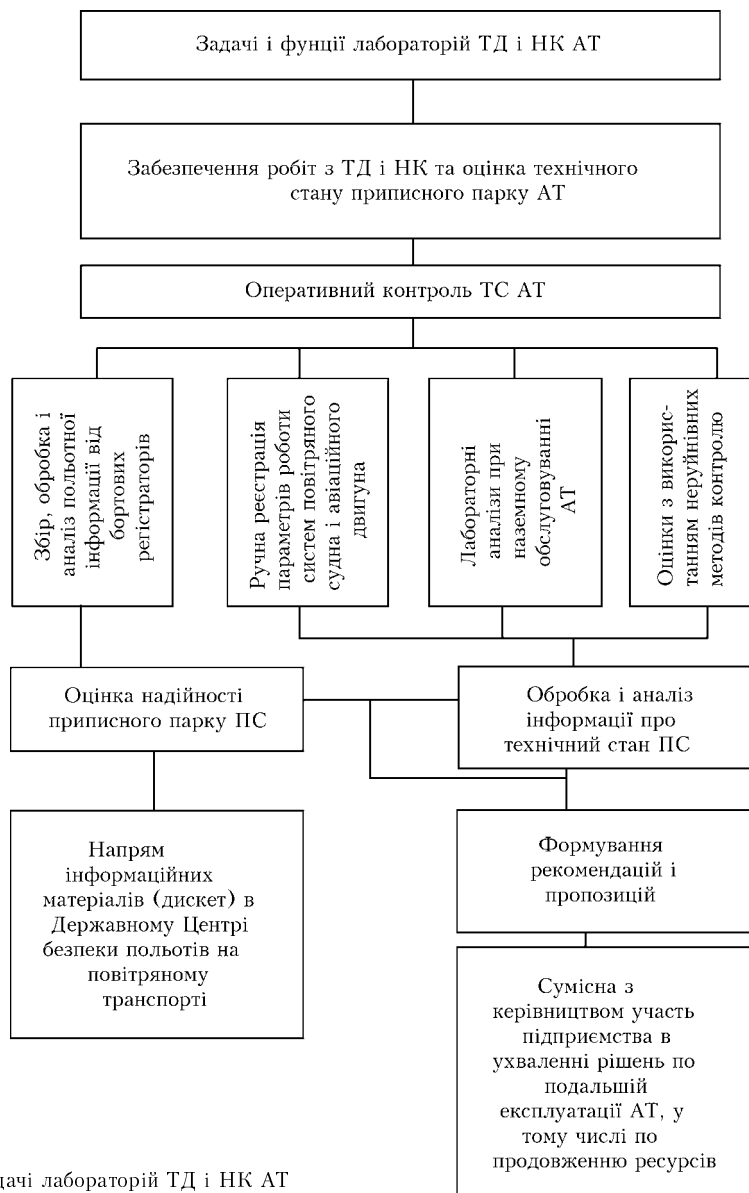


Рис. 2. Функціональні задачі лабораторій ТД і НК АТ

з малою кількістю об'єктів контролю (літаків) або для встановленої кількості об'єктів контролю (літаків) з меншим дійсним змістом дефектів у порівнянні з піковим значенням — точки 67, 80. Однак, в першу чергу привертають увагу максимальні значення залежностей — точки 67 і 80 з точки зору допустимості цих рівнів і можливості їх змін. Для здійснення змін залежностей виникає необхідність зміщення моментів контролю по наробітці (в даному випадку з 2150 годин на менше значення наробки).

Найбільш короткий час для отримання результатів можливо одержати шляхом математичної обробки залежності і прогнозування її характеристик для різних періодів по напрацюванню.

Для обробки таких залежностей пропонується розбити весь графік на окремі (характерні) ділянки (сплайни), в яких початковий і кінцевий моменти відповідають максимальним і мінімальним значенням кількості пошкоджень відповідних деталей або вузлів.

Із рис. 3, а видно, що зміщення вліво моменту головного контролю (2150 годин) на деяке число годин, призведе до зменшення амплітуди пікового зростання кількості дефектів на всьому часовому проміжку спостережень. Причому на кожному сплайні зменшення амплітуди буде задаватися своїм числом. Якщо розглянути початковий графік залежності числа дефектів від часу роботи конструкції у вигляді функції

$$y = f(x), \quad (1)$$

то при зміщенні моменту основного контролю і відповідних моментів подальшого контролю на a годин вліво отримаємо залежність

$$y = f(x + a). \quad (2)$$

Приведену на рис. 3, а залежність доцільно розбити на п'ять сплайнів:

$$y = f_1(x) + f_2(x) + f_3(x) + f_4(x) + f_5(x). \quad (3)$$

При зміщенні моментів основного і неосновного контролю на a одиниць вліво отримаємо:

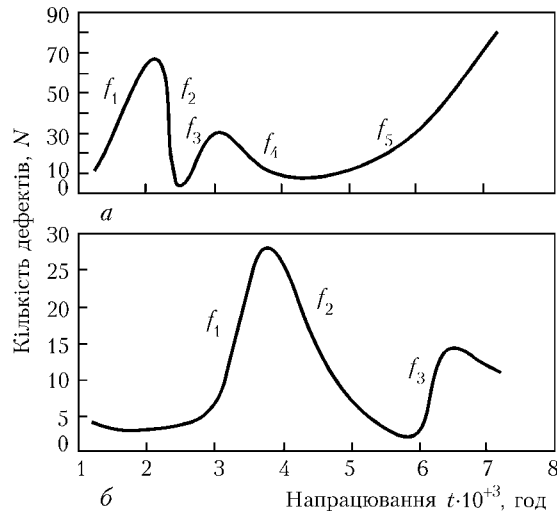


Рис. 3. Залежність числа дефектів елементів силового набору фюзеляжу (а) і залізів фюзеляжу з композиційних матеріалів (б) від напруження

$$f(x+a) = \frac{1}{\alpha}f_1(x) + \frac{1}{\beta}f_2(x) + \frac{1}{\gamma}f_3(x) + \frac{1}{\delta}f_4(x) + \frac{1}{\epsilon}f_5(x), \quad (4)$$

де $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \epsilon$ — деякі числа, що показують, в скільки разів зменшується амплітуда показників дефектів.

Для отримання аналогічної залежності y від x використаємо пакет математичних програм «Mathcad-2001» [3].

Наведемо фрагмент комп'ютерної програми для отримання відповідної формули кожного із п'яти сплайнів.

Введемо координати базових точок першого сплайну (data) та компоненти апроксимуючої функції $F(x)$. Для зручності зменшимо значення часу наробок деталей та вузлів АТ у 1000 разів. Таким чином, робимо заміну $x = 0,001t$, де t — реальна кількість годин:

Spline 1

$$data := \begin{pmatrix} 1,25 & 11 \\ 1,3 & 20 \\ 1,48 & 30 \\ 1,68 & 40 \\ 1,75 & 50 \\ 1,85 & 60 \\ 2 & 65 \\ 2,12 & 67 \end{pmatrix}, \quad (5) \quad F(x) := \begin{pmatrix} 1 \\ x \\ x^2 \\ x^3 \\ x^4 \\ x^5 \end{pmatrix}. \quad (6)$$

Перший стовпчик матриці *data* складається з абсцис базових точок, другий — з відповідних ординат, що в даній програмі записуються у вигляді:

$$X := data^{(0)}, \quad Y := data^{(1)}. \quad (7)$$

Отримаємо коефіцієнти апроксимуючої функції:

$$S = \begin{pmatrix} -35935,14 \\ 107666,93 \\ -127775,55 \\ 75081,82 \\ -21834,43 \\ 2514,54 \end{pmatrix}. \quad (8)$$

Таким чином, перший сплайн має аналітичний вигляд:

$$f_1(t) := -35935,14 + 107666,93x - 127775,55x^2 + 75081,82x^3 - 21834,43x^4 + 2514,54x^5. \quad (9)$$

Для отримання залежності в реальному часі після заміни $x = 0,001t$ отримаємо

$$f_1(t) := -35935,14 + 107,66t - 0,12t^2 + 7,50 \cdot 10^{-5}t^3 - 2,18 \cdot 10^{-8}t^4 + 2,5 \cdot 10^{-12}t^5. \quad (10)$$

Аналогічно для другого сплайну маємо:

Spline 2

$$data := \begin{pmatrix} 2,12 & 67 \\ 2,23 & 60 \\ 2,25 & 50 \\ 2,265 & 40 \\ 2,28 & 30 \\ 2,3 & 20 \\ 2,35 & 10 \\ 2,4 & 6 \\ 2,48 & 4 \end{pmatrix}, \quad (11) \quad F(x) := \begin{pmatrix} 1 \\ x \\ \sin(x) \\ x^2 \\ x^3 \\ x^4 \\ x^5 \end{pmatrix}, \quad (12)$$

$$X := data^{(0)}, \quad Y := data^{(1)}, \quad (13)$$

$$f_2(x) := 1756998434,35 + 5028129054,77x - 9658128380,36 \sin(x) + 5065617315,00x^2 - 4534897861,01x^3 + 919383337,98x^4 - 53892515,63x^5. \quad (14)$$

В реальному часі залежність має вигляд:

$$f_2(t) := 1756998434,35 + 5028129,05t - 9658128380,36 \sin(0,001t) + 5065,61t^2 - 4,53t^3 + 9,19 \cdot 10^{-4}t^4 - 5,38 \cdot 10^{-8}t^5. \quad (15)$$

Так само отримаємо аналітичний вираз для наступних сплайнів:

Spline 3

$$data := \begin{pmatrix} 2,48 & 4 \\ 2,55 & 7 \\ 2,6 & 10 \\ 2,7 & 17 \\ 2,75 & 20 \\ 2,8 & 23 \\ 3,05 & 30 \end{pmatrix}, \quad (16) \quad F(x) := \begin{pmatrix} 1 \\ x \\ \sin(x) \\ x^2 \\ x^3 \end{pmatrix}, \quad (17)$$

$$f_3(x) := 49303,26 - 101049,75x + 26983,22 \sin(x) + 40763,5180x^2 - 4326,07x^3. \quad (18)$$

В реальному часі маємо залежність:

$$f_3(t) := 49303,26 - 101,04t + 26983,22 \sin(0,001t) + 0,04t^2 - 4,32 \cdot 10^{-6}t^3. \quad (19)$$

Spline 4

$$f^4(x) = 931,34 - 707,09x - 153,38 \cos(x) + 136,61x^2 - 5,93x^3. \quad (20)$$

В реальному часі маємо залежність:



$$f^4(t) := 931,34 - 707,09t - 153,38\cos(0,001t) + 1,36 \cdot 10^{-4}t^2 - 5,93 \cdot 10^{-9}t^3. \quad (21)$$

Spline 5

$$f_5(x) := -64131,15 + 71882,19x - 33290,06x^2 + 8153,29x^3 - 1113,75x^4 + 80,46x^5 - 2,40x^6. \quad (22)$$

В реальному часі маємо залежність:

$$f_5(t) := -64131,15 + 71,88t - 0,03t^2 + 8,15 \cdot 10^{-6}t^3 - 1,11 \cdot 10^{-9}t^4 + 8,04 \cdot 10^{-14}t^5 - 2,40 \cdot 10^{-18}t^6. \quad (23)$$

Для отримання значень α , β , γ , δ , ε треба провести перші перевірки і за формулою (4), де $f_1(x)$, $f_2(x)$, $f_3(x)$, $f_4(x)$, $f_5(x)$ — аналітичні записи сплайнів (1)–(5), розв'язати це рівняння відносно a . Але найбільш оптимальним методом отримання значення параметру часу a буде розглядання окремо кожного сплайну і розв'язання відносно a рівняння вигляду:

$$y_0^i = f_i(x_0 + a), \quad (24)$$

де x_0 — конкретний термін часу; a — зсув у часі (в годинах) головного і наступних контролів працездатності деталей та вузлів АТ; y_0 — бажана кількість дефектів.

Висновки

1. Отримані графічні залежності кількісних характеристик пошкоджень елементів конструкцій від напрацювання мають періодичний коливальний характер.

2. Для обробки залежностей найбільш придатний метод розподілу на сплайни, що дозволяє з необхідною точністю моделювати окремі складові залежності.

3. Отримані варіанти вирішення рівнянь для сплайнів дозволяють розраховувати дані для коригування систем контролю конструкцій по прийнятому рівню появи пошкоджень.

1. *Руководство по разработке программ технического обслуживания для авиакомпаний и изготовителей авиатехники.* — MSG-3. Изд.: Ассоц. возд. трансп. Америки, 1993. — 43 с.
2. *Авиационные требования к организации и выполнению работ по диагностированию и неразрушающему контролю авиационной техники в условиях организаций по ТонР.* — М.: Федеральн. служб. возд. трансп. России, 2000. — 40 с.
3. *Дьяконов В. «MathCad-2001» / Спецсправ.* — С.-Петербург, Питер, 2002. — 832 с.

Рассматриваются вопросы совершенствования систем контроля технического состояния авиационной техники при ее техническом обслуживании в процессе эксплуатации. На основе анализа современных подходов при разработке и корректировании программ технического обслуживания, основанные на логическом анализе конструкций, повреждений и методов их выявления, а также на использовании статистических данных о дефектах предложен способ анализа и обработки статистических данных о дефектах конструкций, который может быть использован для корректирования периодичности технического обслуживания и контроля технического состояния элементов конструкций фюзеляжа. Полученные зависимости потока дефектов от наработки (налета в часах) с характерными периодически повторяющимися экстремальными значениями проанализированы с точки зрения возможности снижения этих значений путем смещения моментов контроля. Для определения величины смещения момента контроля предложен способ математической обработки зависимостей с разбивкой всего графика на отдельные участки (сплайны), в которых начальные и конечные точки соответствуют минимальному и максимальному значениям потока дефектов.

Смещение момента контроля по наработке приведет к уменьшению экстремальных значений на всем временном промежутке наблюдений. При этом на каждом сплайне уменьшение потока дефектов будет задаваться своим коэффициентом. Для получения аналитических зависимостей для сплайнов использовался пакет математических компьютерных программ «Mathcad-2001». Полученные варианты решений уравнений для сплайнов позволяют рассчитать данные для корректирования системы контроля конструкций по заранее принятому уровню появления дефектов.



СПОСОБЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ ПРОДОЛЬНЫХ СВАРНЫХ ШВОВ ТРУБ В УСЛОВИЯХ ИХ МАССОВОГО ПРОИЗВОДСТВА

А. А. ТКАЧЕНКО, В. Л. НАЙДА, В. С. ГАВРЕВ, А. А. МОЗЖУХИН

Дана характеристика наиболее вероятных дефектов при сварке плавлением труб большого диаметра, описаны оригинальные способы автоматического формирования строб-импульса зоны ультразвукового (УЗ) контроля сварного шва труб, приведено описание структуры и особенностей новой установки автоматизированного ультразвукового контроля (АУЗК) сварных швов труб при их массовом производстве.

The paper characterizes the most probable defects in fusion welding of large diameter pipes, describes original methods of automatic forming of the gate-pulse of the zone of ultrasonic testing of a weld in pipes, and gives a description of the structure and properties of the new unit for automated ultrasonic testing of (AUT) welds on pipes in their mass production.

При производстве труб с применением электродуговой сварки под флюсом решающее влияние на качество сварки оказывают химический состав флюса и проволочного электрода, подготовка сварочных кромок, а также параметры сварки. Наиболее характерными при этом являются следующие типы дефектов: непровары, подрезы, поры, шлаковые включения, продольные трещины и трещины произвольной ориентации, отклонения геометрии шва и трубы [1].

Непровары — это дефекты в виде местного несплавления в сварном соединении. Непровары образуются при загрязнении кромок, неправильной их подготовке, грубых нарушениях режима сварки. Хотя даже при относительно больших непроварах разрушение нередко происходит по околошовной зоне (непровар компенсируется усилением шва) дефект этот относится к недопустимым.

Поры представляют собой полости округлой или продолговатой формы (рис. 1, а), заполненные газом. Поры образуются вследствие грубого нарушения технологии подготовки свариваемой трубной заготовки и сварочных материалов (загрязненность кромок, использование влажного флюса или отсыревших электродов, отклонения режима нагрева и скорости сварки).

Подрезы (рис. 1, б) возникают в результате нарушений режима сварки, связанных с несоответствием скорости наплавки металла шва и объемом стыка. Подрезы находятся на границе между сварным швом и металлом стенки трубы и могут иметь небольшую глубину (в пределах 0,2...1,0 мм).

Шлаковые включения (рис. 1, в) возникают в результате взаимодействия между шлаком и металлом электрода, а также ванны расплавленного металла. При нормально проходящем процессе шлак всплывает на поверхность шва и может быть легко удален с охлажденного шва. Только при отклонении от заданных режимов сварки шлаковые включения могут оставаться в шве. Шлаковые включения по сравнению с порами в значительно меньшей мере снижают усталостную прочность. Форма шлаковых включений может быть различной: округлой, шарообразной, плоской или продолговатой.

Трещины, представляющие собой разрывы металла, отличаются характером, расположением и причинами возникновения (рис. 1, г). В зависимости от момента возникновения в процессе затвердевания шва трещины подразделяются на «горячие» и «холодные», а в соответствии с размерами различаются макро- и микротрещины. При-

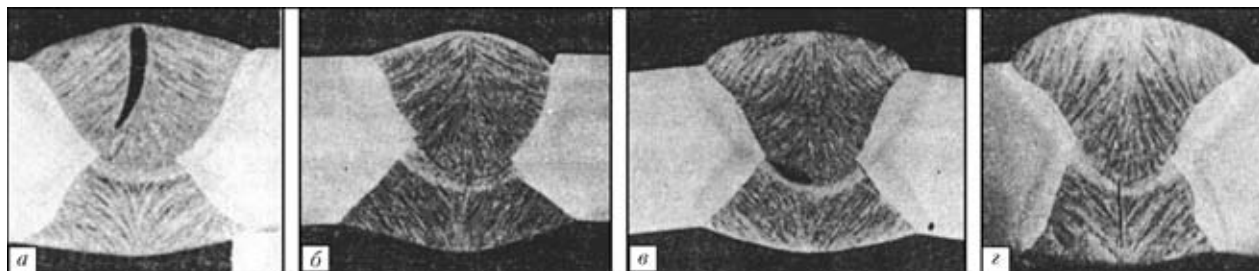


Рис. 1. Характерные дефекты сварных швов труб, полученных сваркой плавлением: а — пора; б — подрез; в — шлаковое включение; г — трещина

чиной появления горячих трещин являются разрывы металла в процессе кристаллизации, когда легкоплавкие фазы на границах первичного зерна разрываются при деформации в результате усадки шва. Горячие трещины, как правило, имеют произвольную ориентацию и малое раскрытие. Возникновение холодных трещин зависит от величины внутренних напряжений и содержания водорода. Они имеют значительно большие размеры и неровную поверхность.

Отклонения геометрии шва и размеров труб большого диаметра также являются недопустимыми. В [2] показано, что к нарушениям геометрии сварного шва относятся изменения ширины валика усиления и его асимметрия — взаимное смещение внутреннего и наружного швов, — которые приводят к осложнениям при УЗ контроле и требуют принятия мер по корректировке параметров аппаратуры НК. Как правило, смещения шва приводят к возникновению непроваров.

УЗ методы контроля сварных швов труб основаны на оценке параметров УЗ колебаний, возбуждаемых в контролируемой трубе. При этом применимы различные типы акустических волн, широкий диапазон рабочих частот УЗ колебаний. Разнообразие пьезоэлектрических и других способов возбуждения и приема УЗ волн, большой выбор пьезоматериалов для пьезоэлектрических преобразователей (ПЭП) делает УЗ методы контроля универсальными [3]. Для автоматизированного УЗ контроля в основном применяется импульсный эхометод со щелевым или иммерсионным способом создания акустического контакта преобразователя с трубой, основанный на анализе параметров импульсов, отраженных от дефектов, а также относительно новые — тандем- и дельта-метод. При контроле зону сварного шва (СШ) можно условно разбить на три участка: участок СШ с наплавленным металлом в форме валика усиления (ВУ), зону термического влияния (ЗТВ) и примыкающий участок основного металла (ОМ) трубы.

Задача УЗ контроля СШ состоит в обнаружении дефектов во всем объеме СШ, в ЗТВ и на примыкающем участке ОМ по возможности с равной чувствительностью. Надежность УЗ контроля в значительной мере зависит от качества акустического контакта между ПЭП и поверхностью контролируемой трубы, что требует постоянного совершенствования конструкции акустического блока и корректировки чувствительности в процессе контроля. Валики усиления сварных швов, хотя и имеют геометрическую форму с некоторыми нормированными средними значениями размеров, но существенно усложняют задачу выявления дефектов металла шва (МШ), так как являются причиной появления эхосигналов, отражаемых, в первую очередь их кромками, и маскирующих эхосигналы от дефектов шва. Для обнаружения в трубах дефектов продольной ориентации контроль проводится УЗ волнами, распространяющимися по окружности трубы.

Для выявления дефектов поперечной ориентации УЗ волны направляют вдоль образующей трубы. Сварные швы труб озвучивают в двух про-

тивоположных направлениях. Дефекты продольной ориентации, расположенные на линии сплавления сварного шва с основным металлом вблизи поверхности трубы, выявляют наклонными ПЭП с углом ввода УЗ волны 45...50°. Эти же дефекты в средней и нижней части сварного шва (при толщине стенки менее 12 мм) выявляются наклонными ПЭП с углом ввода не менее 70°.

Плоскостные дефекты типа непроваров, несплавлений и трещин отражают УЗ волны преимущественно в зеркальном направлении, поэтому при наклонном вводе УЗ волн указанные дефекты с наибольшей вероятностью могут быть выявлены при контроле по схеме «тандем».

Для выявления поперечных дефектов взамен Х- и К-образных схем, отличающихся небольшим соотношением сигнал/шум (не более 6 дБ), предусматривается выявление в сварных швах поперечных дефектов путем озвучивания шва через валик усиления в плоскости осевого сечения трубы с иммерсионным вариантом акустического контакта с углом ввода УЗ пучка в металле 40...45°. Расстояние от излучающей поверхности ПЭП до валика усиления шва (в радиальном направлении) должно быть не менее $0,6S + 5$ мм, где S — толщина стенки трубы (рис. 2).

Важным фактором, влияющим на надежность при регистрации эхосигналов от дефектов, является правильный выбор и формирование строб-импульса зоны контроля. Наиболее оптимальным является формирование строб-импульса, который бы следил за зоной металла шва, подлежащей контролю. Известны способы формирования следящего строб-импульса при УЗ контроле СШ трубы при использовании различных схем прозвучивания сварного шва с валиком усиления, описанные в [4]. Рассмотрим способ формирования следящего строб-импульса, который применим для схем, использующих ПЭП, диаграммы направленности которых перпендикулярны оси контролируемого СШ (рис. 3).

В каждом периоде зондирующего импульса ($T_{З.С.}$) имеется сигнал A_K и можно сформировать измерительный импульс $ИИ_K$ (рис. 3, а). Последовательность значений $ИИ_K$ представляет собой случайную дискретную функцию $ИИ_K[n T_{З.С.}]$, где $n = 1, 2, \dots, \infty$. Определим среднее значение некоторого множества значений функции $ИИ_K[n T_{З.С.}]$. Для интегрирования (усреднения) можно выбрать интервал $T_{инт}$, на котором имеется, например, 5000 значений этой функции (рис. 3, б). В первом периоде счета ($T_{инт1}$) получим 5000 значений $ИИ_K$ и вычислим среднее значение, которое обозначим $ИИ_K^*$:

$$ИИ_K^* = \frac{1}{5000} \sum_{n=1}^{5000} ИИ_K[n T_{З.С.}].$$

Во втором периоде ($T_{инт2}$) сделаем выборку значений $ИИ_K[n T_{З.С.}]$, которые меньше $ИИ_K^*$ (число этих значений приблизительно вдвое меньше, чем в первом периоде счета). Усредняя это новое множество в конце $T_{инт2}$, получим второе

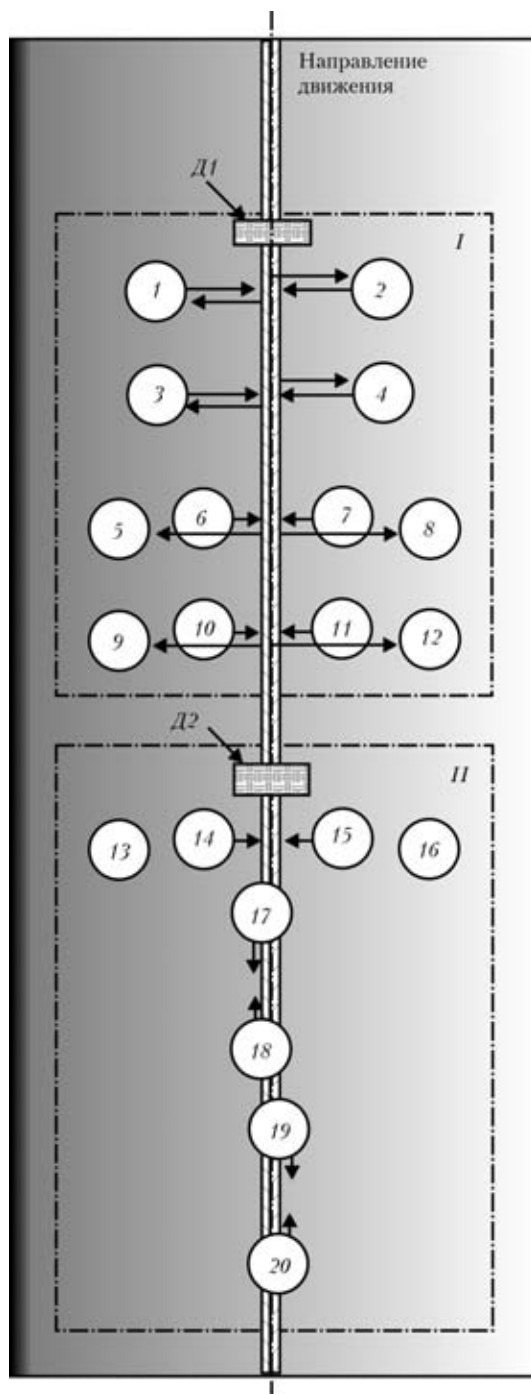


Рис. 2. Вариант схемы расположения ПЭП для контроля продольных сварных соединений труб диаметром 508...1420 мм и толщиной стенки 7...50 мм: I, II — первый и второй акустический блоки; Д1 и Д2 — лазерные датчики слежения за валом усиления сварного шва; 1-4 — группа наклонных ПЭП; 5-16 — УЗ преобразователи, работающие в тандемных схемах (количество работающих тандемных блоков зависит от толщины стенки: при толщине стенки 50 мм работают все тандемные блоки); 17-20 — УЗ преобразователи, работающие в иммерсионном варианте по сварному шву и контролирующие его на поперечные дефекты

значение $ИИ_{K2}^*$, которое меньше $ИИ_{K1}^*$. Для определения минимального $ИИ_K^*$ можно продолжить процедуру выборки усреднения, но для упрощения вычислений принимаем $ИИ_{K \min}^* = 0,8ИИ_{K2}^*$. После чего формируем строб-импульс и используем его для селекции дефектов шва, начиная с $T_{инт3}$. Зна-

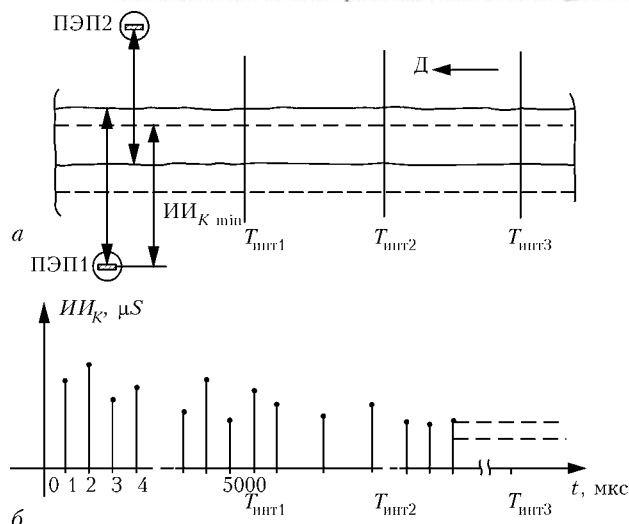


Рис. 3. Способ формирования строб-импульса (зоны контроля): а — стриховые линии — зона контроля для ПЭП1 (линия в пределах шва условно соответствует заднему фронту строб-импульса); б — отображение последовательности случайных значений $ИИ_K$ и формирования оптимальной длительности строб-импульса

чение $ИИ_{K \min}^*$ на рис. 3, а условно показано стриховой линией в пределах зоны шва, и эта линия соответствует заднему фронту строб-импульса. Расстояние от ПЭП до этой линии в микросекундах равно $ИИ_{K \min}^*$. Примем, что по периметру трубы это расстояние равно 100 мм. Ширину зоны контроля для шва и околшовоной зоны примем равной 20 мм, т. е. длительность строб-импульса равна $0,2ИИ_{K \min}^*$. Следовательно, задержка строб-импульса относительно момента возбуждения ПЭП равна $0,8ИИ_{K \min}^*$. Зона контроля на рис. 3, б показана стриховой линией. Так как для контроля шва используются ПЭП1 и ПЭП2 (рис. 3, а), то весь металл шва находится в пределах общей зоны контроля.

Предложенный алгоритм расчета значения $ИИ_{K \min}^*$ и длительности строб-импульса определен из условия минимизации вероятности попадания случайного сигнала A_K в строб-импульс, но некоторая вероятность ложного срабатывания канала дефектоскопа сохраняется. Однако одновременное ложное срабатывание двух каналов дефектоскопа — маловероятное событие. При наличии в МШ плоскостного дефекта (непровара, продольной трещины и др.), расположенного в средней части сечения шва, он, как правило, регистрируется обоими каналами дефектоскопа.

При движении трубы компьютер дефектоскопа постоянно вычисляет значение $ИИ_{K \min}^*$ и корректирует задержку строб-импульса относительно момента возбуждения ПЭП. На результат расчета $ИИ_{K \min}^*$ могут повлиять дефекты МШ, при которых имеет место уменьшение $ИИ_{K \min}^*$ относительно случая отсутствия дефектов. Влиянием дефектов шва на формирование зоны контроля можно пренебречь при условии, что их общая условная протяженность по оси шва не более 2 % от про-

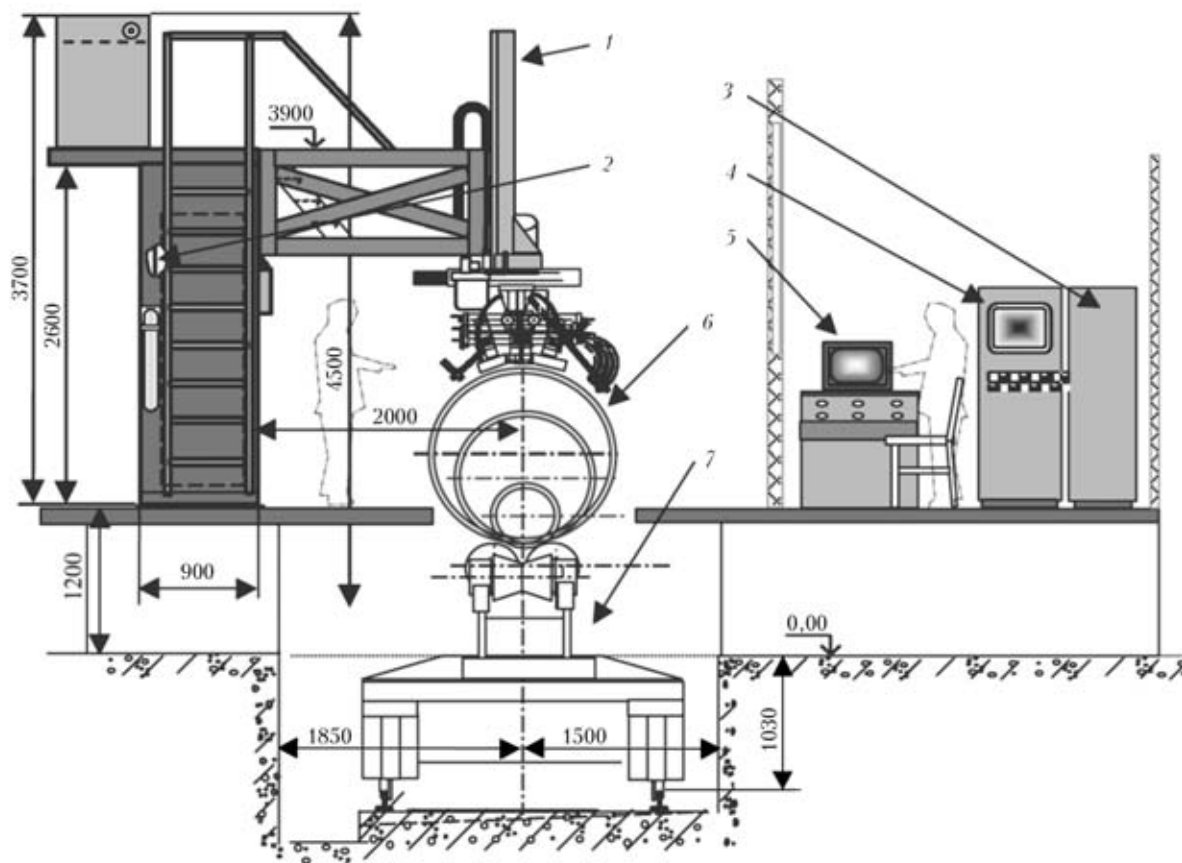


Рис. 4. Структурная схема установки НК360 для АУЗК сварных швов труб $\varnothing 508...1420$ мм: 1 — технологический агрегат АУЗК; 2 — шкаф силовой; 3 — шкаф управления; 4 — многоканальная УЗ аппаратура «Интроскоп-02.01»; 5 — пульт управления с телемонитором; 6 — контролируемые трубы; 7 — транспортная тележка

тяженности шва, для которого выполнен расчет $ИИ_{K \min}^*$.

Описанные способы повышения надежности АУЗК сварного шва труб реализованы в установке контроля НК360 [5], созданной творческим коллективом Института электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины (Киев) и НИИНК АО «Интроскоп» (Кишинев). Структурная схема установки приведена на рис. 4.

Жесткие требования по времени перенастройки при переходе на контроль труб другого типоразмера, а именно (время перенастройки и установления рабочего режима не должно превышать соответственно 30 и 10 мин), а также требования по надежности системы АУЗК определили архитектуру системы управления установками. Система управления реализована на программируемом контроллере «Siemens» Simatic S7-300 с двумя распределенными станциями ET-200m.

Управление установкой осуществляется по сети PROFIBUS-DP, ручное управление также осуществляется с программируемого пульта фирмы «Siemens» OP-17. В установке применены серводвигатели комплектных приводов фирмы «Rexroth Bosch». Интерфейс блоков управления приводами PROFIBUS-DP.

Базовой сборочной единицей установки, обеспечивающей подачу акустических блоков на позицию контроля, является несущий модуль вертикального перемещения, жесткость конструкции

которого обеспечивает стабильность и повторяемость результатов УЗ контроля. На несущем модуле смонтированы модули горизонтального перемещения. Слежение за швом в процессе контроля осуществляется при помощи системы лазерного слежения за валиком усиления сварного шва на базе промышленного компьютера, разработанной в ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ. В состав системы лазерного слежения входят:

- оптико-электронные сенсорные блоки, установленные на модулях поперечного перемещения с акустическими блоками;

- промышленный компьютер с модулями аппаратной обработки видеoinформации и цифрового ввода-вывода информации;

- устройство отображения информации;

- программное обеспечение.

Управление всеми компонентами установки осуществляется контроллером Simatic S7-300. На модулях горизонтального перемещения смонтированы акустические блоки с УЗ головками, состоящими из соответствующего ПЭП и устройства его закрепления и ориентации. Каждая УЗ головка имеет свой пневматический привод подъема и опускания, обеспечивающий надежный прижим к поверхности трубы. Кроме того, на модулях горизонтального перемещения установлены ручные приводы для регулировки расстояния между УЗ головками при настройке. Установка укомплектована датчиком пути, краскоотметчиками дефектов, устройством предварительного смачивания.

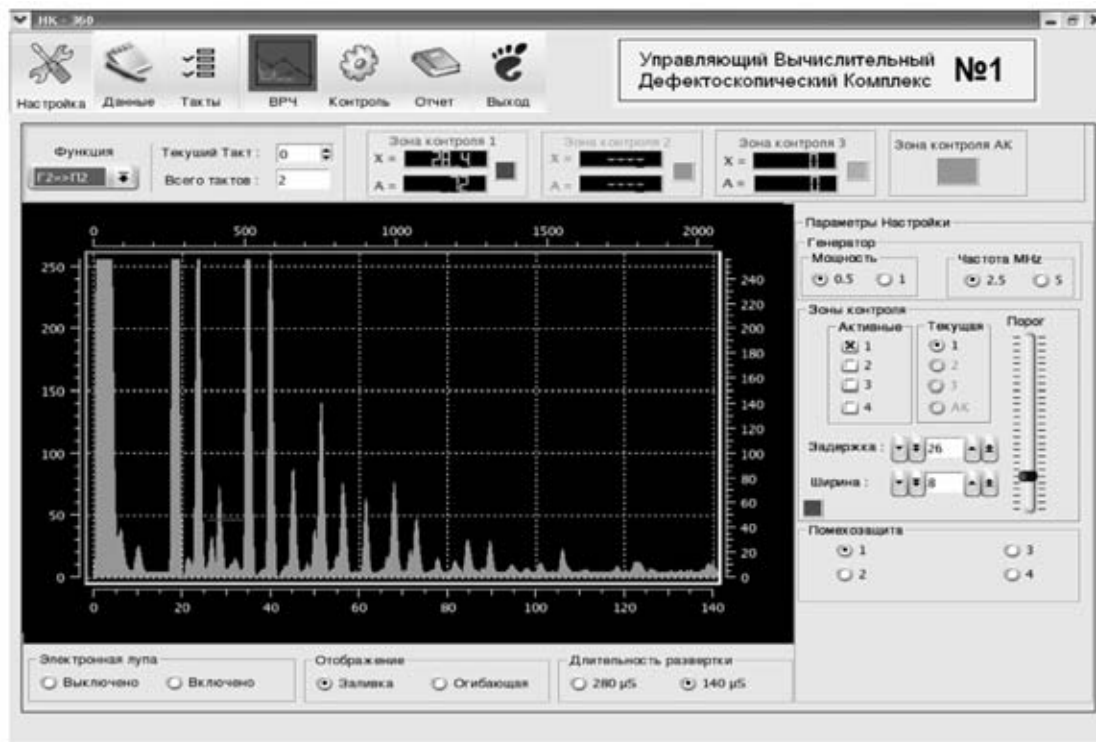


Рис. 5. Изображение А-развертки на экране монитора многоканального дефектоскопа в режиме заливки

Для каждого краскоотметчика используется внешняя индивидуальная емкость с краской, находящаяся под давлением.

Обнаружение дефектов, обработку данных контроля, регистрацию результатов калибровки установки обеспечивает многоканальный УЗ дефектоскоп серии ИНТРОСКОП* с управляющим вычислительным комплексом на базе промышленного компьютера с развитой структурой обмена с другими составляющими установки. Вся аппаратура смонтирована в шкафу фирмы Shercof.

В многоканальном дефектоскопе выбор и ввод зон контроля металла сварного шва и зон контроля качества акустического контакта (АК) осуществляется программно устанавливаемыми временными строб-импульсами. При контроле сварных швов труб с большой толщиной стенки для выравнивания чувствительности к равновеликим дефектам, расположенным на разном удалении от ПЭП, и для исключения перебраковки труб в дефектоскопе используется система временной регулировки чувствительности (ВРЧ). В каждом канале используется формирователь зон ВРЧ, задающий по две кривые ВРЧ на канал. Они могут быть двух типов — наклонная и сложная. Наклонная кривая ВРЧ формируется по двум точкам и управляется такая кривая ВРЧ регулятором «Наклон». Для изменения усиления используется регулятор «Усиление», осуществляющий изменение общего усиления приемного тракта. При использовании регулятора «Наклон» положение прямой линии изменяет свой наклон вверх по оси, что меняет чув-

ствительность тракта, увеличивая ее со временем. Такую ВРЧ удобно использовать при работе с прямыми или наклонными ПЭП в узких зонах контроля. Сложная кривая ВРЧ формируется путем линейно-кусочной аппроксимации по точкам, количество которых можно задавать заранее. Максимальное количество точек ВРЧ — 20. Управление формой кривой ВРЧ осуществляется при помощи манипулятора «мышь». Примечательно, что результат воздействия сразу отображается на экране дисплея. Изменение чувствительности происходит между двумя точками, не затрагивая другие зоны, что позволяет провести точную настройку по образцам. Переход от одной кривой ВРЧ к другой осуществляется переключением типа ВРЧ в режиме настройки. Если необходимо сформировать в данном канале две кривые ВРЧ, то кривым необходимо присвоить номер 0 или 1. В дальнейшем эти номера можно использовать при построении схемы прозвучивания и тактовой схемы контроля.

Для наблюдения за процессом контроля и настройки отображение результатов контроля в дефектоскопе осуществляется при помощи 19-дюймового монитора, на экране которого отчетливо просматриваются все необходимые сигналы. Для лучшего восприятия видеосигналов А-развертки используется режим заливки (рис. 5), при котором сигналы закрашиваются желтым цветом, хорошо видимым с далекого расстояния, создавая удобства при настройке установки. Режим электронной лупы позволяет выбрать часть развертки и растянуть ее на весь экран для увеличения разрешающей способности экрана.

Конструктивно дефектоскопические каналы выполнены по модульному принципу. Каждый мо-

*Многоканальный ультразвуковой дефектоскоп серии ИНТРОСКОП производства АО «Интроскоп» (Кишинев) удостоен Диплома V Международной специализированной выставки ДЕФЕКТОСКОПИЯ-2004 (С.-Петербург).

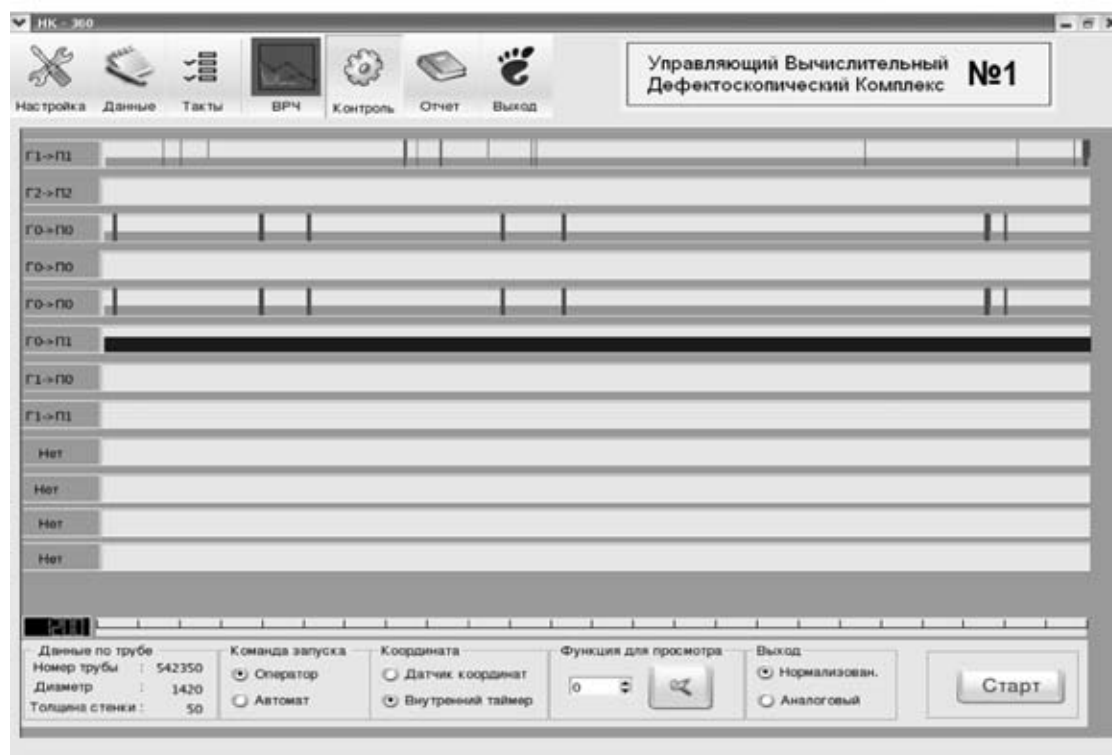


Рис. 6. Вид экрана монитора многоканального дефектоскопа в режиме В-развертки

дуль содержит по два дефектоскопических канала. Все они, а также плата блока автоматики, подключаются к системной шине промышленного компьютера типа РСА-6184. Энергоснабжение всех электронных устройств аппаратуры осуществляется от устройства бесперебойного питания типа APC Smart UPS, защищающего электронное оборудование от снижения напряжения в сети, кратковременных провалов и скачков напряжения. В случае прекращения подачи электроэнергии от сети источник бесперебойного питания переключается в режим работы от аккумуляторных батарей. В таком режиме дефектоскоп может работать до 15 мин. Этого времени вполне достаточно, чтобы закончить контроль трубы, запомнить результаты контроля и произвести штатное отключение аппаратуры.

Для связи с системами автоматики оборудования участка в состав дефектоскопа входит блок управления, который, по готовности к работе механической части комплекса принимает сигналы управления началом контроля, импульсы датчиков перемещения трубы относительно акустических блоков и передает сигналы управления на исполнительные механизмы установки (о наличии дефекта, конце контроля, прекращении сканирования). Особое внимание уделено удобству обслуживания установки наладчиком и оперативности настройки – перенастройки на другой диаметр трубы. Для этого предусмотрен переносной монитор с «мышью» и клавиатурой, позволяющий проводить настройку, находясь непосредственно у акустических блоков установки. Монитор устанавливается у настраиваемого акустического блока и берет управление дефектоскопом на себя. Настраиваемые параметры можно запомнить и оператор

в любой момент может установить ту настройку, которая хранится в памяти компьютера. Это позволяет реализовать различные варианты прозвучивания сварного шва. При перевалке стана ввод новых режимов дефектоскопа занимает не более минуты.

Вычислительный комплекс дефектоскопа позволяет проводить обработку полученной информации о дефекте по различным браковочным критериям – амплитуде, протяженности, количеству дефектов на заданную протяженность сварного шва. В процессе контроля оператору удобно наблюдать за процессом контроля по развертке типа В (рис. 6), которая позволяет оценить работу всей многоканальной системы (канала обнаружения дефекта, его положение относительно амплитуды, наличие акустического контакта).

Результат АУЗК является файл дефектов, помещаемый в базу данных дефектоскопа, и протокол контроля, выводимый на печать. Имеется интерфейс для обмена информацией с АСУ ТП цеха.

Сварной шов контролируется акустическими блоками, которые соединены с многоканальным дефектоскопом. Количество каналов контроля, тактовая схема и их работа определяются параметрами трубы и схемой прозвучивания. Установка обеспечивает прозвучивание сварного шва по всей толщине стенки трубы с обеих сторон шва, выявление различно ориентированных дефектов, автоматический контроль качества акустического контакта по всем дефектоскопическим каналам при помощи зон диагностики.

При работе раздельно-совмещенных ПЭП контроль АК проводится в том же такте, в других случаях контроль АК проводится по амплитуде теневого сигнала, пришедшего от ПЭП, располо-



женного с противоположной стороны шва и ориентированного навстречу проверяемому ПЭП в отдельном временном такте.

Чувствительность системы достаточна для автоматического обнаружения дефектов сварного шва, амплитуда эхосигналов от которых равна или превышает эхосигналы от искусственных отражателей в виде прямоугольного паза шириной 1 мм протяженностью 50 мм и глубиной 5 % от толщины стенки труб, сквозного отверстия в шве диаметром 1,6 мм, прямоугольного паза, выполненного поперек шва, глубиной 5 % от толщины стенки труб. Временная нестабильность установки по каждому каналу не превышает 2 дБ за 8 ч непрерывной работы.

Основные технические характеристики установки НК360 для АУЗК продольных сварных швов труб диаметром 508... 1420 мм с толщиной стенок 7... 50 мм

Рабочая частота, МГц	2,5; 4,0
Скорость контроля, м/мин, максимальная	30
Диапазон регулирования скорости, не менее	0,3...30
Количество УЗ каналов, шт.	20
Частота следования зондирующих импульсов по каждому каналу обеспечивает посылку импульсов на 1 мм длины шва, не менее	2
Запас чувствительности по каналам в динамическом режиме, не хуже, дБ	12
Неконтролируемая зона на концах труб не более, мм	30
Точность слежения за валиком усиления сварного шва в горизонтальной плоскости, мм, в пределах	±0,5
Регулировка акустического зазора, мм, в пределах	0...5
Расход воды, л/мин, не более	50
Потребляемая мощность, кВт, не более	8

При работе установки предусмотрены:

— нанесение отметок разного цвета на поверхность трубы, определяющих тип и местоположение дефектов, а также участков с неудовлетворительным акустическим контактом;

— выдача протокола контроля на каждую трубу, включающего как минимум номер трубы, амплитуды эхосигналов обнаруженных дефектов с указанием их координат, протяженности, номера канала, обнаружившего дефект;

— калибровка установки на стандартных образцах предприятия (СОП) — имитаторах дефектов как в статическом, так и динамическом режиме при скорости перемещения СОП, близкой к скорости перемещения труб в процессе контроля; результаты калибровки также протоколируются;

— регистрация В-развертки по каждому каналу с возможностью просмотра или печати ин-

формации по всем или части каналов на бумажном носителе;

— обеспечение возможности передачи информации о результатах контроля в систему АСУ ТП цеха посредством локальной сети Ethernet.

Выводы

Новые способы контроля сварного шва, внедренные в алгоритм работы многоканальной УЗ аппаратуры серии ИНТРОСКОП в совокупности с современным высокотехнологичным комплектующим оборудованием, используемым при создании установки НК360, позволили обеспечить высокую надежность АУЗК сварного шва труб большого диаметра.

Внедрение установки НК360 в технологической линии на Выксунском металлургическом заводе (Россия) рассчитано на обеспечение 100-процентного УЗ контроля на приоритетном направлении развития завода — выпуске прямошовных сварных труб диаметром 508...1420 мм с толщиной стенки 7...50 мм для магистральных трубопроводов. Установка выполнена для контроля качества сварного шва в соответствии с требованиями международных стандартов API 5L и DIN EN 10246-15.

Авторы выражают благодарность ученым и специалистам, принявшим участие в теоретических исследованиях и создании оборудования АУЗК сварных швов труб и давших полезные советы при написании статьи: В. Т. Боброву, В. Ф. Кириякову, А. Н. Ралдугину, О. Ф. Лобанову, А. П. Копылову, А. Ф. Захарову, И. В. Ефимову, Е. В. Гавреву, Д. В. Шарапановскому, В. С. Загорюлько.

1. *Неразрушающий контроль труб для магистральных нефтегазопроводов* / Под ред. Г. Н. Сергеева, Ф. И. Вайсвайлера. — М.: Металлургия, 1985. — 420 с.
2. *Щербинский В. Г.* Технология ультразвукового контроля сварных соединений. — М.: Тиссо, 2003. — 326 с.
3. *Неразрушающий контроль: Справ. в 7 т.* / Под общ. ред. В. В. Клюева. — Т. 3: Ультразвуковой контроль / И. Н. Ермолов, Ю. В. Ланге. — М.: Машиностроение, 2004. — 864 с.
4. *Способы повышения достоверности УЗК сварных швов труб с валиком усиления* / А. А. Ткаченко, В. Т. Бобров, В. Ф. Кирияков, В. С. Гаврев // В мире неразруш. контроля. — 2004. — № 3 (25). — С. 28–31.
5. *Найда В. Л., Мозжухин А. А., Лобанов О. Ф.* Новое поколение оборудования для автоматизированного ультразвукового контроля сварных труб // Автомат. сварка. — 2004. — № 9. — С. 58–62.

ОКБИн-та электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины,
Киев

Поступила в редакцию
21.11.2004

ПРИМЕНЕНИЕ ДВУГРАННЫХ УГЛОВ РАБОЧИХ ЭТАЛОНОВ ДЛЯ НАСТРОЙКИ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ ТОНКОСТЕННЫХ СТАЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ

И. Б. КОЛБИН, С. А. САПРЫКИН, Ю. А. ВОЛКОВ, В. Н. ГОРБЕНКО, М. М. ТОПЧИЙ

При ультразвуковом контроле тонкостенных изделий существенное значение имеет создание таких условий для настройки его параметров, которые наиболее полно отображают особенности проведения контроля на реальном объекте, и при этом максимально упрощают процесс подготовки к нему. Приведено теоретическое обоснование перехода от настройки предельной чувствительности по зарубкам к настройке по двугранным углам эталонов. Проведена экспериментальная проверка полученных теоретических выводов, разработаны рекомендации, определяющие условия такого перехода.

At ultrasonic testing of thin-wall products, it is essential to develop such conditions for adjustment of its parameters, which represent in the most complete manner the features of performing the testing on a real object, while simplifying as far as possible the process of preparation for it. A theoretical substantiation is given of transition from adjustment of limit sensitivity by benchmarks to adjustment by dihedral angles of the standards. An experimental verification is conducted of the derived theoretical inferences, and recommendation are developed which determine the conditions for such a transition.

Процесс определения параметров УЗ практически всегда связан с приемом сигналов от искусственных отражателей. При этом наиболее важное значение отводится настройке чувствительности. Применяемые для этой цели эталоны — это весьма дорогостоящие изделия, ведь в них расположены сложные для изготовления полости — отражатели (как правило, плоскодонные или плоские угловые зарубки). Следует отметить, что воспроизводимость акустических параметров таких отражателей, изготовленных разными производителями, часто находится на достаточно низком уровне. Поэтому в настоящее время специалисты ставят вопрос о необходимости применения для этих целей отражателей более простой конфигурации, которые можно было бы изготовить без применения специальных технологий и дорогого оборудования [1].

Некоторые современные документы [2] допускают использование вместо зарубок других отражателей, если их акустические свойства, т. е. амплитуды эхо-сигналов, отличаются не более, чем на 1 дБ. Но следует отметить, что даже внешние незначительные изменения шероховатости поверхности ввода УЗ колебаний, либо изменение консистенции контактной смазки, например, ее вязкости, могут привести к отклонениям амплитуд сигналов, превышающих 1 дБ. В работе [3] приведены данные, которые свидетельствуют том, что нестабильность акустического контакта при сканировании во время контроля (либо настройки параметров) может привести к разбросу до 2 дБ от средней величины регистрируемых амплитуд сигналов. Поэтому установленный в работе [2] порог отличия значений амплитуд сигналов от взаимозаменяемых отражателей можно увеличить до 2 дБ, что сделает более реальной возможность

перехода к применению более технологичных отражателей, например, двугранных углов. Полученные дополнительные преимущества будут заключаться в изготовлении недорогого и удобного эталона.

Вопрос о целесообразности применения двугранных углов рабочих эталонов для определения чувствительности контроля тонкостенных изделий был рассмотрен в [1, 4]. В этих работах показано, что эталоны с такими отражателями, как двугранный угол, либо зарубка кроме простоты изготовления обладают дополнительными достоинствами — они имеют такую же конфигурацию, как и фрагмент тела контролируемого изделия. Этим они отличаются от эталонов с плоскодонными отражателями (форма которых, как правило, не повторяет форму контролируемого изделия). Следовательно, из-за идентичности таких важных параметров, как толщина, кривизна и марка стали, условия распространения УЗ волн в рабочем эталоне (РЭ) и изделии не могут значительно отличаться, а это особенно важно при малой толщине стенок и небольших расстояниях до отражателей в контролируемых изделиях. Наиболее важным итогом работ [1, 4] стало то, что в них разработаны рекомендации, позволяющие продолжить поиск оптимального пути для перехода от настройки по зарубке к настройке по двугранному углу.

Для поиска путей решения упомянутой выше проблемы, уточнения полученных в работе [4] результатов рассмотрим соотношения, описывающие акустические свойства зарубки и прямого двугранного угла. Согласно [5], приведенная амплитуда сигнала от прямого двугранного угла вычисляется по формуле:



$$\frac{P_y}{P_o} = \frac{D}{2\lambda_t} S_a \frac{\cos \alpha}{\cos \beta} \frac{|R(\alpha)R(90^\circ - \alpha)|}{\left(\frac{h}{\cos \alpha} + r_o n \frac{\cos \alpha}{\cos \beta}\right)}, \quad (1)$$

где S_a — площадь пьезоэлемента наклонного преобразователя; β — угол призмы; α — угол ввода; r_o — путь в призме от центра излучателя до точки ввода вдоль акустической оси; n — отношение скорости продольных волн C_l в призме к скорости поперечных волн C_t в стальной пластине; h — толщина пластины РЭ; λ_t — длина поперечных волн в пластине; $R(\alpha)$ и $R(90^\circ - \alpha)$ — коэффициенты отражения волны соответственно от горизонтальной и вертикальной граней двугранного угла; D — коэффициент прозрачности по энергии.

Воспользовавшись соотношениями, полученными в работе [5], которые описывают нормальное падение плоской волны на отражатель, а также параметр, характеризующий отражательную способность зарубки, коэффициенты отражения от граней зарубки и функцию, характеризующую максимальное значение поля преобразователя, можем найти приведенную амплитуду эхо-сигнала от зарубки. Из-за значительного объема преобразований приводится только окончательная формула:

$$\frac{P_z}{P_o} = \frac{D^2}{2\lambda_t^2} S_z \frac{\cos \alpha}{\cos \beta} \frac{2\sin \alpha |R(\alpha)R(90^\circ - \alpha)|}{\left(\frac{h}{\cos \alpha} + r_o n \frac{\cos \alpha}{\cos \beta}\right)}. \quad (2)$$

Для удобства описания используем введенное в [4] понятие эквивалентной площади двугранного угла — $S_{y\alpha}$. В этой работе отражающая в направлении излучателя преобразователя поверхность двугранного угла сопоставлена с площадью зарубки, которая дает такой же отраженный сигнал, как и сигнал от этой поверхности. Используя это сопоставление, приравняем выражения (1) и (2). При этом заменим λ_t на C_t/f , r_o на $\Delta\tau_n C_n$, n на C_n/C_t и получим для $S_{y\alpha}$ уточненную формулу:

$$S_{y\alpha} = \left(\frac{\Delta\tau_n C_n^2}{2f} \frac{\cos \alpha}{\cos \beta} + \frac{C_t}{2f \cos \alpha} H \right) \frac{1}{2\sin \alpha}, \quad (3)$$

где H — толщина эталона.

Формула (3) отличается от аналогичной формулы (11), полученной в работе [4], уточняющим множителем $(2 \sin \alpha)^{-1}$. Этот множитель приведет к изменению значений ранее рассчитанных в этой работе значений $S_{y\alpha}$ для исследованных там эталонов. Следовательно, изменится и расчетная разность амплитуд сигналов от двугранного угла и зарубки.

Для удобства рассмотрения формулы (3) необходимо сделать следующее упрощение. Если раскрыть в ней скобки, то можно видеть, что для каждого из выбранных преобразователей она представляет собой линейную зависимость:

$$S_{y\alpha} = K_1 + K_2 H, \quad (4)$$

где K_1 — постоянный для данного типа преобразователя коэффициент, равный $\Delta\tau_n C_n^2 \cos \alpha (4f \sin \alpha \cos \beta)^{-1}$;

K_2 — постоянный для контролируемого изделия и применяемого преобразователя коэффициент, равный $C_t (4f \sin \alpha \cos \alpha)^{-1}$. Мы считаем, что полученные выше результаты можно применить на практике после введения следующих ограничений, упрощающих решаемую задачу.

1. При контроле сварных соединений с толщиной стенки от 4 до 20 мм действующие документы рекомендуют использовать преобразователи с одним из следующих углов ввода α : 75, 70 или 65°. Поэтому в расчеты коэффициентов K_1 и K_2 для каждого определенного диапазона толщин контролируемых изделий, регламентируемых [2, 6, 7], может входить только одно из трех перечисленных выше значений углов α и соответствующих им значений β .

2. Рекомендация в НТД (например в [2, 7],) частота излучения преобразователей — 5 МГц (для изделий толщиной до 15 мм) и 2,5 МГц (для изделий толщиной от 15 до 20 мм). Учитывая произошедшие в последнее десятилетие значительные улучшения наиболее важных параметров современных пьезоэлектрических преобразователей (ПЭП) (таких как чувствительность, реверберационно-шумовые характеристики), можно рекомендовать расширить диапазон применения преобразователей с частотой 5 МГц до 20 мм. Следовательно, множитель f , входящий в формулу (3), можно принять равным $5 \cdot 10^6 \text{ с}^{-1}$.

3. Как правило, в промышленности изделия с приведенной выше толщиной стенок, подлежащие УЗ, изготовлены из низкоуглеродистых сталей. Следовательно, есть возможность сделать еще одно упрощение — принять для расчетов согласно данным, приведенным в [8, 9], среднюю скорость поперечных волн равной 3230 м/с. Исходя из этого, а также из упрощений, приведенных в п. 1 и 2, можно утверждать следующее: коэффициент K_2 в формуле (4) может принимать только три определенных значения, зависящих от выбранного значения угла ввода (65, 70 или 75°).

4. В [10] приведены результаты исследований, позволившие определить диапазон значений времени задержки в призме преобразователей — $\Delta\tau_n$, в пределах которого достигаются оптимальные параметры УЗ тонкостенных сварных швов. В соответствии с этими данными наиболее целесообразно использовать преобразователи с $\Delta\tau_n$ от 3,5 до 5 мкс. Поэтому в дальнейшем будем рассматривать только приведенный выше диапазон рекомендуемых значений $\Delta\tau_n$, в соответствии с которым выберем для экспериментов такие ПЭП, время задержки в призмах которых находится в требуемых пределах.

Выполнив приведенные условия и введя соответствующие ограничения, можно провести расчет эквивалентной площади двугранного угла $S_{y\alpha}$ при заданной толщине эталона (т. е. определить площадь зарубки в эталоне, сигнал от которой при использовании данного преобразователя будет равен сигналу от прямого двугранного угла в том же эталоне.) Значение $S_{y\alpha}$ можно сопоставить с площадью, рекомендованной в НТД зарубки —

Результаты расчетов и измерений при использовании разных преобразователей

Номера эталонов	Параметры эталонов	П121-5-72°-М-003			П121-5-65°-М-003		
		$S_{уэ}$ (уточненная)	Разность ($A_{зр} - A_{ур}$) и ($A_{з} - A_{у}$)*	Разность* (с учетом поправки 2,3 дБ на измерение α)	$S_{уэ}$ (уточненная)	Разность ($A_{зр} - A_{ур}$) и ($A_{з} - A_{у}$)*	Разность* (с учетом поправки 2,3 дБ на измерение α)
8	6,9/1,96	4,72/8,49	+1,9/+1,8	-0,4/-0,5	4,19/7,09	+1,4/+0,3	0/-1,1
9	8,9/3,72	5,82/10,69	+2,6/+2,3	+0,3/0	5,03/8,77	+2,9/+2,1	+1,5/+0,7
10	9,9/3,73	6,37/11,79	+2,9/+3,5	0,6/+1,2	5,45/9,61	+2,7/+2,3	+1,3/+0,9
11	11,0/4,98	6,98/13,0	+2,6/+1,4	0,3/-1,3	5,9/10,53	+0,5/+3,0	-0,9/+1,6
12	12,9/4,79	8,34/15,09	+2,7/+1,6	+0,4/-0,7	6,7/12,13	+1,1/+0,9	-0,3/-0,5
13	16,0/6,93	9,74/18,5	+3,4/+2,0	+1,1/-0,3	8,0/14,73	+1,3/+1,5	-0,1/+0,1

Примечание. H — толщина эталона; S_z — площадь зарубки; $S_{уэ}$ — эквивалентная площадь зарубки, сигнал от которой равен сигналу от двугранного угла; $A_{зр}$, $A_{ур}$ и A_z , A_y — расчетные и измеренные значения амплитуд сигналов, отраженных от зарубки и двугранного угла на торце эталона.

S_p , и по формуле, приведенной в [7], расчетным путем определить приборную поправку (в децибелах), введение которой позволит осуществить переход от рекомендованного отражателя к имеющемуся в наличии (т. е. в нашем случае к двугранному углу):

$$\Delta A = A_{зр} - A_{ур} = 20 \log S_p / S_{уэ}, \quad (5)$$

где $A_{зр} - A_{ур}$ — расчетная разность значений амплитуд сигналов от зарубки и двугранного угла в РЭ.

Таким образом, мы получаем возможность провести настройку чувствительности с использованием двугранного угла рабочего эталона. При этом измеряется значение сигнала от его угла $A_{уи}$ и затем вводится заранее рассчитанная приборная поправка ΔA , позволяющая установить уровень чувствительности, рекомендованный в НТД (т. е. настраиваемый по зарубке с площадью S_p).

На РЭ, которые уже использовались при проведении экспериментов в работе [4], были проведены дополнительные измерения (взяты 6 эталонов толщиной от 7 до 16 мм, в которых электроискровым способом изготовлены зарубки). Данные приведены в таблице. Применив два преобразователя частотой 5 МГц и углами ввода 65 и 72°, измерили амплитуды отраженных от двугранных углов сигналов в нескольких вертикальных (относительно поверхности ввода) сечениях каждого двугранного угла (проводили по 10 измерений, результаты которых усреднялись). В результате этого было установлено, что в некоторых сечениях могут быть отклонения от значений амплитуд сигналов, полученных в других сечениях. Диапазон полученных отклонений для разных эталонов составлял от 1 до 2 дБ. Было сделано предположение, что такие отклонения зависят от состояния участков поверхности двугранных углов, отражающих в направлении преобразователя. Затем было проведено визуально-оптическое обследование состояния поверхности этих двугранных углов. Установлено, что ухудшение качества поверхности, а вместе с ним и снижение амплитуды эхо-сигналов может быть вызвано такими дефектами, как микроработы, локальные участки на

торцах с увеличенной по сравнению с остальной поверхностью шероховатостью, «заглаженностью» первоначально острой кромки двугранного угла. Такие дефекты могли возникнуть либо на стадии первоначальной обработки изделия, либо в результате многократного использования эталона (сканирование рабочей поверхности при настройке, воздействие коррозионно активной контактной жидкости, удары при транспортировании). Именно на этих участках двугранных углов с микродефектами, амплитуда эхо-сигнала уменьшалась по сравнению с бездефектными участками на 1...2 дБ. После снятия шлифовкой верхнего слоя на торце РЭ при повторных измерениях разброс значений в разных сечениях не зафиксирован, поэтому при заполнении таблицы часть данных, экспериментально полученных в работе [4], была уточнена.

Тем не менее, как видно из таблицы, уточненные экспериментальные данные (столбцы 4 и 7) значительно отличаются от расчетных. Следовательно, нам необходимо найти и проанализировать те эффекты, которые еще не были учтены и могли привести к большим значениям отклонений.

По параметрам использованных преобразователей сделали оценку характерного размера ближней зоны — r_0 , используя рекомендации приведенные в [11]. Для эталона наименьшей толщины 7 мм, расчетным путем определили, что для преобразователя с углом ввода 65°, рассчитанное значение расстояния до отражателей соответствует условию их нахождения в дальней зоне. Следовательно, можно утверждать, что это условие выполняется и для второго преобразователя с углом ввода 72°.

Чтобы объяснить несоответствие расчетных и экспериментальных данных, рассмотрим, как могут повлиять на них некоторые перечисленные ниже эффекты.

1. Дифракция, которая возникает при совпадении размеров отражателей и значений длины падающих на них волн.

2. Несимметричность распространения и падения на грани двугранного отражателя лучей, распространяющихся в излучаемом пучке по разные стороны от акустической оси.

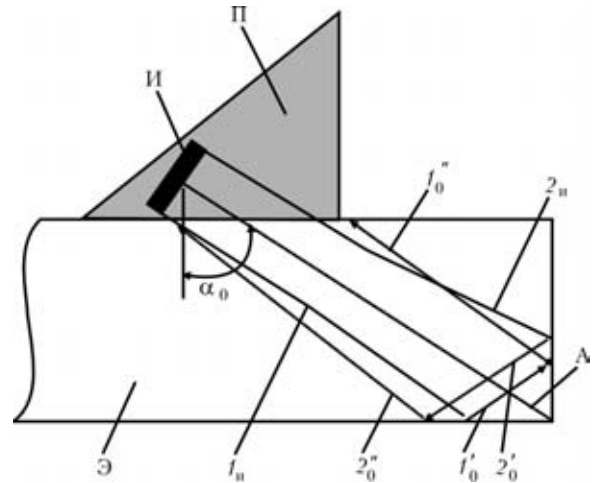
3. Изменение коэффициентов прозрачности на границе призма—поверхность изделия при углах ввода, приближающихся ко второму критическому.

4. Трансформация падающих на двугранный угол эталона поперечных волн при приближении значений углов падения на его грани к третьему критическому.

Первое из указанных явлений можно не учитывать из-за малого вклада в результирующее значение сигнала (его оценка была выполнена в [11] с помощью соответствующих расчетов).

Рассмотрим более подробно второе явление. При углах ввода, отличных от 45° , картина распространения лучей, падающих на отражатель, и лучей, отраженных от его граней (рисунок), не обладает симметрией относительно биссектрисы двугранного отражателя. Как видно из рисунка, при больших углах ввода лучи, распространяющиеся по разные стороны от акустической оси (изображены крайние лучи), будут иметь после двух отражений от граней разную степень отклонения от точки выхода акустической оси. Лучи, первоначально распространяющиеся в «нижней» (относительно акустической оси) части пучка после отражений распространяются в направлении преобразователя в «верхней». Для лучей, распространяющихся в «верхней» части после двукратного отражения будет наблюдаться обратная картина. При этом излученные «нижние» лучи попадают после двукратного отражения на рабочую поверхность эталона под меньшим углом и на большем удалении от точки ввода, чем излученные «верхние» лучи, первоначально распространявшиеся на таком же расстоянии от акустической оси.

Поэтому из-за особенностей распространения излученного пучка лучей и специфике двугранного отражателя в отраженном пучке перераспределяется энергия, что приводит к «дрейфу» максимума отраженного сигнала. При этом первоначально распространяющиеся в верхней периферийной части пучка лучи после изменения направления распространения на обратное будут сконцентрированы в более компактном секторе пространства, попадая на участок рабочей поверхности эталона, находящийся ближе к точке выхода акустической оси, чем лучи, которые первоначально распространялись в нижней части (см. рисунок). Результатом этого процесса будет формирование «размытого» пучка обратного излучения. Его максимум сместится влево от отрезка, соединяющего точку выхода и вершину двугранного угла. Проявление этого эффекта можно наблюдать на практике при проведении настройки с применением двугранных отражателей и преобразователей с большими углами ввода. Все, кто проводил такую настройку, знают о трудностях точного определения положения преобразователя, соответствующего максимуму отраженного сигнала. Направление, соответствующее максимуму как бы «раздваивается» и на экране дефектоскопа поочередно наблюдаются два импульса, каждый из которых можно связать с положением преобразователя, соответствующим максимуму излучения. Как пра-



Графическая интерпретация эффекта, приводящего к смещению максимума приема-излучения наклонного ПЭП при использовании двугранного отражателя: Э — эталон; П — преобразователь; И — мнимый излучатель; А — акустическая ось мнимого излучателя; α_0 — угол ввода преобразователя; $1_n, 1'_0, 1_0$ — излученный, однократно и двукратно отраженный от граней угла «нижний» луч; $2_n, 2_0, 2'_0$ — излученный, однократно и двукратно отраженный от граней угла «верхний» луч

вило, при тщательном выполнении этой операции такой максимум фиксируется в более удаленном от двугранного угла положении преобразователя, т. е. он связан преимущественно с теми лучами, которые распространялись в «верхней» (относительно акустической оси) части пучка и имели меньшее расхождение после двукратного отражения от граней.

В нашем случае при применении преобразователей с большими углами ввода (65° и 72°) перечисленные выше третий и четвертый эффекты согласно данным, приведенным в работах [1, 12, 13], тоже оказывают заметное влияние на перераспределение энергии в отраженном пучке. Но при этом, как было показано в этих работах, изменение коэффициента прозрачности на границе призма-поверхность изделия и трансформация падающих на двугранный угол эталона поперечных волн при больших углах ввода оказывают влияние во взаимно противоположных направлениях, в одном случае усиливая, а в другом ослабляя описанный выше эффект.

В подтверждение приведенных утверждений следует отметить, что в [1, 11, 12] было установлено — между экспериментально измеряемым углом ввода, который соответствует лучу, распространяющемуся по направлению максимума, отраженного от двугранного отражателя пучка, и ожидаемым, соответствующим направлению акустической оси преобразователя, есть отклонение (его обычно обозначают $\Delta\theta$). Такое отклонение приводит к несоответствию между расчетным и измеренным значениями эквивалентной площади отражателей.

Следовательно, при наличии в изделии отражателей, представляющих собой комбинацию двух взаимно перпендикулярных плоскостей (таких, как двугранный угол или зарубка), по сравнению с проводимыми ранее расчетами экспериментально

фиксируется заниженное значение их эквивалентной площади.

Учесть влияние такого отклонения можно, если ввести поправку $20 \log \Phi(\theta + \Delta\theta)$, где $\Phi(\theta + \Delta\theta)$ — функция направленности акустического поля, измеренная вдоль направления, соответствующего отклонению $\Delta\theta$ максимума в отраженном пучке от ожидаемого направления акустической оси ПЭП (если $\Delta\theta = 0$, то $\Phi(\theta) = 1$).

Таким образом, рассмотренное выше угловое отклонение аналогично явлению, когда на отражатель будет направлен не центральный луч, а боковой, определяемый величиной $\Delta\theta$. Таким образом, учитывая изменение функции направленности $\Phi(\theta + \Delta\theta)$ в точке реального максимума излучения–приема, можем ввести поправку к ранее полученным значениям амплитуд сигналов от исследуемых отражателей и получить уточненную формулу:

$$A_{\text{зр}}^n - A_{\text{ур}}^n = 20 \log \left(\frac{S_{\text{уз}}}{S_{\text{зи}} \Phi(\Delta\theta)} \right), \quad (6)$$

где $A_{\text{зр}}^n, A_{\text{ур}}^n$ — расчетная разность амплитуд сигналов от зарубки и двугранного угла с учетом поправки на изменение угла ввода.

Смещение максимума излучения $\Delta\theta$ определили экспериментально. Для этого выполнили серии измерений на тех же РЭ. В положении преобразователя, соответствующем максимуму сигнала от отражателя (двугранного угла либо зарубки), измеряли его координату X относительно точки ввода излучателя и затем с помощью соотношения $\text{tg} \alpha_{\text{и}} = X/H$ находили измеренное значение угла $\alpha_{\text{и}}$ для каждого из отражателей и вычитали одно из другого, получая таким образом $\Delta\theta$, т. е. величину отклонения угла ввода при локации двугранного угла относительно зарубки.

Полученные нами экспериментальные данные, фиксирующие изменение углов ввода, усреднили по каждой из серий измерений (для углов 72° и 65°). Получили следующие значения: для угла $\alpha = 72^\circ$ $\Delta\theta = 2,11$, для $\alpha = 65^\circ$ $\Delta\theta = 1,6^\circ$.

Диаграмма направленности согласно [11] описывается формулой:

$$\Phi(\Delta\theta) = \frac{\sin X}{X} \frac{\sin Y}{Y}, \quad (7)$$

$$X = a_x / 2(2\pi/\lambda_t) \sin \theta, \quad Y = a_y / 2(2\pi/\lambda_t) \sin \theta, \quad (8)$$

a_x и a_y — размеры сторон прямоугольного излучателя, который соответствует особенностям акустического тракта в случае приема сигнала от двугранного угла.

Расчетная поправка, полученная с использованием выражений (6), (7), составит 1,4 дБ для $\alpha = 65^\circ$ и 2,3 дБ для $\alpha = 72^\circ$.

Следует отметить, что мы взяли усредненные значения $\Delta\theta$, определенные для каждого из двух углов ввода с применением всех эталонов. Исходя из наличия реального разброса таких параметров, как размеры, углы наклона отражающих граней, шероховатость поверхности отражателей, которые практически не поддаются измерениям (см., например, [1]),

выделить этот эффект для каждого эталона в отдельности не представляется возможным.

Кроме того, была осуществлена проверка совпадения результатов, полученных на нескольких одинаковых РЭ (двух с толщиной 7 мм, трех с толщиной 10 мм, двух с толщиной 13 мм). После проведения серии измерений (по 10 на каждом из эталонов) установлено, что сигналы от одинаковых зарубок в каждой из групп эталонов имеют отклонения в пределах 1,5...2 дБ (т. е. предельные требования, установленные в [2] для соответствующего соотношения, между взаимозаменяемыми отражателями не выполняются).

Мы считаем, что для того, чтобы улучшить воспроизводимость результатов измерений, проводимых с использованием различных эталонов, необходимо провести более тщательное их тестирование. Для этого при проведении первичной и периодической поверки необходимо фиксировать значения сигналов от зарубок, сопоставляя их с неизменным значением опорного сигнала, полученного на одном и том же СО-2. Полученные статистические данные позволяют установить практически достижимый максимальный порог отличия, который будет служить ограничивающим фактором при замене отражателей одного типа другим.

Выводы

Получена формула и описан механизм перехода от настройки чувствительности УЗ с использованием зарубок к настройке по двугранным углам рабочих эталонов.

Получены приборные поправки для преобразователей П121-5-65°-М-003 и П121-5-72°-М-003, которые можно применить для уточнения значений амплитуд сигналов при осуществлении перехода от зарубки к двугранному углу.

Для того, чтобы иметь возможность изучить сопоставимость результатов, полученных с применением разных эталонов одинаковой толщины, маркой стали и размером зарубок, метрологическим подразделениям необходимо провести измерения амплитуд сигналов от этих зарубок при одинаковом значении опорного уровня и сделать обобщение полученных результатов.

1. Ермолов И. Н. О выборе способа настройки при контроле тонких сварных соединений // Дефектоскопия. — 2002. — № 1. — С. 61–70.
2. ОП № 501 ЦД-97. Основные положения по ультразвуковой дефектоскопии сварных соединений котлоагрегатов и трубопроводов ТЭС. — М.: ЦНИИТМАШ, 1997.
3. Ермолов И. Н. Погрешность измерения координат дефектов под влиянием нестабильности акустического контакта // Дефектоскопия. — 1992. — № 12. — С. 3–4.
4. Сапрыкин С. А., Колбин И. Б., Волков Ю. А. О применении двугранных углов рабочих эталонов для настройки чувствительности ультразвукового контроля стальных изделий с малой толщиной стенки // Сб. докл. сем.-выст. «Современные технологии и приборы неразрушающего контроля и технической диагностики». — Харьков, 20–21.11.2003 г.
5. Ермолов И. Н. Теория и практика ультразвукового контроля. — М.: Машиностроение, 1981. — 240 с.
6. ТР 34.17. Технічний регламент. Ультразвукова дефектоскопія зварних з'єднань котлоагрегатів, трубопроводів і посудин. Основні положення. — Київ, 2003. — 127 с.



7. ПНАЭ Г-030-91. Унифицированные методики контроля основных материалов (полуфабрикатов), сварных соединений и наплавов оборудования атомных энергетических установок. Ультразвуковой контроль. Часть II // ЦНИИАтоминформ, 1992. — 157 с.
8. Методы акустического контроля металлов / Н. П. Алешин, В. Е. Белый, А. Х. Вопилкин и др. — М.: Машиностроение, 1989. — 456 с.
9. Білокур І. П. Акустичний контроль. — Київ: Вид-во КПІ, 1997. — 242 с.
10. Заплотинский И. А., Радько В. И. Исследование параметров пьезопреобразователей для ультразвукового контроля сварных соединений малых толщин // Неразруш. контроль. — 1999. — № 2. — С. 2-8.
11. Ермолов И. Н. Контроль ультразвуком (краткий справочник). — М.: НПО ЦНИИТМАШ, 1992. — 85 с.
12. Ермолов И. Н. Отражение поперечных волн от прямого двугранного угла // Дефектоскопия. — 1994. — № 10. — С. 3-8.
13. Ермолов И. Н., Кияткин Д. В. Экспериментальная проверка коэффициента прозрачности // Там же. — 1993. — № 4. — С. 3-6.

УкрНИИГаза,
Харьков

Поступила в редакцию
18.01.2004



**УКРАИНСКОЕ ОБЩЕСТВО НЕРАЗРУШАЮЩЕГО
КОНТРОЛЯ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ
НПФ «ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ»
НПФ «УЛЬТРАКОН»
Украинский информационный центр
«НАУКА.ТЕХНИКА.ТЕХНОЛОГИЯ»**



с 30 апреля по 7 мая 2005 г.

в г. Анталия (Турция)

проводят III научно-практическую конференцию

«ОРГАНИЗАЦИЯ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ»

Для участия в конференции приглашаются руководители предприятий, связанные с обеспечением качества и сертификацией выпускаемой продукции: технические директора, главные инженеры, зам.директора по качеству, главные механики, руководители подразделений неразрушающего контроля, начальники ЦЗЛ, ОТК, службы металлов и т. д., а также все лица, заинтересованные в усовершенствовании функционирования системы обеспечения качества, в частности ее составной части — неразрушающего контроля.

Цель конференции — определение наиболее эффективных путей развития служб неразрушающего контроля качества на промышленном предприятии в современных условиях. Выработанные на конференции подходы к построению служб неразрушающего контроля качества и их место в системах управления качеством позволят разработать эффективную стратегию ее развития и оптимизировать затраты на функционирование и техническое перевооружение.

Тематика конференции:

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

*Для включения доклада в программу конференции и регистрации участников необходимо до 1 февраля 2005 г. выслать тезисы доклада объемом до 1 печатной стр. и заявку по адресу: **НПФ «Диагностические приборы», 04050, г. Киев, а/я 50 или E-mail: kozin@ndt-ua.com**. Для докладчиков и сопровождающих лиц предусмотрена скидка.*

Обращаем Ваше внимание, что для проведения конференции выбраны даты, связанные с майскими праздниками, что позволит минимизировать потери рабочего времени и оторваться от неотложных обязанностей.

По организационным вопросам, касающимся проведения конференции, обращаться к
Козину Александру Николаевичу,
зам. директора НПФ «Диагностические приборы»: тел/факс: (044) 247 67 18 или тел.: (044) 495 11 45.

Подробная информация по мере ее поступления будет размещаться на веб-сайте: www.ndt-ua.com.

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ ПОГРЕШНОСТИ ФАЗОВЫХ ВИХРЕТОКОВЫХ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ С ЧАСТОТНЫМ УРАВНОВЕШИВАЮЩИМ ПРЕОБРАЗОВАНИЕМ

В. Г. РЫБАЧУК

Проанализированы инструментальные погрешности фазовых вихрековых измерителей удельной электрической проводимости (УЭП) уравнивающего частотного преобразования при следящем и развертывающем способах уравнивания. Показано, что их основным источником является неидентичность фазовых характеристик каналов преобразования измерительного и опорного сигналов. Установлено, что с увеличением чувствительности фазы результирующего напряжения на выходе системы «вихрековый преобразователь (ВТП) — компенсатор» к УЭП влияние инструментальных погрешностей на точность измерения уменьшается. Исследована динамическая погрешность фазовых вихрековых измерителей УЭП развертывающего частотного преобразования и определены требования к скорости изменения тока возбуждения ВТП исходя из предельно допустимого значения данной погрешности.

Analyzed are the instrumental errors of phase eddy current measurement instruments of specific electric conductivity (SEC) of balancing frequency conversion with the following and deploying balancing method. It is shown that their main source in the non-identical nature of phase characteristics of the channels of measurement and reference signal conversion. It is established that the influence of instrument errors on measurement accuracy is reduced with increase of the sensitivity of the resulting stress phase at the output of Eddy current converter (EDC) & compensator system to SEC. Dynamic error of phase eddy current measurement instruments for SEC of a deploying frequency conversion was studied and requirements to the rate of change of EDC excitation current are determined, proceeding from the limit admissible value of this error.

В практике вихрековой структуроскопии широкое применение получили фазовые измерители удельной электрической проводимости (УЭП) [1–3]. В основном они относятся к приборам прямого преобразования. При относительной простоте их основной недостаток — это нелинейность шкалы, что существенно усложняет представление результатов измерения в цифровом виде, потому что требует применения специальных функциональных преобразователей. В тоже время известны фазовые вихрековые измерители УЭП с частотным уравнивающим преобразованием, лишенные этого недостатка [4]. Однако по ряду причин они не получили заметного распространения в практике НК. Одна из таких причин, на наш взгляд, — это недостаточная изученность их метрологических характеристик. Особенно это касается инструментальных погрешностей, потому что с точки зрения влияния зазора эти устройства мало чем отличаются от фазовых измерителей электропроводности прямого преобразования. В данной работе рассмотрены инструментальные погрешности фазовых измерителей УЭП уравнивающего частотного преобразования при следящем и развертывающем способах уравнивания.

Обобщенная функциональная схема фазовых измерителей УЭП следящего частотного уравнивающего преобразования представлена на рис. 1, где приняты следующие условные обозначения: УГ — управляемый генератор гармонического напряжения; ВТП — вихрековый преобразователь; У — усилитель внесенного напряжения, ФИ — фазоизмеритель; БУЧ — блок

управления частотой генератора; БЧВИ — блок частотновременных измерений, осуществляющий измерение частоты или периода напряжения генератора УГ; И — индикатор результата измерения. Принцип работы данного устройства состоит в непрерывном поддержании постоянного значения обобщенного параметра $\beta = a \sqrt{\omega \mu_0 \sigma}$ путем регулирования частоты генератора УГ. При этом показания индикатора И пропорциональны периоду напряжения генератора, который связан с значением УЭП контролируемого материала следующей зависимостью [4]:

$$T = \frac{T_{co}}{\sigma_{co}} \sigma, \quad (1)$$

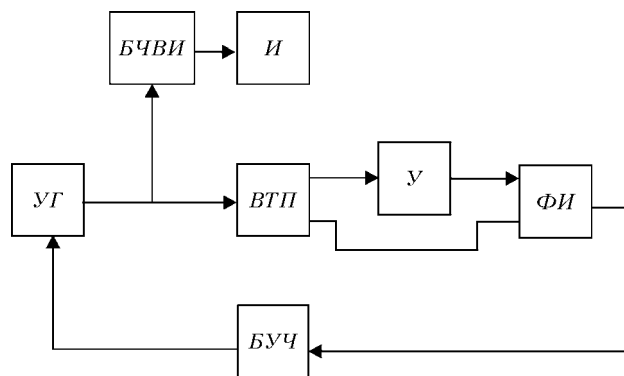


Рис. 1. Обобщенная функциональная схема фазовых измерителей УЭП следящего частотного уравнивающего преобразования



где σ_{co} — УЭП стандартного калибровочного образца; T_{co} — период тока в обмотке возбуждения ВТП при его установке на стандартный образец.

Если БЧВИ измеряет частоту генератора УГ, то показания индикатора будут пропорциональны значению удельного электрического сопротивления материала, на поверхности которого установлен ВТП. С учетом условия $\beta = \text{const}$ и выражения (1) номинальная функция преобразования измерителей УЭП уравнивающего преобразования имеет вид

$$Y_{\sigma} = k_{БЧВИ}^n C \sigma, \quad (2)$$

где $k_{БЧВИ}^n$ — номинальное значение коэффициента преобразования БЧВИ; $C = T_{co}/\sigma_{co}$ — постоянная преобразования УЭП в период тока возбуждения ВТП.

Условие

$$\beta = \beta_n = \text{const}, \quad (3)$$

где β_n — номинальное значение обобщенного параметра, реализуется путем стабилизации фазы результирующего напряжения $\dot{U}_p$, которое формируется на выходе системы «ВТП-компенсатор» и равно векторной сумме внесенного напряжения ВТП и некоторого вспомогательного напряжения $\dot{U}_{доп}$. Последнее выбирается исходя из тех или иных требований к аппаратуре вихретокового контроля (как правило, таким основным требованием есть максимально возможное устранение влияния зазора или других помех). Вследствие влияния различного рода помех (это могут быть зазор, перекося ВТП, а также помехи инструментального характера) выполнение условия (3) нарушается и вместо номинального значения частоты $\omega_{nc} = \beta_n^2/(a^2\mu_0\sigma)$, которое должно отвечать измеряемому значению σ , в действительности имеет место частота $\omega_{\sigma} = \beta^2/(a^2\mu_0\sigma)$. При этом возникает погрешность измерения УЭП, которая описывается следующим выражением [5]:

$$\delta \sigma_{\Delta\beta} = \frac{2\beta_n \Delta\beta + (\Delta\beta)^2}{\beta_n^2}, \quad (4)$$

где $\Delta\beta$ — изменение обобщенного параметра относительно номинального значения β_n .

Выражение (4) имеет универсальный характер, потому что позволяет анализировать погрешности измерения УЭП вихретоковыми измерителями следящего частотного уравнивания, обусловленные любыми факторами, влияющими на обобщенный параметр β . К таким влияющим факторам кроме зазора (который является источником методической погрешности) относятся также погрешности отдельных функциональных узлов и систем прибора.

К источникам инструментальных погрешностей относятся нестабильность коэффициента преобразования БЧВИ и его аддитивная погрешность. Од-

нако их влиянием на результат измерения УЭП можно смело пренебречь, потому что погрешности цифровых измерителей частоты и периода составляют $5 \cdot 10^{-8} \dots 3 \cdot 10^{-5} \%$ [6], что на 5...8 порядков меньше общей погрешности вихретоковых измерителей УЭП. Поэтому основным источником погрешности фазовых измерителей УЭП следящего частотного уравнивания является неточная стабилизация фазы результирующего напряжения на выходе системы «ВТП-компенсатор».

Для стабилизации фазы напряжения $\dot{U}_p$ служит контур автоматического регулирования частоты генератора УГ. Погрешность стабилизации фазы описывается выражением, аналогичным полученному в работе [7] для контура автоматической стабилизации фазы тангенциальной составляющей поля вихревых токов в вихретоковом измерителе коэффициента анизотропии УЭП:

$$\Delta_{\text{ст}}(\Psi_p) = - \left[\Delta\Psi^{(n-o)} + \Psi_p \frac{\delta k_{\phi}}{1 + \delta k_{\phi}} + \frac{b_{\phi} + b_{\text{БУЧ}}}{k_{\phi}(1 + \delta k_{\phi})} \right], \quad (5)$$

где $\Delta\Psi^{(n-o)}$ — неидентичность фазовых характеристик каналов преобразования результирующего (измерительного) и опорного напряжений (так как результирующее напряжение несет информацию о измеряемой величине, то канал преобразования этого напряжения в дальнейшем будем именовать измерительным); Ψ_p — фаза результирующего напряжения $\dot{U}_p$; δk_{ϕ} и b_{ϕ} — соответственно мультипликативная и аддитивная погрешности фазоизмерителя; $b_{\text{БУЧ}}$ — аддитивная погрешность блока управления частотой.

Из выражения (5) следует, что основной вклад в погрешность стабилизации вносит первая составляющая $\Delta\Psi^{(n-o)}$. Влияние двух других составляющих можно относительно просто устранить выбором достаточно большого значения коэффициента преобразования фазоизмерителя $\Phi И$ и обеспечением его стабильности конструктивным путем. Поэтому, чтобы уменьшить погрешность $\Delta_{\text{ст}}(\Psi_p)$ необходимо обеспечить максимально возможную идентичность фазовых характеристик каналов преобразования [8]. Погрешность стабилизации фазы

напряжения $\dot{U}_p$ приводит к отклонению параметра β от номинального значения, что и приводит к погрешности измерения УЭП. Эта погрешность была проанализирована для двух способов формирования вспомогательного напряжения:

1) для способа, предложенного А. С. Гаревских и А. Л. Дорофеевым [9];

2) для способа, который обеспечивает повышенную чувствительность к УЭП [10].

При этом анализе были использованы предварительно построенные графики зависимостей $\Psi_p^{(1)} = f(\beta)$ и $\Psi_p^{(2)} = f(\beta)$ для нормированного зазора $\alpha = 0,05$ и выражение (19). На рис. 2 показаны графики зависимости погрешности измерения УЭП от погрешности стабилизации фазы результирующего напряжения $\dot{U}_p$. Зависимость $\delta^{(1)}\sigma_{\text{ст}} =$

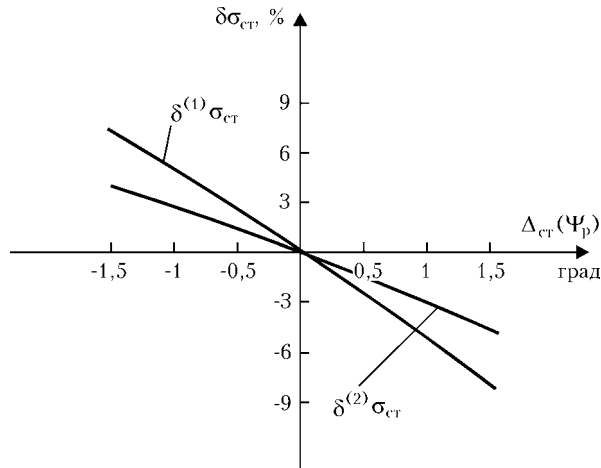


Рис. 2. Зависимость погрешности измерения УЭП от погрешности стабилизации фазы результирующего напряжения $\dot{U}_p$ на выходе системы «ВТП-компенсатор» при различных способах формирования последнего: $\delta^{(1)}\sigma_{ст}$ — при формировании $\dot{U}_p$ по способу, предложенному А. Л. Дорофеевым и А. С. Гаревских; $\delta^{(2)}\sigma_{ст}$ — при формировании $\dot{U}_p$ по способу с повышенной чувствительностью к УЭП

= $f[\Delta_{ст}(\Psi_p)]$ отвечает случаю формирования $\dot{U}_{доп}$ по способу А. С. Гаревских–А. Л. Дорофеева, а зависимость $\delta^{(2)}\sigma_{ст} = f[\Delta_{ст}(\Psi_p)]$ — по способу с повышенной чувствительностью к УЭП. Сравнительный анализ представленных графиков показывает, что во втором случае погрешность измерения УЭП почти в два раза меньше. Так, при $\Delta_{ст}(\Psi_p) = \pm 0,2^\circ$ $|\delta^{(1)}\sigma_{ст}| \leq 1\%$, тогда как $|\delta^{(2)}\sigma_{ст}| \leq 0,6\%$. А при $\Delta_{ст}(\Psi_p) = \pm 1,5^\circ$ абсолютные значения $\delta^{(1)}\sigma_{ст}$ и $\delta^{(2)}\sigma_{ст}$ приближаются соответственно к 8,4 и 4,7 %. Для того, чтобы фазовые измерители УЭП частотного уравнивающего преобразования не уступали по точности устройствам прямого преобразования, погрешность $\Delta_{ст}(\Psi_p)$ не должна превышать $\pm 0,2^\circ$. Это предъявляет высокие требования к идентичности фазовых характеристик измерительного и опорного каналов. Обеспечить абсолютное выполнение этого условия в широком частотном и температурном диапазонах практически невозможно. Поэтому в измерителях УЭП частотного уравнивающего преобразования обычно применяют сравнительно низкие рабочие частоты (сотни герц — единицы

килогерц). А для того, чтобы не уменьшалась чувствительность фазы внесенного напряжения к УЭП, приходится использовать ВТП с обмотками большого диаметра (десятки миллиметров), что существенно снижает локальность измерений и не позволяет применять устройства данного типа для измерения УЭП малоразмерных объектов. В этом отношении фазовые измерители УЭП прямого преобразования имеют перед ними значительное преимущество.

Рассмотренная выше обобщенная функциональная схема фазовых измерителей УЭП уравнивающего частотного преобразования представляет собой замкнутую следящую систему с отрицательной обратной связью. Разработка и настройка таких систем являются довольно сложными, но самое главное то, что в них всегда есть опасность возникновения автоколебаний, которые не позволяют получить достоверные результаты измерений. Эти недостатки отсутствуют у измерителя УЭП с развертывающим частотным преобразованием [11], функциональная схема которого приведена на рис. 3. Его характерная особенность состоит в том, что в процессе измерений частота тока возбуждения ВТП непрерывно изменяется от минимального значения ω_{min} до максимального значения ω_{max} . Для этой цели служит генератор качающейся частоты ГКЧ, который через усилитель мощности УМ питает генераторную обмотку ВТП. Выходное напряжение ВТП усиливается усилителем У и его фаза измеряется фазоизмерителем ФИ. Вследствие непрерывного изменения частоты тока возбуждения обобщенный параметр β также непрерывно изменяется в интервале от $\beta_{min} = a \sqrt{\omega_{min} \mu_0 \sigma}$ до $\beta_{max} = a \sqrt{\omega_{max} \mu_0 \sigma}$. Благодаря этому фаза результирующего напряжения на выходе усилителя У также непрерывно изменяется от $\Psi_{p \min}$ до $\Psi_{p \max}$ и обратно. Когда фаза напряжения $\dot{U}_p$ достигнет заданного номинального значения Ψ_{pn} , сработает нуль-орган НО. Он генерирует короткий импульс, который запускает цифровой периодометр ЦП. Периодометр измеряет текущее значение периода напряжения ГКЧ. Зафиксированный периодометром цифровой код преобразуется дешифратором ДШ и поступает на цифровой индикатор ЦИ.

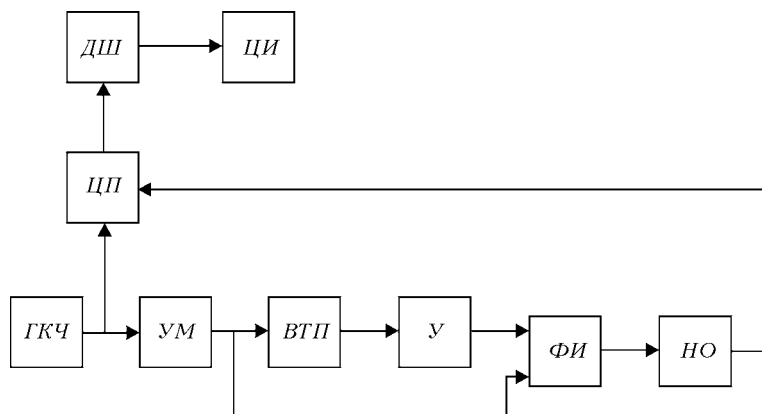


Рис. 3. Функциональная схема фазового измерителя УЭП с развертывающим частотным уравнивающим преобразованием

С точки зрения возможностей отстройки от влияния зазора это устройство не имеет преимуществ перед рассмотренным выше измерителем УЭП следящего уравнивания. Основное его отличие состоит в отсутствии замкнутого контура автоматической стабилизации фазы напряжения $\dot{U}_p$. Поэтому отсутствует и соответствующая погрешность измерения УЭП от неточной стабилизации фазы этого напряжения. Однако появляется погрешность от неточного срабатывания нуль-органа НО. В идеальном случае нуль-орган срабатывает в момент, когда выполняется условие



$$\Psi_{p_n} k_{\phi_n} = U_{п}, \quad (6)$$

где k_{ϕ_n} — номинальное значение коэффициента преобразования фазоизмерителя; $U_{п}$ — порог срабатывания нуля-органа HO .

В действительности же нуля-орган срабатывает в момент, когда

$$\left(\Psi_{p_{cp}} + \Delta\Psi^{(n-o)} \right) k_{\phi_n} (1 + \delta k_{\phi}) + b_{\phi} = U_{п} + \Delta U_{п}, \quad (7)$$

где $\Psi_{p_{cp}}$ — фаза напряжения $\dot{U}_p$ в момент срабатывания нуля-органа HO .

Используя выражения (6) и (7), определяем погрешность фиксации номинального значения фазы результирующего напряжения

$$\Delta_{cp}(\Psi_{p_n}) = \Psi_{p_{cp}} - \Psi_{p_n} = - \left[\Delta\Psi^{(n-o)} + U_{п} \frac{\delta k_{\phi}}{k_{\phi_n} (1 + \delta k_{\phi})} + \frac{b_{\phi} - \Delta U_{п}}{k_{\phi_n} (1 + \delta k_{\phi})} \right]. \quad (8)$$

Из полученного выражения вытекает, что эта погрешность в основном определяется неидентичностью фазовых характеристик измерительного и опорного каналов. Что касается составляющих данной погрешности от дрейфа порога срабатывания нуля-органа $\Delta U_{п}$, мультипликативной δk_{ϕ} и аддитивной b_{ϕ} погрешностей фазоизмерителя то, во-первых, их влияние можно ограничить соответствующим выбором значения коэффициента преобразования фазоизмерителя, а, во-вторых, аддитивная погрешность фазоизмерителя и дрейф порога срабатывания нуля-органа входят в выражение (8) с противоположными знаками и частично взаимно компенсируют друг друга. По влиянию на результат измерения $УЭП$ погрешность $\Delta_{cp}(\Psi_{p_n})$ полностью аналогична погрешности стабилизации фазы $\Delta_{ст}(\Psi_p)$ в фазовых измерителях уравнивающего преобразования следящего действия и для нее также справедливы графики, представленные на рис. 2.

Необходимо отметить, что периодические изменения частоты и фазы входного напряжения фазоизмерителя могут привести к возникновению динамической погрешности. Причинами появления данной погрешности являются инерционность фазоизмерителя и задержка срабатывания нуля-органа. Вследствие этого запускающий импульс на выходе нуля-органа будет запаздывать на время Δt_3 относительно момента, когда фаза напряже-

ния $\dot{U}_p$ равна номинальному значению. Если Δt_3 меньше периода колебаний напряжения $ГКЧ$, то динамическая погрешность $\delta_d \sigma$ равна относительному изменению значений соседних периодов, которое определяется скоростью изменения периода этого напряжения

$$\delta_d \sigma = \delta T = \frac{\Delta T}{T} = V_T, \quad (9)$$

где ΔT — абсолютное значение разности соседних периодов напряжения $ГКЧ$.

В том случае, если время задержки запускающего импульса превышает период колебаний напряжения $ГКЧ$, то динамическая погрешность измерения $УЭП$ равна

$$\delta_d \sigma = \frac{V_T \Delta t_3}{T}. \quad (10)$$

Она не будет превышать предельно допустимого значения, если скорость изменения периода напряжения $ГКЧ$ удовлетворяет следующему условию:

$$V_T \leq \frac{(\delta_d \sigma)_{доп} T_{min}}{\Delta t_3}, \quad (11)$$

где $(\delta_d \sigma)_{доп}$ — предельно допустимое значение динамической погрешности измерения $УЭП$; T_{min} — минимальное значение периода напряжения $ГКЧ$.

Из выражений (9) и (10) следует, что погрешностью $\delta_d \sigma$ можно пренебречь в том случае, если выходное напряжение $ГКЧ$ является квазигармоническим и его соседние периоды практически равны. Так, при $\Delta t_3 < T$ динамическая погрешность не превышает 0,1 %, если относительные изменения соседних периодов не превышают 0,001. Если же $\Delta t_3 > T$, то указанные изменения должны быть еще меньше. Это в известной степени ограничивает быстроедействие рассматриваемого устройства, особенно на низких частотах напряжения $ГКЧ$ и при широком диапазоне измеряемых значений $УЭП$.

Выводы

1. Анализ инструментальных погрешностей фазовых вихретоковых измерителей $УЭП$ уравнивающего частотного преобразования показал, что при следящем способе уравнивания основным источником инструментальной погрешности измерения $УЭП$ является погрешность стабилизации фазы результирующего напряжения на выходе системы «ВТП-компенсатор». В измерителях $УЭП$ с развертывающим способом уравнивания источником инструментальной погрешности есть погрешность фиксации момента, когда фаза этого напряжения равна номинальному значению. Основной составляющей указанных погрешностей является неидентичность фазовых характеристик каналов преобразования измерительного (результатирующее напряжение на выходе системы «ВТП-компенсатор» и опорного напряжений).

2. Установлено, что эти погрешности зависят от режима компенсации остаточного напряжения $ВТП$ и уменьшаются с увеличением чувствительности фазы результирующего напряжения на выходе системы «ВТП-компенсатор» к $УЭП$.

3. На основе исследования динамической погрешности фазовых вихретоковых измерителей $УЭП$ развертывающего частотного преобразования определены требования к скорости изменения тока возбуждения $ВТП$ исходя из предельно допустимого значения данной погрешности.



1. *Неразрушающий контроль и диагностика: Справ.* / В. В. Клюев, Ф. Р. Соснин, В. Н. Филипов и др. // Под ред. В. В. Клюева. — М.: Машиностроение, 1995. — 64 с.
2. *Дорофеев А. Л., Казамапов Ю. Г.* Электромагнитная дефектоскопия. — М.: Машиностроение, 1980. — 232 с.
3. *Дорофеев А. Л., Еришов Р. Е.* Физические основы электромагнитной структуроскопии / Отв. ред. Р. Г. Хлебоброс. — Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1985. — 182 с.
4. *Журавель Ф. А., Соболев В. С.* Бесконтактные измерения удельного сопротивления материалов с получением результата в цифровом виде // Автометрия. — 1969. — № 6. — С. 103–107.
5. *Гордиенко В. И., Рыбачук В. Г., Тетерко А. Я.* Влияние зазора на точность фазовых вихретоковых измерителей удельной электрической проводимости // Техн. электродинамика. — 1988. — № 5. — С. 96–101.
6. *Ориатский П. П.* Автоматические измерения и приборы. — Киев: Вища школа, 1980. — 560 с.
7. *Гордиенко В. И., Рыбачук В. Г.* Измеритель коэффициента анизотропии удельной электрической проводимости // Измерительная техника. — 1989. — № 4. — С. 50–52.
8. *А. с. 436200 СССР, МКИ G 01R 31/00.* Устройство для измерения удельного сопротивления парамагнитных и диамагнитных материалов / Ф. А. Журавель, В. С. Соболев. — Оpubл. 15.07.74; Бюл. № 26.
9. *Гаревских А. С., Дорофеев А. Л.* Прибор для измерения удельного электросопротивления углеродистых материалов // Дефектоскопия. — 1974. — № 6. — С. 123–126.
10. *А. с. 993153 СССР, МКИЗ G 01R 27/00, G 01 N 27/00.* Устройство для измерения удельного сопротивления немагнитных материалов / А. Я. Тетерко, В. Г. Рыбачук. — Оpubл. 30.01.83; Бюл. № 4.
11. *А. с. 979983 СССР, МКИЗ G 01N 27/90, G 01 N 27/02.* Устройство для измерения удельной электропроводности немагнитных материалов / А. Я. Тетерко, В. Г. Рыбачук. — Оpubл. 07.12.82; Бюл. № 45.

Физ.-мех. ин-т им. Г. В. Карпенко НАН Украины,
Львов

Поступила в редакцию
04.06.2004



**ОРГАНИЗАТОРОМ ВЫСТАВКИ
ПРИ 17-Й ВСЕРОССИЙСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ ПО
НЕРАЗРУШАЮЩЕМУ КОНТРОЛЮ В ЕКАТЕРИНБУРГЕ
СТАНЕТ ООО «ПРИМЭКСПО»**



Выставочная компания **ПРИМЭКСПО** (партнер британской выставочной компании ITE Group Pie) назначена официальным организатором выставки «Неразрушающий контроль и диагностика», которая пройдет в Екатеринбурге одновременно с 17-й Всероссийской научно-технической конференцией, посвященной 100-летию со дня рождения Михаила Николаевича Михеева — члена-корреспондента АН СССР, выдающегося ученого в области физических методов неразрушающего контроля, одного из основателей академической науки на Урале, более пятидесяти лет возглавлявшего Институт физики металлов Уральского отделения Российской академии наук.

Выставка NOT URAL состоится 6–9 сентября 2005 г., в Уральском политехническом Институте при поддержке Уральского отделения Российской академии наук, Российского общества по неразрушающему контролю и технической диагностике, Правительства Свердловской области, Национальной ассоциации контроля и сварки, Института машиноведения УрО РАН, Института физики металлов УрО РАН и др.

Компания **ПРИМЭКСПО** была выбрана не случайно — уже 4 года она известна профессионалам неразрушающего контроля и технической диагностики по ежегодно проводимой в Москве выставке NOT RUSSIA, которая стала крупнейшим в Европе событием, где встречаются разработчики, производители и поставщики средств неразрушающего контроля с потребителями со всех регионов России и стран СНГ (в 2005 году выставка пройдет в СК «Олимпийский» с 17 по 20 мая).

**В данный момент готовится научная программа конференции,
информацию по которой Вы можете получить на сайте www.imach.uran.ru**

**По вопросам участия в выставке обращайтесь в ООО «ПРИМЭКСПО» к Марии Бадах
по тел. (812) 380-60-02 или на e-mail: ndi@primexpo.ru.**

Подобная информация на сайте www.primexpo.ru/ndt.



ТЕПЛОФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВЫЯВЛЕНИЯ ДЕФЕКТА В ОБЪЕКТАХ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ ПРИ ТЕПЛОВОМ НЕРАЗРУШАЮЩЕМ КОНТРОЛЕ

В. А. СТОРОЖЕНКО, С. Н. МЕШКОВ, А. А. ГАПТРАКИПОВ

Рассмотрен процесс выявления дефектов в объектах цилиндрической формы при тепловом неразрушающем контроле. Показано, что кривизна объекта контроля существенно влияет на параметры процесса: перепад температур над дефектом, время нагрева и время регистрации.

The paper considers the process of defect detection in objects of a cylindrical shape at thermal NDT. It is shown that the curvature of the object of control essentially affects the process parameters, namely temperature gradient above the defect, heating and recording time.

Препятствием для более широкого распространения теплового неразрушающего контроля (ТНК) является то, что этот метод применяется и основным для плоских изделий и объектов. В то же время, элементы конструкций авиакосмической техники, различные трубы и цилиндры, корпуса электродвигателей, сосуды Дьюара и многие другие изделия — объекты цилиндрической формы (ОЦФ) представляют определенную сложность для ТНК. Как показывает практика, для реализации ТНК такого класса объектов необходимо создание специализированных средств и методик контроля, основанных на результатах анализа тепловых процессов и механизма формирования сигнала от дефекта.

Постановка задачи. Основой для разработки методик и аппаратуры ТНК является теплофизическое моделирование объекта контроля, цель которого можно сформулировать следующим образом:

анализ влияния цилиндрической формы объекта на известные закономерности активного метода ТНК;

создание теоретического аппарата, позволяющего рассчитывать основные параметры процесса активного ТНК для ОЦФ (а именно: величину ожидаемого сигнала от дефекта ΔT , оптимальное значение времени нагрева τ_n и времени запаздывания

время τ_z и оценивать применимость метода к новым объектам контроля.

Построение теплофизической модели основано на следующих принципах:

обеспечение адекватности модели за счет учета реальных условий проведения активного теплового контроля (смена граничных условий, ограничение мощности воздействия, наличие разнотипных дефектов и т. д.);

упрощение ее структуры путем выявления и исключения несущественных деталей в описании объекта контроля;

максимальная универсализация модели, позволяющая охватить большинство потенциальных объектов цилиндрической формы.

Геометрическое и математическое описание модели. Геометрическое представление объекта контроля (ОК) изображено на рис. 1. На рис. 1, а представлена наиболее часто используемая в ТНК теплофизическая модель ОК в виде пластины [1]. На рис. 1, б показана предлагаемая теплофизическая модель в цилиндрической системе координат. Общим для моделей является использование смешанных и переменных граничных условий (ГУ), что отображает реальные условия контроля.

В предлагаемой модели существенным является учет ограничения на допустимую максимальную

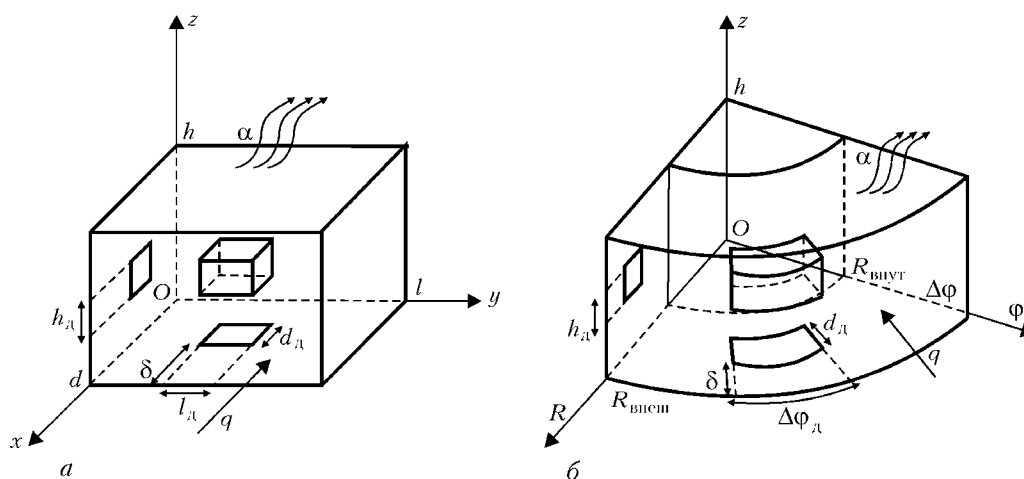


Рис. 1. Геометрические представления объектов контроля: прямоугольная (а) и цилиндрическая (б) модели

© В. А. Стороженко, С. Н. Мешков, А. А. Гаптракипов, 2004



температур объекта. Учет ограничения по $T_{\text{доп}}$ (допустимая температура нагрева образца) позволяет связать мощность q и время нагрева τ_n и с учетом этой связи определять наилучший для выявления дефекта режим проведения контроля.

Математическое описание модели основано на решении дифференциального уравнения нестационарной теплопроводности [2]:

$$\nabla(\lambda \nabla T) = \nabla \lambda \nabla T + \lambda \nabla^2 T = c\rho \frac{\partial T}{\partial t}, \quad (1)$$

которое в цилиндрической системе координат имеет вид:

$$\begin{aligned} & \left(\lambda \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{\partial \lambda}{\partial r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\lambda}{r} \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \\ & + \left(\frac{\lambda}{r^2} \frac{\partial^2 T}{\partial \varphi^2} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial \lambda}{\partial \varphi} \frac{\partial T}{\partial \varphi} \right) + \\ & + \left(\lambda \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{\partial \lambda}{\partial z} \frac{\partial T}{\partial z} \right) = c\rho \frac{\partial T}{\partial t}. \end{aligned} \quad (2)$$

Решение осуществляется при граничных условиях 2- и 3-го рода:

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial r} \Big|_{S_r} = q(r, \varphi, z, t), \quad (3)$$

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial r} \Big|_{S_r} = \alpha(T(\vec{r}, t) \Big|_s - T_{\text{среды}}), \quad (4)$$

$$\lambda \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial \varphi} \Big|_{S_\varphi} = \alpha(T(\vec{r}, t) \Big|_s - T_{\text{среды}}), \quad (5)$$

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \Big|_{S_z} = \alpha(T(\vec{r}, t) \Big|_s - T_{\text{среды}}), \quad (6)$$

где S_r, S_φ, S_z — соответствующие осям координат внешние поверхности ОК [3].

В модели предусмотрено задание многослойных структур и введение двух и более дефектов. Теплофизические параметры области объекта могут быть выбраны произвольно, что обеспечивает возможность комбинаций любых материалов и веществ в модели.

Принятые в модели упрощения введены для обеспечения универсальности и для повышения быстродействия работы программы, реализующей эту модель. К ним следует отнести однородность теплофизических свойств рассматриваемых областей ОЦФ и независимость теплофизических характеристик от температуры (линейности модели).

Задачи анализа модели и методика его проведения. Для решения дифференциального уравнения нестационарной теплопроводности использовали численный метод конечных разностей. Реализована неявная схема, обеспечивающая безусловную сходимость метода к точному решению. При этом применен метод переменных направлений.

Для рассматриваемой модели необходимо получить конечно-разностную аппроксимацию дифференциального уравнения (2) с разрывными коэффициентами ТФХ. Эта задача решена с помощью учета граничных условий между областями с различными ТФХ, которые определялись тре-

бованиями непрерывности температурного поля $T(r, \varphi, z, t)$ и теплового потока:

$$T'_i = T'_{i+1}, \quad \lambda_i \frac{\partial T_i}{\partial r_{ni}} = \lambda_{i+1} \frac{\partial T_{i+1}}{\partial r_{ni+1}}, \quad (7)$$

где i — индекс ячейки.

При рассмотрении процесса распространения теплового потока по радиусу объекта контроля конечно-разностная аппроксимация строилась из следующего приближения дифференциального оператора для i -й ячейки:

$$\lambda \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{\partial \lambda}{\partial r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\lambda}{r} \frac{\partial T}{\partial r} \approx \frac{1}{V_i} (q_{\text{вх}} - q_{\text{вых}}) [\text{Вт}/\text{м}^3]. \quad (8)$$

Воспользовавшись условием (7) и представлением радиальной составляющей тепловых потоков (8), получаем следующую неявную конечно-разностную аппроксимацию дифференциального уравнения (1):

$$\begin{aligned} & \frac{r_{i-1}}{r_i \Delta r_i + \frac{1}{2} \Delta r_i^2} \frac{2G_i R_i R_{i-1}}{R_i + R_{i-1}} T_{i-1}^{t+\Delta t} - \\ & - \left(1 + \frac{r_{i-1}}{r_i \Delta r_i + \frac{1}{2} \Delta r_i^2} \frac{2G_i R_i R_{i-1}}{R_i + R_{i-1}} + \frac{r_{i+1}}{r_i \Delta r_i + \frac{1}{2} \Delta r_i^2} \frac{2G_i R_{i+1} R_i}{R_{i+1} + R_i} \right) \times \\ & \times T_i^{t+\Delta t} + \frac{r_{i+1}}{r_i \Delta r_i + \frac{1}{2} \Delta r_i^2} \frac{2G_i R_{i+1} R_i}{R_{i+1} + R_i} T_{i+1}^{t+\Delta t} = -T_i^t. \end{aligned} \quad (9)$$

Для граничного условия второго рода (нагрев поверхности ОЦФ тепловым потоком q) получаем:

$$\begin{aligned} & - \left(1 + \frac{r_{k2}}{r_{k1} \Delta r_{k1} + \frac{1}{2} \Delta r_{k1}^2} \frac{2G_{k1} R_{k1} R_{k2}}{R_{k2} + R_{k1}} \right) T_{k1}^{t+\Delta t} + \\ & + \frac{r_{k2}}{r_{k1} \Delta r_{k1} + \frac{1}{2} \Delta r_{k1}^2} \frac{2G_{k1} R_{k1} R_{k2}}{R_{k1} + R_{k2}} T_{k2}^{t+\Delta t} = \\ & = -T_{k1}^t - \frac{G_{k1} r_{k1} q}{r_{k1} \Delta r_{k1} + \frac{1}{2} \Delta r_{k1}^2}. \end{aligned} \quad (10)$$

Граничное условие третьего рода (теплообмен со средой):

$$\begin{aligned} & \frac{1}{r_{k1} \Delta r_{k1} + \frac{1}{2} \Delta r_{k1}^2} \times \\ & \times \left(- \left(1 + \frac{2r_{k1} G_{k1} R_{k1} \alpha}{2R_{k1} + \alpha} + \frac{2r_{k2} G_{k1} R_{k2} R_{k1}}{R_{k2} + R_{k1}} \right) T_{k1}^{t+\Delta t} + \right. \\ & \left. + \frac{2r_{k2} G_{k1} R_{k2} R_{k1}}{R_{k2} + R_{k1}} T_{k2}^{t+\Delta t} \right) = \\ & = -T_{k1}^t - \frac{r_{k1}}{r_{k1} \Delta r_{k1} + \frac{1}{2} \Delta r_{k1}^2} \frac{2G_{k1} R_{k1} \alpha}{2R_{k1} + \alpha} T_{\text{среды}} \end{aligned} \quad (11)$$

Для внутренней поверхности $k1 = 0, k2 = 1$; для внешней — $k1 = n, k2 = n - 1$.



Для азимутальной оставляющей теплового потока получим одномерное дифференциальное уравнение нестационарной теплопроводности:

$$\frac{\lambda}{r^2} \frac{\partial^2 T}{\partial \varphi^2} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial \lambda}{\partial \varphi} \frac{\partial T}{\partial \varphi} = c \rho \frac{\partial T}{\partial t} \quad [\text{Вт}/\text{м}^3]. \quad (12)$$

В результате преобразований, аналогичных предыдущим, получим следующие формулы конечно-разностной аппроксимации:

$$\begin{aligned} & \frac{1}{\Delta \varphi_j (r_i + \frac{1}{2} \Delta r_i)^2} \times \\ & \times \left(\frac{2G_j R_j R_{j-1}}{R_j + R_{j-1}} T_{j-1} - \left(1 + \frac{2G_j R_j R_{j-1}}{R_j + R_{j-1}} + \frac{2G_j R_{j+1} R_j}{R_{j+1} + R_j} \right) \times \right. \\ & \left. \times T_j + \frac{2G_j R_{j+1} R_j}{R_{j+1} + R_j} T_{j+1} \right) = -T_j, \end{aligned} \quad (13)$$

где $R_j = \lambda_j / \Delta \varphi_j$.

Граничное условие третьего рода (теплообмен со средой):

$$\begin{aligned} & \frac{1}{\Delta \varphi_{k1} (r_i + \frac{1}{2} \Delta r_i)^2} \left(- \left(1 + \frac{2G_{k1} R_{k1} \alpha}{2R_{k1}} + \frac{2G_{k1} R_{k2} R_{k1}}{R_{k2} + R_{k1}} \right) \times \right. \\ & \left. \times T_{k1}^{t+\Delta t} + \frac{2G_{k1} R_{k2} R_{k1}}{R_{k2} + R_{k1}} T_{k2}^{t+\Delta t} \right) = \\ & = -T_{k1}^t - \frac{2G_{k1} R_{k1} \alpha}{2R_{k1}} T_{\text{среды}} - \frac{1}{r_i + \frac{1}{2} \Delta r_i} \end{aligned} \quad (14)$$

Для распространения тепловых потоков по оси OZ конечно-разностная схема совпадает со схемой в декартовой системе координат.

Для реализации описанного выше численного метода разработана компьютерная программа «Cylinder» для расчета алгоритма температурных полей и оптимизации основных параметров АТНК.

Полученные в результате расчета температурные поля позволяют определить максимальное значение температуры $T_{\max}$ и в соответствии с учетом ограничения $T_{\max} \leq T_{\text{доп}}$ (допустимая температура нагрева) соответственно пропорционально изменить q_{max} в $T_{\text{доп}}/T_{\max}$ раз, с тем, чтобы с одной стороны, не превысить ограничения, а с другой — получить максимальный тепловой отклик от дефекта.

Как известно, нагрев в тепловом контроле осуществляется прямоугольным импульсом с мощностью нагрева q_0 и длительностью τ_n . Поэтому в модели предусмотрена возможность получения отклика на этот импульс как суперпозиции «положительной» и «отрицательной» тепловых ступенек, смещенных по времени на величину τ_n . Это позволило значительно ускорить процедуру анализа модели и выбора оптимального режима ТНК.

Условия вычислительного эксперимента.

Постановка задачи теплофизического моделирования ОЦФ предусматривает получение ответов на следующие вопросы:

справедливы ли закономерности активного метода теплового контроля, известные для объектов типа пластины, для объектов цилиндрической формы?

как влияет форма объекта контроля (его кривизна) на такие параметры, как сигнал от дефекта ΔT , оптимальные параметры процедуры контроля τ_n и τ_3 ?

каков характер зависимости сигнала от дефекта ΔT и параметров дефекта — глубины залегания h , раскрытия δ , поперечного размера L .

Для ответа на перечисленные вопросы в качестве варьируемых факторов рассматривались: радиус кривизны объекта; глубина залегания дефекта; поперечный размер дефекта L (4, 12 и 20 мм).

Кроме варьируемых факторов были учтены и фиксированные, которые хоть и влияют на процедуру контроля, но не столь существенны. Численные значения фиксированных факторов были выбраны для наиболее типичного объекта теплового контроля — композиционных структур из стекло- и углепластиков, для которых [1]: $\lambda = 0,336 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$; $a = 1,492 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$; допустимая температура нагрева $T_{\text{доп}} = 100^\circ \text{C}$.

Толщина стенки была принята равной 10 мм, а в качестве дефекта рассматривалось воздушное включение (расслоение, непроклеи) с теплофизическими параметрами [4]: $\lambda_d = 0,03 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$; $a_d = 2,5 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$.

Для анализа влияния формы объекта (его кривизны) на исследуемые закономерности расчеты, проводимые на основании разработанной цилиндрической модели, сравнивались с аналогичными данными, полученными с помощью прямоугольной (ортогональной) модели (рис. 1, а).

Результаты анализа модели. Машинный эксперимент показал, что общие закономерности ТНК, полученные для объектов в виде плоскопараллельной пластины, выполняются и для ТНК ОЦФ. В частности, существует оптимальный (по критерию ΔT) режим контроля (т. е. время нагрева τ_n и время задержки τ_3). Однако значения этих параметров, как и величина сигнала ΔT для ОЦФ, отличаются от объекта прямоугольной формы (типа пластины). Причем эти отличия тем существеннее, чем меньше радиус кривизны и больше глубина залегания дефекта.

Характер полученных закономерностей в основном совпадает с известными, полученными ранее при использовании прямоугольной модели.

На рис. 2 показано влияние кривизны объекта на основные характеристики ТНК (ΔT , τ_n , τ_3) при фиксированных параметрах дефекта. Приведенные данные свидетельствуют о том, что отличие формы объекта от плоской (т. е. его кривизна) оказывает существенное влияние на характеристики ТНК.

При росте кривизны объекта (уменьшении R) значения величины сигнала от дефекта ΔT , а также оптимальных параметров режима контроля τ_n и τ_3 отличаются от значений, характерных для плоских объектов более, чем на 70 %.

Это подтверждает предположение о том, что к ТНК объектов цилиндрической формы необходим

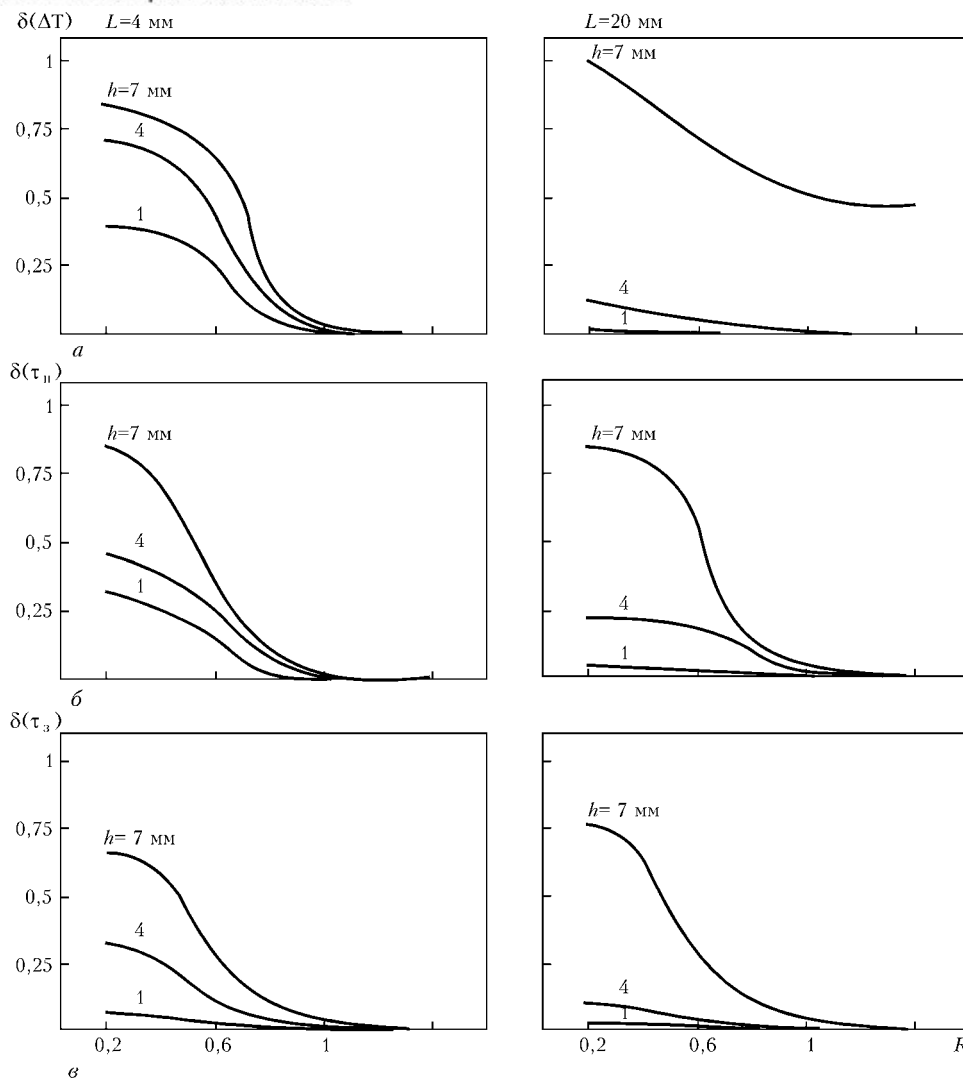


Рис. 2. Зависимости основных параметров контроля ΔT (а); τ_n (б); τ_z (в) от радиусов кривизны объекта: $d(\Delta T) = \Delta T_{\text{цпл}} - \Delta T_{\text{пр}} / \Delta T_{\text{пр}}$; $(\delta \tau_n) = \tau_{n \text{ цпл}} - \tau_{n \text{ пр}} / \tau_{n \text{ пр}}$; $(\delta \tau_z) = \tau_{z \text{ цпл}} - \tau_{z \text{ пр}} / \tau_{z \text{ пр}}$ (L — размеры дефектов; h — глубина залегания дефектов 1, 4, 7 мм; R — радиус кривизны объекта)

особый подход: и в теории, и в методике и в аппаратуре.

Выводы.

В результате теплофизического моделирования процессов выявления дефектов в ОЦФ установлено следующее: в качественном отношении характер закономерностей ТНК ОЦФ совпадает с известными для объектов плоской формы закономерностями, а именно: величина сигнала от дефекта ΔT существенно зависит от глубины залегания дефекта h (рассматривается схема одностороннего контроля) и в определенной степени — от его поперечного размера L (при $L \leq h$); существуют оптимальные значения параметров режима контроля τ_n , τ_z , при которых сигнал от заданного дефекта (ΔT) максимален; в количественном отношении закономерности ТНК ОЦФ отличаются от аналогичных для объектов прямоугольной формы (типа пластины), причем тем существеннее, чем больше кривизна объекта (до 7 % и более); специфика формы объекта (рассматри-

ваются объекты цилиндрической формы) требует и специфических подходов к построению методики контроля и выбору средств контроля; разработанный для проведения моделирования инструмент (в виде компьютерной программы «Cylinder», реализующей численное решение прямой задачи нестационарной теплопроводности в неоднородных структурах) может быть использован на практике для оценки применимости теплового метода к новым классам объектов, для определения требований к методике и аппаратуре контроля.

1. Стороженко В. А., Вавилов В. П., Волчек А. Д. Неразрушающий контроль качества промышленной продукции активным тепловым методом. — Киев: Техніка, 1988. — 126 с.
2. Лыков А. В. Теория теплопроводности. — М.: Высшая школа, 1967. — 599 с.
3. Тихонов А. Н., Самарский А. А. Уравнения математической физики. — М.: Наука, 1977. — 345 с.
4. Вавилов В. П. Тепловые методы контроля композиционных структур и изделий радиоэлектроники. — М.: Радио и связь, 1984. — 152 с.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЛН РЭЛЕЯ, ВОЗБУЖДАЕМЫХ ЭМА ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ В ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ РЕЛЬСАХ

В. И. ГОРДЕЛИЙ

Приведены результаты экспериментальных исследований рэлеевских волн, генерируемых ЭМА-преобразователями в твердых телах. При этом установлены их зависимости от расстояний от излучателя до точки приема, особенности воздействия толщины образца на характер распространения и перетражения волн. На примере ступенчатых моделей и специальных пропилов показаны дифракционные особенности волн Рэлея в зависимости от их частоты, а также глубины проникновения их в металлические тела.

The paper gives the results of experimental studies of Raleigh waves generated by EMA-transducers in solids. Their dependencies on distances from the emitter to the reception point, and features of the impact of sample thickness on the nature of wave propagation and double reflection are established. The example of stepped models and special saw cuts is used to demonstrate the diffraction features of Raleigh waves, depending on their frequency, and depth of their penetration into metal bodies.

В последнее время все больший интерес вызывает применение волн Рэлея для неразрушающего ультразвукового (УЗ) контроля рельсов. Выяснилось, что с помощью этих волн можно обнаружить не только поверхностные дефекты, но и те, которые располагаются на глубине несколько миллиметров и более. Особенно большие преимущества этих волн в случае, когда указанные сигналы возбуждаются и принимаются бесконтактными ЭМА преобразователями. В этой связи актуальны исследования, в которых изучаются закономерности возбуждения и приема УЗ поверхностных волн с учетом непростой геометрии рельса.

Теоретическое изучение рэлеевских волн в упругом полупространстве было выполнено с участием автора настоящей работы и опубликовано в докладе [1]. В нем описаны особенности возбуждения волн Рэлея ЭМА преобразователями, получены аналитические выражения, позволяющие установить основные закономерности их распространения и ослабления, зависимость от параметров ЭМА преобразователей, контролируемого материала и др. Однако экспериментально полученные решения не были подтверждены. В этой связи потребовалось компенсировать указанный пробел.

Зависимость ослабления волн Рэлея от расстояния в рельсе и в других образцах. Измерения проводились в рельсе ЭМА преобразователями волн Рэлея, один из которых (излучатель) излучал, а другой (приемник) принимал соответствующие сигналы (рис. 1).

Из данных измерений следует, что амплитуды волн Рэлея с расстоянием в рельсе на различных частотах убывает немонотонно. Особенно это характерно для частоты 0,25 МГц: наблюдаются устойчивые минимумы на расстояниях 30 и 45 см, но заметны также и на частоте 0,5 МГц при 25 и 40 см. Природа указанных минимумов пока не выяснена, но очевидно, что она связана с формой исследуемого объекта.

Далее измерения продолжили на образцах другой пространственной формы. В частности, они проводились на тех же частотах с помощью прямоугольного образца длиной 80 см, шириной 20 см и толщиной 2 см. Причем, в одних опытах излучатель и приемник располагали на одной стороне образца, а в других — на противоположных. При этом одновременно изучали как прямые, так и отраженные от противоположной грани образца сигналы, которые различались по времени прихода звука к приемнику (рис. 2). На расстоянии 32,5 см прямая и переотраженная волны слились, а затем на расстоянии 40 см опять разошлись. Причем, начиная с расстояния от 20 до 32,5 см амплитуда переотраженной волны оказалась большей, чем прямой, и это привело к соответствующему уменьшению величины последней. По-видимому, именно этим и объясняются замеченные

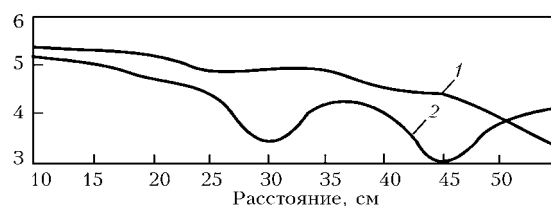


Рис. 1. Ослабление амплитуд волн Рэлея с расстоянием в рельсе на различных частотах, МГц: 1 — 0,5; 2 — 0,25

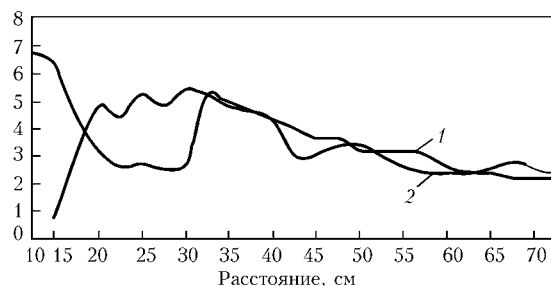


Рис. 2. Измерение прямой (1) и переотраженной (2) от противоположной грани образца сечением (20x2) см волны Рэлея на частоте 0,25 МГц

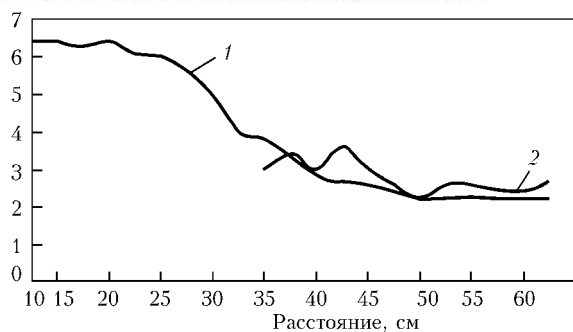


Рис. 3. Измерение прямой (1) и переотраженной (2) волн Рэлея при расположении излучателя и приемника по разные стороны образца на частоте 0,25 МГц

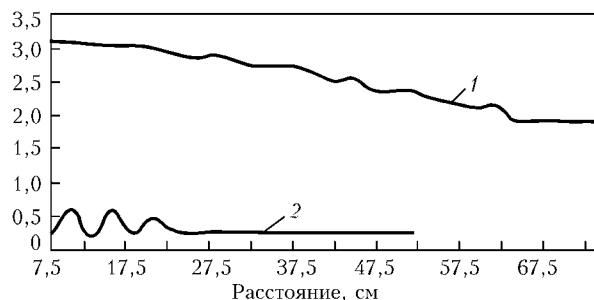


Рис. 4. Зависимость ослабления волны Рэлея от расстояния при расположении приемника и излучателя на одной стороне (1) и по разным сторонам (2) образца на частоте 0,5 МГц

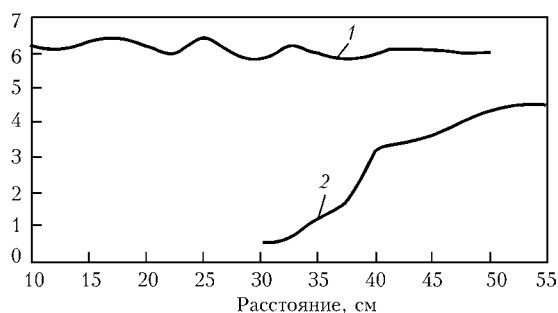


Рис. 5. Исследование рэлеевских волн, излучаемых ЭМА преобразователями на образце ОСО-4РЭ № 001 98 и частоте 0,25 МГц: 1 — излучатель и приемник располагаются на одной грани образца; 2 — по разные грани образца

выше минимумы в амплитуде прямой волны, измеряемой в рельефе.

Аналогичный эксперимент был также проведен в случае, когда излучатель и приемник располагали по разные стороны одного и того же образца (рис. 3).

Оказалось, что в данном образце волны Рэлея наблюдали даже тогда, когда приемник располагался непосредственно над излучателем и амплитуда ее была максимальной. В то же время переотраженная волна появилась только с расстояния 35 см и ее амплитуда была соизмеримой с таковой у прямой волны на данной дистанции. И эти обстоятельства свидетельствуют о сложной природе возбуждения рассматриваемой волны.

Далее рассмотрим поведение волны Рэлея, распространяемой в том же образце, на частоте 0,5 МГц (рис. 4). В данном опыте переотраженные волны не наблюдаются, а при размещении излучателя и приемника по разные стороны образца амплитуды принимаемых сигналов оказываются существенно разными. Причем, и в этом

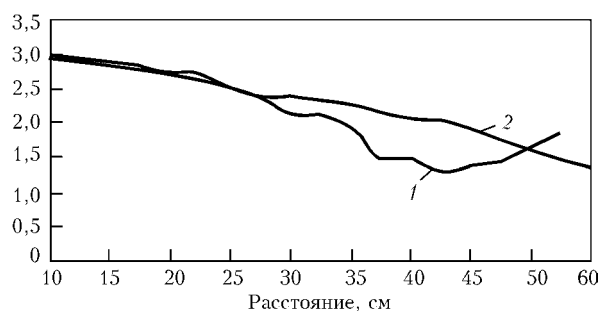


Рис. 6. Зависимость ослабления волны Рэлея от расстояния для различных образцов (и здесь наблюдается близкая зависимость)

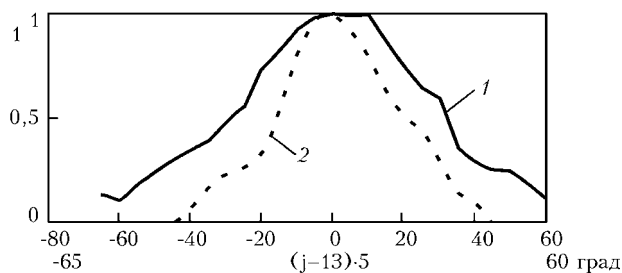


Рис. 7. Нормированная направленность излучения типовых ЭМА преобразователей рэлеевских волн, предназначенных для работы на частоте 0,25 МГц (1) и 0,5 МГц (2)

случае волна Рэлея возникает непосредственно над излучателем.

Вместе с тем образец толщиной 20 мм оказался слишком узким для исследования указанных волн. Поэтому измерения продолжили на образце ОСО-4РЭ № 00198, который представлял собой параллелепипед длиной 70 см и сечением 7×7 см, закругленный со стороны двух граней (рис. 5).

В отличие от предыдущего эксперимента в этом случае из-за сравнительно большой толщины образца одновременного прихода прямых и переотраженных волн к приемнику не наблюдали даже на такой низкой частоте. Поэтому зависимость прямой волны от расстояния носит монотонный характер. В то же время обращает на себя внимание, что волна Рэлея, появившаяся на противоположной грани (кривая 2), возникает не сразу, а лишь с расстояния 30 см от зенитной точки излучателя, т. е. ее природа другая, чем соответствующей волны, наблюдаемой ранее.

Для сравнения рассмотрим характер ослабления прямой волны Рэлея, измеренный на различных образцах на частоте 0,25 МГц (рис. 6).

Исследование диаграмм направленности волн Рэлея, излучаемых ЭМА преобразователями. Представляет интерес исследование диаграмм направленности типовых ЭМА преобразователей рэлеевских волн (рис. 7). Здесь в качестве излучателя также использовали излучающий, а приемника — приемный преобразователь, направленный на центральную часть излучающего. Датчики располагали на плоской металлической поверхности на расстоянии 25 см один от другого.

Как и следовало ожидать, направленность излучения оказывается более высокой при большей рабочей частоте и ее можно оценить с помощью выражения:

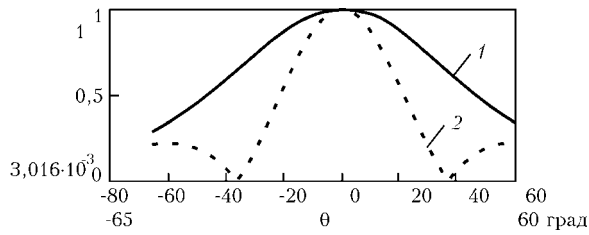


Рис. 8. Расчетная диаграмма направленности излучения волн Рэлея ЭМА преобразователями, работающими на частоте 0,25 МГц (1) и 0,5 МГц (2)

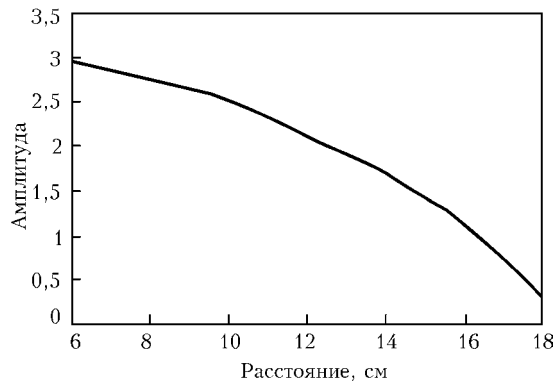


Рис. 9. Зависимость амплитуды локационного отражения волн Рэлея от цилиндрического сверления на частоте 0,5 МГц

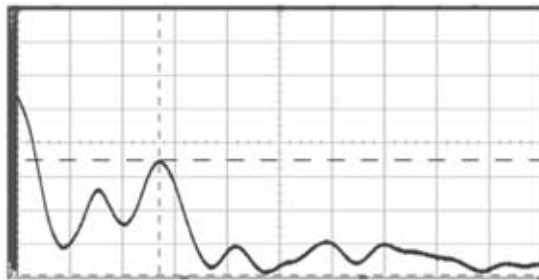


Рис. 10. Сигнал, отраженный от цилиндрического отверстия Ø 3 мм, расположенного на поверхности катания головки рельса

$$R = \frac{\sin(\omega L \sin \theta / 2c_R)}{\omega L \sin \theta / 2c_R},$$

где ω — круговая частота, $\omega = 2\pi f$; f — рабочая частота; L — длина рабочей части токопровода (у рассматриваемого преобразователя она равна примерно 10 мм); c_R — скорость волны Рэлея (в малоуглеродистой стали она соответствует 3 мм/с); θ — угол наблюдения.

На рис. 8 показаны соответствующие расчетные диаграммы направленности.

Нетрудно видеть, что в целом расчетная направленность излучения соответствует измеренной. Некоторые различия экспериментальных и расчетных кривых можно объяснить тем, что в последних принималась гипотеза о равномерном магнитном поле преобразователей, однако в действительности оно таковым не является.

Результаты измерений зависимости отражающей способности дефектов волнами Рэлея. Первые испытания проводили на рельсе, дефект представлял собой цилиндрическое сверление диаметром 3 мм и глубиной 5 мм в головке рельса.

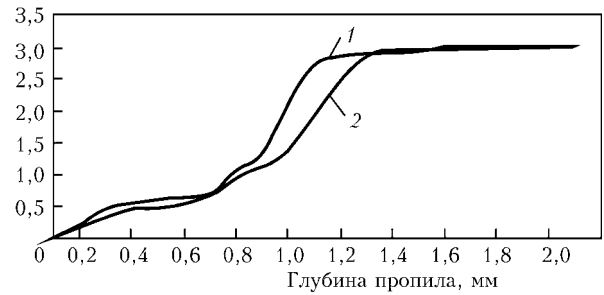


Рис. 11. Отражение рэлеевской волны от пропилов соответствующей глубины (1, 2 — номера экспериментов)

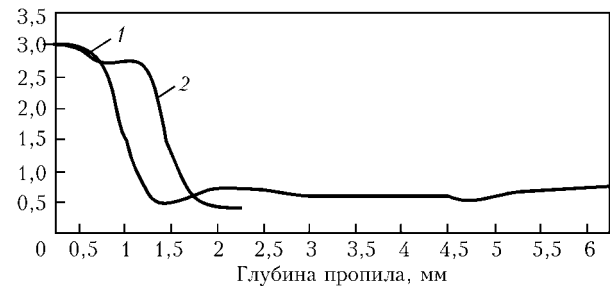


Рис. 12. Зависимость амплитуды волны, прошедшей через пропил, от его глубины (1, 2 — номера экспериментов)

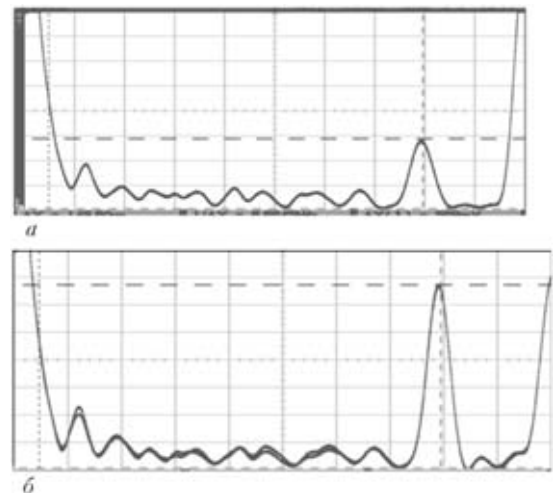


Рис. 13. Отражение рэлеевской волны от пропила глубиной 0,8 мм, расположенного на грани образца толщиной 20 мм и то же при глубине пропила 1,4 мм (б)

Измерения проводили с помощью типового ЭМА преобразователя, работающего в совмещенном режиме и нагруженного на частоту 0,5 МГц, при которой возбуждаются волны Рэлея. Результаты измерений приведены на рис. 9, 10.

Очевидно, что уменьшение амплитуды с расстоянием объясняется в основном характером рас-

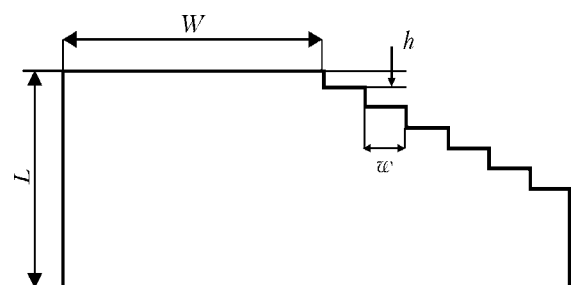


Рис. 14. Эскиз экспериментального образца

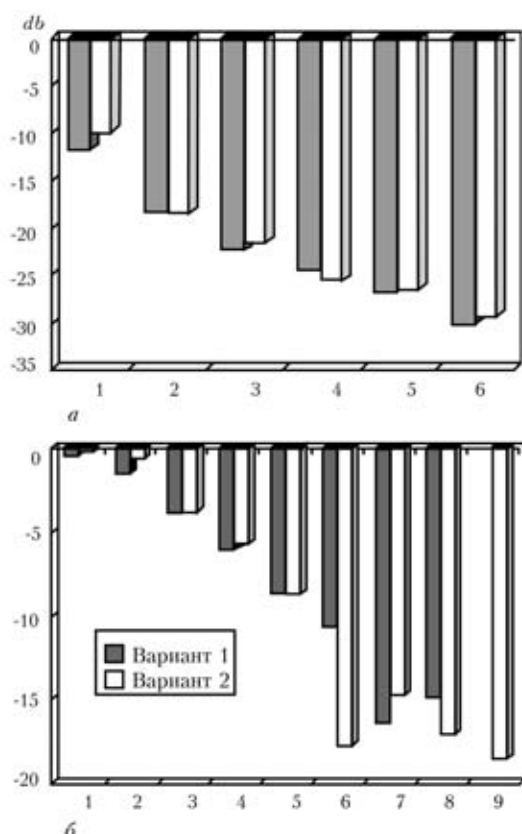


Рис. 15. Изменение сигналов, излучаемых одним преобразователем и принимаемых другим на образце № 1: на частотах 0,5 МГц (а) и 0,25 МГц (б)

сеяния от цилиндрического дефекта, чем ослаблением рэлеевской волны. Поэтому форма дефекта оказывает существенное воздействие на характер ослабления принимаемых от него сигналов, что является вполне естественным.

Далее приведены результаты измерения амплитуды отраженных и прошедших волн Рэля частотой 0,5 МГц через пропилы различной глубины, выполненные на образце шириной 20 мм и глубиной 200 мм (рис. 11).

Здесь приведены результаты двух независимых испытаний. Из эксперимента следует, что при глубине пропила, большей 1,2 мм, отражение практически перестает зависеть от его глубины.

На рис. 12 показана амплитуда сигналов, прошедших за пропилами, в зависимости от их глубин.

Различия экспериментальных данных объясняются, в первую очередь, сложностью измерения глубины пропила, особенно в области, где искомая зависимость оказывается наиболее динамичной. В целом из экспериментов видно, что увеличение пропила до глубины, большей 1,5 мм, не сказывается на амплитуде прошедшей волны. А ее проявление при значительной глубине пропила в большей степени зависит от явления огибания волны, чем от ее экранировки (рис. 13).

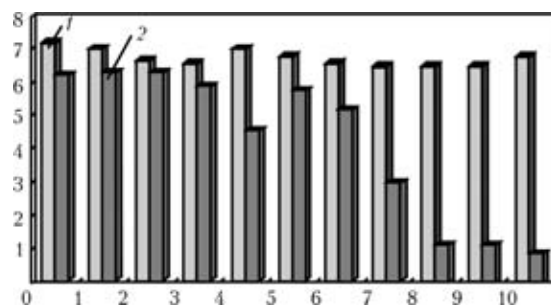


Рис. 16. Зависимость прохождения рэлеевской волны от номера ступеньки глубиной 1 мм в образце № 2: 1 — 0,25 МГц; 2 — 0,5 МГц

Из рисунков легко видеть сам характер наблюдаемых сигналов.

Исследование отражающих качеств рэлеевских волн прямоугольными дефектами. В качестве объекта исследования применяли специально изготовленные образцы, показанные на рис. 14.

Расстояние W в обоих образцах равнялось 300 мм, $w = 40$ мм, $h_1 = 3$ мм и $h_2 = 1$ мм, $L_1 = 160$ мм, $L_2 = 200$ мм, число площадок в обоих случаях было равным 10. Излучатель помещался на площадке W , а приемник последовательно на каждой из ступенчатых площадок на расстоянии 200 миллиметров между ними. Затем излучатель и приемник меняли местами. Результаты соответствующих измерений на различных частотах приведены ниже. Причем, в связи с очень большим ослаблением сигналов при работе на частоте 0,5 МГц применяется отсчет данных в децибелах относительно случая, когда приемник располагался на той же площадке, что и излучатель. Вариант 1 соответствует случаю, когда излучатель располагается на площадке W , а приемник последовательно на площадках с соответствующим номером. Вариант 2 — излучатель и приемник поменяли местами (рис. 15, 16).

Выводы

При перемене места расположения излучателей и приемников отражение рэлеевской волны существенно не изменяется, т. е. для указанной волны несущественно, отражается ли она площадкой, понижающей или повышающей нормально с глубиной. В обоих случаях это отражение оказывается примерно одним и тем же.

На частоте 0,25 МГц ослабление прошедшей волны при пересечении каждой из площадок убывает значительно меньше, чем на частоте 0,5 МГц. И это ослабление нельзя объяснить только понижением частоты в два раза. Очевидно, что оно носит резонансный характер.

1. Чабанов В. Е., Горделий В. И. Исследование волн Рэля, излучаемых электромагнитно-акустическими преобразователями / Неразрушающий контроль и диагностика материалов, конструкций и окружающей среды // Сб. докл. V Всероссийск. науч.-практ. сем. — С.-Петербург, Питер, 2004. — С. 111–123.

ПРОБЛЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ ПОХИБКИ ТА НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ В ВИПРОБУВАЛЬНІЙ ЛАБОРАТОРІЇ

Ю. К. БОНДАРЕНКО, Я. М. ФУРМАН

Приведены общие термины и их определения, используемые при измерениях и испытаниях. Проведено сравнение концепций погрешности и неопределенности измерений. Рассмотрены виды погрешности и принципы их расчета, которые учитывают при измерениях и испытаниях; проблемы, требования при внедрении стандарта DSTU ISO/IEC 17025 «Общие требования к компетентности испытательных лабораторий», действующего на территории Украины с 1 марта 2001 г. Расчет неопределенности измерения рекомендуется при определении пригодности метода к измерениям, испытаниям в аккредитованных лабораториях, а также при определении остаточного ресурса конструкций и изделий.

Given are the general terms and definitions, used in measurement and testing. A comparison is made of the concepts of error and indeterminateness of measurements. Kinds of errors and principles of their calculation are considered, which are taken into account in measurement and testing problems, as well as requirements to introduction of DSTU ISO/IEC 17025 standard VGeneral requirements to competence of testing laboratories, acting in the territory of Ukraine since March 1, 2001. Calculation of indeterminateness of measurement is recommended in determination of the method suitability for measurements, and testing in certified laboratories.

Для економіки будь-якої країни характерні такі загальні тенденції розвитку [1]: зростання вимог до точності й достовірності вимірювань, необхідних для вироблення високоякісної продукції; вимірювальна інформація супроводжує всі стадії життєвого циклу продукції (рис. 1). Це й довідкові дані про властивості матеріалів, які використовуються на стадіях проектування та виробництва продукції, вони ж визначають їхню надійність і довговічність; це й результати випробувань, які допомагають удосконалити й довести до належного рівня конструктивні та технологічні рішення; це й результати вимірювань, необхідних для ефективного управління технологічним процесом і результати контролю, з урахуванням яких приймається рішення щодо реальної якості продукції та доцільності її виготовлення.

Створення та експлуатація конструкцій, що найбільш повно відповідають своєму призначенню, економічних та надійних в експлуатації, є комплексна задача, яка складається з етапів проектування, випробування, оцінки міцності, оптимальної організації технологічного процесу виготовлення, контролю якості зварних з'єднань та діагностики стану конструкцій під час експлуатації.

Відомо, що одержання й використання недостовірних даних вимірювань призводить до порушення виробничого процесу, зниження ефективності виробництва, не виправданих економічних витрат та погіршення якості продукції.

Взаємозв'язок якості вимірювальної інформації (точність, достовірність результатів вимірювання, випробування, контролю) та якості виготовленої продукції переконливо підтверджується практикою зварювального виробництва.

Там, де добре налагоджено вимірювальну справу та використовуються сучасні досягнення метрологічної науки відповідно вищій рівень якості виробництва і технологічна ознака продукції.

Метрологічне забезпечення визначається як комплекс організаційно-технічних заходів, що забезпечують отримання та використання результатів вимірювань необхідної точності. До таких заходів, спрямованих на поліпшення якості продукції, належать [1]:

вибір номенклатури параметрів матеріалів, процесів, виробів, які підлягають оцінюванню при вимірюваннях, випробуваннях, контролі;

вибір номенклатури та числових значень показників точності й достовірності результатів вимірювань, випробувань і контролю, форми їх подання, що забезпечують оптимальне вирішення завдань, для чого й використовуються ці результати;

постійна метрологічна експертиза конструкторської та технологічної документації з метою контролю достовірності та правильності результатів двох попередніх заходів;



Рис. 1. Коло якості — стадії життєвого циклу продукції

планування процесів вимірювання, випробувань і контролю, розроблення та метрологічна атестація методик вимірювання, випробувань і контролю;

забезпечення процесів вимірювань, випробувань і контролю відповідними засобами вимірювальної техніки;

підтримання засобів вимірювальної техніки в метрологічно придатному стані;

виконання процесів вимірювань, випробувань і контролю та оброблення їхніх результатів;

навчання й підвищення метрологічної кваліфікації персоналу, який проводить вимірювання, випробування та контроль.

Законодавчою основою національної метрологічної системи є Закон «Про метрологію та метрологічну діяльність», який визначає правові основи забезпечення єдності вимірювань в Україні, регулює суспільні відносини у сфері метрологічної діяльності, спрямований на захист громадян і національної економіки від наслідків недостовірності результатів вимірювань.

Відповідно до Указу Президента України № 113/2001 від 23.02.2001 р. перед виробниками постановлено задачу покращення якості товарів, робіт та послуг, зниження виробничих затрат за рахунок застосування ефективних та результативних методів та системи керування якістю на виробництві відповідно до стандартів серії ISO 9000 та ISO 14000 з метою покращення конкурентоспроможності продукції.

Новий стандарт родини ISO 9000–2000 надає фірмам і організаціям нову модель, відому як «система менеджменту вимірювань», в цілях управління якістю продукції шляхом забезпечення ефективного використання як вимірювального обладнання, так і процесів вимірювання.

Стандарт ISO 10012:2003 «Система менеджменту вимірювань. Вимоги до вимірювальних процесів та вимірювального обладнання» замінює стандарти ISO 10012-1:1992 та ISO 10012-2:1997 [2]. З'єднавши сфери використання цих документів (обладнання та процеси) до єдиного та об'єднавши процесний підхід стандартів ISO 9000–2000, новий стандарт визначає вимоги до загальної системи управління вимірюваннями.

Стандарт буде корисним при визначенні споживачем точних характеристик продукції, в якості технічного довідника матеріалів, підкріплюючого вище згадані закони та регламенти, а також як інструмент оцінки та аудиту системи менеджменту. Однак використання цього документа при сертифікації третьою стороною не є вимогою, а питанням згоди зацікавлених сторін.

З 01.03.2002 в Україні набув чинності стандарт ДСТУ ISO/IEC 17025–2001, вимогам якого повинна відповідати випробувальна лабораторія при акредитації на міжнародному рівні (рис. 2).

У цьому стандарті зазначено необхідність розробки процедури оцінювання невизначеності вимірювання [3]. Не дивлячись на те, що в Україні на сьогодні застосовується концепція похибки, наявність указаної процедури є обов'язковою [3, 4].

Відомо, що в процесі вимірювання при НК та ТД, а також у зварювальному виробництві, можливі недоліки, які можуть викликати похибку вимірювання, внаслідок чого результат вимірювання буде відрізнятися від вимірюваної величини. Похибку розглядають як випадкову величину, що складається із двох складових — **випадкової та систематичної**.

Випадкова похибка виникає завдяки дії непередбачуваних чи стохастичних часових і просторових змін впливаючих факторів.

Випадкову похибку результату вимірювання не можна компенсувати, її можна зменшити, збільшивши число спостережень — її математичне очікування рівне нулю.

Систематична похибка виникає в результаті впливу на результат вимірювання закономірно діючих, тобто систематичних ефектів. Якщо ефект відомий, то можна визначити значення цього ефекту і внести в результат поправку для його компенсації. Однак, як правило, точне значення поправки невідоме, тому повна компенсація неможлива. Внаслідок неповної компенсації систематичної похибки результат зміщується, і це зміщення часто називають **невиключеним залишком систематичної складової похибки**.

Результат вимірювання після внесення поправок на відомі систематичні ефекти все ще є лише оцінкою значення вимірюваної величини внаслідок невизначеності, яка виникає через **випадкові ефекти і неточні поправки на систематичні ефекти** [4].

Таким чином, в широкому розумінні термін «невизначеність» означає **сумнів щодо достовірності результату вимірювання** при випробуваннях, відсутність точного знання значення вимірюваної величини (рис. 3).

Невизначеність (вимірювання) — це параметр, пов'язаний з результатом вимірювання і характеризуючий розсіювання значень, які могли б бути обгрунтовано приписані вимірюваній величині [5] при **випробуваннях конкретним методом** (рис. 3).

Оцінювання невизначеності вимірювання необхідне для визначення придатності методу до вимірювання та випробувань в лабораторії [3, 4].

Метою вимірювання є отримання оцінки значення вимірюваної величини.

Порівнюємо два підходи для вираження точності вимірювання показників продукції (табл. 1, 2).

Поняття **похибки вимірювання** як різниці між результатом вимірювання та дійсним значенням вимірюваної величини використовується для опису вимірювання в вітчизняних НД. Кажучи про оцінювання похибки, у вітчизняній метрологічній практиці, мають на увазі оцінювання її характеристик.

Поняття невизначеності вимірювання вводять для вираження **точності випробувань**.

Невизначеність вимірювання розуміють як неповне знання значення вимірюваної величини і для кількісного вираження цієї неповноти вводять розподіл ймовірностей можливих значень вимірюваної величини при випробуваннях. Таким чином, параметр цього розподілу **кількісно характеризує точність результату вимірювань**.



a



b

Рис. 2. Загальні (a) та конкретні (б) вимоги до випробувальної лабораторії згідно ДСТУ ISO/IEC 17025:2001 [7]

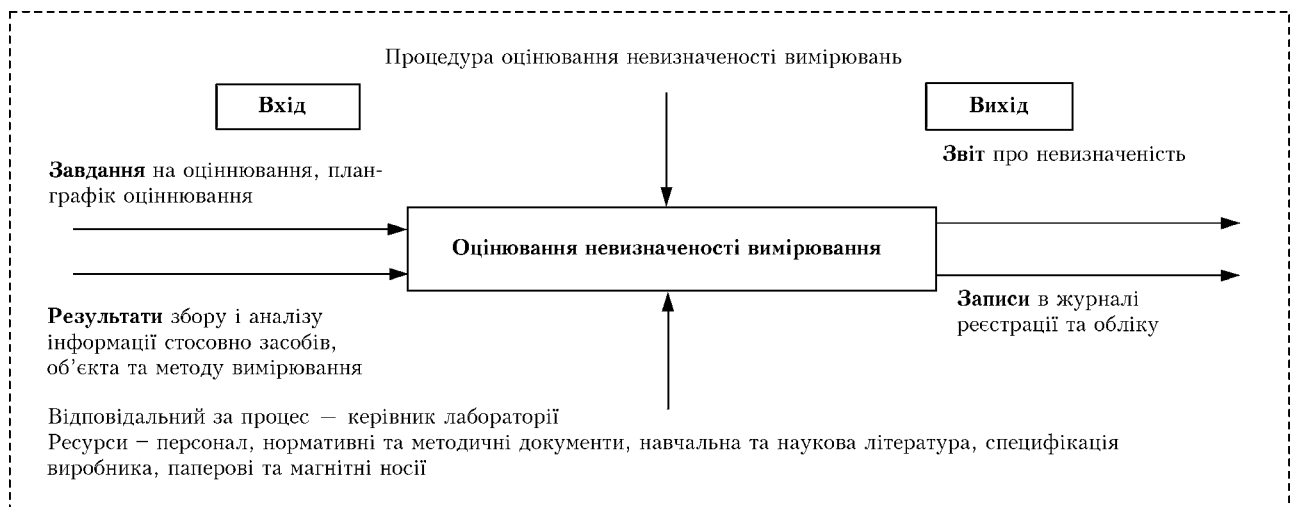


Рис. 3. Схема процедури оцінювання невизначеності вимірювання в акредитованій випробувальній лабораторії згідно ДСТУ ISO/IEC 17025:2001

Таблиця 1. Процедура оцінювання характеристик похибки результату вимірювання [6]

Похибка	$\xi = y - y_{\text{ис.т}} \Rightarrow y = y_{\text{ис.т}} + \xi$		
Модель похибки	ξ — випадкова величина з щільністю розподілу ймовірностей $p(x, E, \sigma \dots)$, E — математичне очікування; σ — дисперсія		
Характеристики похибки	S — СКВ	θ — межі невиключної систематичної похибки	Δ_p — довірчі межі
Дані для оцінки характеристик похибки	1. Модель об'єкта дослідження. 2. Експериментальні дані x_{iq} : $q = 1, \dots, n_i$; $i = 1, \dots, m$. 3. Інформація про закони розподілу. 4. Відомості про джерела похибки, їх природу і характеристики складової ($S(x_i)$, θ). Структурна модель похибки. 5. Стандартні довідкові дані та інші довідкові матеріали.		
Методи оцінювання характеристик			
1. Випадкових похибок	$S(x_{iq}) = \sqrt{\frac{1}{n_i - 1} \sum_{q=1}^{n_i} (x_{iq} - \bar{x}_i)^2}$; $S(x_i) = \sqrt{\frac{1}{n_i(n_i - 1)} \sum_{q=1}^{n_i} (x_{iq} - \bar{x}_i)^2}$; $S^2 = \sum_{i=1}^{n_i} \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 S^2(x_i)$, $\Delta_p = t_p(f_{\text{эф}})S$.		
2. Невиключних систематичних похибок	$\theta(p) = \sqrt{\kappa \sum_{i=1}^{n_i} \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 \theta_i^2}$		
3. Сумарна похибка	$\Delta_p = \frac{t_p(f_{\text{эф}})S + \theta(p)}{S + \sqrt{\sum_{i=1}^{n_i} \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 \theta_i^2 / 3}}$ $\sqrt{S^2 + \sum_{i=1}^{n_i} \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 \theta_i^2 / 3}$; де $\theta(p) = K \sqrt{\sum_{i=1}^{m_{\text{екст}}} \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 \theta_i^2}$, $K = 1,1$ при $p = 0,95$; $K = 1,4$ при $p = 0,99$; $m_{\text{екст}} > 4$, $S = \sqrt{\sum_{i=1}^{n_i} \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 S^2(x_i)}$		
Форма представлення характеристик похибки	θ_p, S, n		Δ_p
Інтерпретація отриманих результатів	Інтервал $(-\Delta_p, +\Delta_p)$ з вірогідністю p утримує похибку вимірювань, що відповідно тому, що інтервал $(y - \Delta_p, y + \Delta_p)$ з вірогідністю p утримує дійсне значення вимірюваної величини.		

Таблиця 2. Процедура розрахунку невизначеності вимірювання показників методу випробувань

Модель невизначеності	h — випадкова величина з щільністю розподілу ймовірностей $p(x, y, u^2)$; y — математичне очікування; u^2 — дисперсія		
Невизначеність (кількісна міра)	Стандартна невизначеність U	Сумарна невизначеність $u_c = \sqrt{\sum_{i=1}^{n_i} u_i^2}$	Розширена невизначеність $U_p = k u_c$
Дані для розрахунку невизначеності (попередні)	1. Модель об'єкта дослідження (наприклад, джерело живлення) 2. Експериментальні дані x_{iq} ; $q = 1, \dots, n_i$; $i = 1, \dots, m$. 3. Інформація про закони розподілу (нормальний або рівномірний) 4. Відомості про джерела невизначеності та інформація про значення невизначеності 5. Стандартні довідкові дані та інші довідкові матеріали		
Методи розрахунку невизначеності			
1. За типом А	$U_{Ai} = \frac{\sqrt{\sum_{q=1}^{n_i} (x_{iq} - \bar{x}_i)^2}}{\sqrt{n_i - 1}}, \quad U_{Ai}(x_i) = \frac{\sqrt{\sum_{q=1}^{n_i} (x_{iq} - \bar{x}_i)^2}}{\sqrt{n_i - 1}}$		
2. За типом В	$U_B(x_i) = \frac{b_i}{\sqrt{3}}$		
3. Розширена невизначеність	$U_p = t_p(v_{1\sigma}) u_c, \quad v_{1\sigma} = \frac{u_c^4}{n_i \sum_{i=1}^{n_i} \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} u(x_i) \right)^4 / v_i}, \quad u_c = \sqrt{\sum_{i=1}^{n_i} \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} u(x_i) \right)^2};$ $U_{0,95} = 2u_c, \quad U_{0,99} = 3u_c \text{ — для нормального закону;}$ $U_{0,95} = 1,65u_c, \quad U_{0,99} = 1,77u_c \text{ — для рівномірного закону}$		
Представлення невизначеності	u_c, U_p, k, u_i, v_i		
Інтерпретація отриманих результатів	Інтервал $(y - U_p, y + U_p)$ утримує велику долю (p) розподілу значень, які могли б бути приписані вимірюваній величині (y).		

Невизначеність вимірювання виражає той факт, що для даної вимірюваної величини і для даного результату її вимірювання не існує єдиного значення, а є нескінченне число значень, розсіяних навколо результату вимірювань показника (характеристики або параметра) про-

дукції, котрі узгоджуються з усіма спостереженнями і даними, а також зі знанням фізичного процесу, і котрі з різним ступенем впевненості можуть бути приписані вимірюваній величині при випробуваннях [6].

В Україні поки що недостатня кількість нормативних та методичних документів щодо невизначеності вимірювання [4, 6]. Буде доречним використовувати джерела [7, 8].

В загальному вигляді необхідний для випробувальної лабораторії документ — **процедура оцінювання невизначеності** — повинна мати такий вигляд [4, 9]:

1. Титульну сторінку;
2. Протокол ознайомлення з методикою випробувань;
3. Зміст процедури та алгоритм;
4. Мета та галузь застосування процедури;
5. Нормативні посилання;
6. Терміни та визначення;
7. Прийняті скорочення;
8. Відповідальність та повноваження;
9. Опис процесу, що включає блок-схему процесу;
10. Короткий опис процесу, порядок та форма оформлення звіту про розрахунки невизначеності;
11. Супровідні документи до процедури;
12. Додатки для розрахунку (за необхідності);
13. Лист реєстрації змін в процедурі.

Наведеної після оцінки інформації має бути достатньо для того, щоб можна було в будь-який час **перевірити рівень методики оцінювання невизначеності** та повноту врахування всіх її джерел.

При цьому необхідно вказати значення **сумарної** чи **розширеної невизначеності** разом зі значенням **рівня довіри**. Якщо вказано розширену невизначеність, то бажано навести значення коефіцієнта охоплення, за допомогою якого її розраховано.

Звіт повинен зберігатися в лабораторії весь час, протягом якого лабораторія **застосовує даний метод**, а також певний проміжок часу після останнього **випробування за даним методом**, протягом якого **замовник** може подати **рекламацію на якість виконання випробувань**.

Висновки

1. Використання вказаних в тексті стандартів буде сприяти більшій точності вимірювань. Вони покликані сприяти виконанню вимог стандарту ІСО 9001:2000 для **забезпечення відповідності продукції технічним вимогам** шляхом вимірювання її фізичних характеристик (розміру, ширини, щільності і т. д.) або інших показників. Це важливо для кожної галузі промисловості, бо сприятиме підтримці та **покращенню конкурентоздатності і якості вітчизняної продукції та визначенню залишкового ресурсу виробів та конструкцій**.

2. Персонал, який проводитиме ці роботи, повинен мати спеціальні знання в галузі метрології, теорії ймовірності та статистики. Тому в штаті лабораторії (центру) доцільно мати кваліфікованого метролога або підготовленого фахівця. Фізичні характеристики або параметри повинні бути визначені за допомогою жорстко контрольованих вимірювальних процесів.

3. Протоколи випробувань лабораторій, що пройшли акредитацію, повинні мати логотип або знак визначення Органу з акредитації в Україні, свідоцтво акредитації цієї лабораторії на технічну компетентність. Замовникам необхідно попередньо ознайомитись, на які види випробувань чи вимірювань, діапазони та невизначеності має акредитована лабораторія. Цю інформацію рекомендується отримати в **галузі акредитації лабораторій**, що підтверджена органом з акредитації. Це спрощує пошук замовниками відповідної лабораторії.

4. Звертатися для консультацій по оцінюванню невизначеності вимірювання до спеціалізованих закладів: метрологічних підрозділів територіальних органів Держспоживстандарту України чи спеціального відділу ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАН України (відділ № 31). Це може бути певною гарантією достовірності та коректності оцінок невизначеностей вимірювань, особливо, якщо взяти до уваги, що іноді для проведення оцінювання необхідні спеціальні експериментальні дослідження.

5. Всі ці вимоги відповідають законам України «Про стандартизацію», «Про метрологію», «Про акредитацію органів підтвердження відповідності».

1. Шаповал М. І. Менеджмент якості. — Київ, ТОВ «Знання», 2003. — С. 475&
2. *Ежеквартальное приложение к журналу «Стандарты и качество» ИСО 9000+ ИСО 14000+.* Новые стандарты дополняют семейство стандартов ИСО 9000. ИСО 10012:2003, «Системы менеджмента качества. Требования к измерительным процессам и измерительному оборудованию». — 2004. — Вып. 1. — С. 3.
3. *ДСТУ ISO/IEC 17025-2001.* Загальні вимоги до компетентності випробувальних лабораторій.
4. Коцюба А., Новиков В. Процедура оцінювання невизначеності вимірювання випробувальної лабораторії // Стандартизація, сертифікація, якість. — 2003. — Вып. 1. — С. 39-41.
5. Новиков В. М., Коцюба А. М. Основи розробки системи якості та вимоги до компетентності лабораторій у відповідності до ISO/IEC 17025. Обробка результатів вимірювання та невизначеності вимірювань // Основи метрології та метрологічна діяльність (Ч. 2). — Київ: 2001. — С. 210.
6. МИ 2552-99. Применение «Руководства по определению неопределенности измерений» (С.-Петербург: ВНИИМ им. Д. И. Менделеева, 1999. — 27 с.
7. Бондаренко Ю. К., Ковальчук О. В. Забезпечення якості продукції, процесів, послуг зварювального та споріднених виробництв. Вып. 1. Підтвердження компетентності випробувальної лабораторії шляхом її акредитації на відповідність вимогам стандарту ДСТУ ISO/IEC 17025-2001. — Київ: 2003. — С. 26.
8. Керівництво з вираження невизначеності у вимірюваннях. — Харків: ХДНДІМ, 2002. — 114 с.
9. Бондаренко Ю. К., Фурман Я. М. Проблемы определения ресурса сварных конструкций. — Мат. 12-й ежегодной международной конференции, 20-24 сентября 2004 г. (г. Ялта). — С. 92-99.



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



17-20 МАЯ 2005
Москва, СК Олимпийский



РАЗДЕЛЫ ВЫСТАВКИ:

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



www.primexpo.ru/ndt

Совместно с:



ЛАБОРАТОРНЫЙ КОНТРОЛЬ
В ПРОМЫШЛЕННОСТИ



ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ
И АВТОМАТИЗАЦИЯ

Организаторы:



ПРИМЭСПО

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



Российское общество
по неразрушающему
контролю и технической
диагностике

УПО
Technika
INDUSTRIAL TECHNOLOGIES
EXHIBITIONS



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

С 20 по 24 сентября 2004 г. в г. Ялта состоялась очередная ежегодная 12-я Международная конференция-выставка «Современные методы и средства неразрушающего контроля и технической диагностики». Конференция проводилась в пансионате «Дружба», ставшего очень популярным за последнее время. И только благодаря чрезвычайным усилиям, предпринятым организаторами, конференцию удалось провести в запланированные ранее сроки.

Конференция, ставшая уже традиционной, самой представительной из всех предыдущих конференций и по общему мнению участников, самой интересной. Всего в конференции приняло участие 204 человека из 116 предприятий, академических и учебных заведений, фирм, центров, представляющих практически все отрасли промышленности, основные современные направления НК и ТД, Украины, России, Белоруссии, Молдовы, Литвы.

На конференцию было представлено 101 доклад, из которых 53 было заслушано на пленарном заседании и пяти секциях. Остальные участники получили возможность выступить на «круглых столах», принять участие в многочисленных жарких обсуждениях наиболее интересных проблем.

На выставке были представлены стенды 21 предприятия и организаций, продемонстрировавших очень убедительно последние разработки, и в первую очередь, что особенно приятно отметить, украинских специалистов, а также их коллег из ближнего и дальнего зарубежья.

В рамках конференции был проведен семинар по обмену опытом между экзаменаторами системы сертификации персонала ОСП Ассоциации «Укрэксперт», в котором приняли участие многие из участников конференции, так как вопросы рассматривавшиеся на нем, касались их непосредственно.

В своем выступлении президент УОНКТД профессор В. А. Троцкий рассказал широкой общественности о работе общества в текущем году и о планах на 2005 г. Главным в его выступлении было то, что общество, его правление, все украинские специалисты по НК и ТД делают все возможное, чтобы продукция украинских предприятий была качественной и тем самым чтобы обеспечить безаварийную работу промышленного оборудования. Огромный интерес вызвал рассказ и материалы, привезенные из Монреаля, где состоялся 16-й Всемирный конгресс по НК и ТД, в работе которого приняла участие украинская делегация. Одним из важных результатов является предложение УОНКТД о проведении в ближайшее время четырех семинаров, на которых наши зарубежные коллеги расскажут о своих достижениях. Хочется при этом отметить, что, по меньшей мере, по двум из предложенных тем, касающихся фазированных решеток в УЗ контроле и лазерных систем оптического НК украинским специалистам в свою очередь тоже можно сказать много интересного.



Очень интересными были сообщения Павлия А. В., Павлия И. В., Сляднева А. М., Никоненко А. А., Гревцева М. А., Козина А. Н., Верцановой Е. В., Шабашкевича Б. Г. о своих новых разработках и новых средствах НК и ТД, которые они могут предложить украинским потребителям. В частности надо отметить новые приборы ручного контроля фирм «Ультракон» и «Диагностические приборы» (Киев), установки автоматизированного контроля, к созданию которых уверенно перешла фирма «Ультракон-сервис» (Киев), рентгеновские аппараты, автоматизированные системы рентгентелевизионного контроля, рентгеновские томографы, представленные фирмой «Индустрия-сервис» (Москва), уникальные УЗ дефектоскопы УД-4Т (УД-4С) и автоматизированная система контроля толщины тонкостенных труб малого диаметра фирмы «VOTUM» (Кишинев), целая гамма украинских радиометров фирмы «Тензор» (Черновцы) и информационно-измерительные технологии «под ключ», создаваемые НПП «Машиностроение» (Днепропетровск).

Доклад профессора Стороженко В. А., посвященный вопросам теории и практического применения тепловой диагностики, показал как недостаточно широко используются нашей промышленностью колоссальные возможности этого метода. Очень много докладов затронули вопросы НК и ТД промышленных объектов. Актуальность этой проблемы определяется тем, что большинство оборудования исчерпало свой ресурс и опасность техногенных катастроф из вопроса теоретического превратилась в практическую проблему. Из наиболее интересных выступлений следует отметить доклад Заплотинского И. А., рассмотревшего наиболее важные задачи технического диагностирования объектов котлонадзора. Неожиданно интересным оказался доклад наших российских коллег Троценко Д. А., Москвина П. В., сообщивших о разработанном ими способе прогнозирования остаточного ресурса металлоконструкций с помощью датчиков деформаций интегрального типа. Другими словами появился еще один интересный подход, который наряду с магнитной памятью, акустической эмиссией, коэрцитиметрией, голографической интерферометрией может найти широкое применение в промышленности.

Нельзя не сказать о вопросе, который в настоящее время волнует широкую общественность, в том числе



активно обсуждавшийся на конференции. Речь идет о реорганизации, проводимой Комитетом Госнадзорохрантруда Украины, касающейся проведения диагностирования объектов повышенной опасности. Здесь, по общему мнению участников, произошел перекос в направлении организационных аспектов, практически не коснувшийся научно-технического, кадрового обеспечения этой проблемы. Как мне кажется, правильное решение не может быть принято без участия авторитетных специалистов в области НК и ТД, объединяемых УОНКТД.

Много докладов было посвящено вопросам НК и ТД металлургического оборудования, что еще раз подчеркивает актуальность этой проблемы для металлургии Украины, находящейся на подъеме в последние годы. Этой теме были посвящены доклады специалистов из Днепропетровска, Донецка: *Изюмского Н. Н., Крота П. В., Малайчука В. П.* и др.

Как было сказано выше, очень активно обсуждались проблемы, связанные с обучением, подготовкой и сертификацией специалистов в соответствии с требованиями международных стандартов. С большим вниманием было заслушано сообщение *Радько В. И.* о результатах проведения международного аудита ОСП ассоциации «Укрэксперт», предложения *Хорло Н. Ф.* по устранению полученных замечаний. С обстоятельным

докладом о проблемах в капиллярном контроле выступил наш коллега из Белоруссии профессор *Мигун Н. П.*, подтвердивший тезис о том, что не всегда зарубежные стандарты истина в последней инстанции, так как наши специалисты совершенно обоснованно могут многое улучшить в их содержании практически по всем методам.

Как и на предыдущих конференциях спонсором и этой была НПФ «Диагностические приборы», руководитель *Павлий А. В.* Организаторы конференции уверены, что не все возможности еще исчерпаны. Всем предприятиям, заинтересованным в широкой рекламе на таком авторитетном мероприятии, как эта конференция, есть смысл принять участие в этом вопросе.

Успеху конференции способствовали интересные неформальные встречи, прекрасная крымская природа, отличная погода, теплая вода и многое другое. Все с большим нетерпением ждали выступления *Цечая В. А.* И он не обманул наших надежд. Мы все надеемся на продолжение автором, всеми нами горячо любимого и уважаемого, этого эпического поэтического шедевра.

До встречи в следующем году. Успехов всем Вам в работе, здоровья и счастья!

Информационное сообщение
подготовил А. Мозговой



Український
союз промисловців
і підприємців



Українська
асоціація якості



Федерація
роботодавців
України

ФОРУМ КАЧЕСТВА

Качество продукции и услуг национального производителя для любой страны мира имеет первоочередное значение в международной конкурентной борьбе и существенно влияет на формирование внешней политики и национальной безопасности, а также в значительной степени определяет уровень жизни населения.

Вопросам улучшения качества, конкурентоспособности продукции и услуг, делового совершенства предприятий был посвящен 13-й Международный форум «Дни качества в Киеве'2004», который проходил 8–12 ноября 2004 года. Форум являлся центральным мероприятием Европейской недели качества в Украине, которая проходила под девизом «Качество через многообразие».

Организовали и провели Форум Украинская ассоциация качества (УАК), Украинский союз промышленников и предпринимателей (УСПП), Государственный комитет по вопросам технического регулирования и потребительской политики (Госпотребстандарт Украины), другие государственные и общественные организации.

В этом году в работе Форума приняли участие более 450 руководителей и специалистов ведущих отечественных предприятий и организаций, которые представляли все регионы и практически все отрасли экономики Украины, а также зарубежные партнеры.

Основной акцент во время Форума был сделан на наиболее современных подходах в управлении качеством. Особенно подробно были рассмотрены вопросы внедрения Международных стандартов ISO серии 9000 и ISO серии 14000, Модели совершенства Европейского фонда управления качеством (EFQM).

Для участников Форума были дополнительно организованы:

- пред- и послефорумные школы-семинары;
- на лучших киевских предприятиях выездные семинары по теме «Современный опыт управления предприятием».

9 ноября 2004 г. на торжественной церемонии открытия Форума выступили руководители центральных органов исполнительной власти и всеукраинских общественных организаций, среди которых президент УСПП, председатель Федерации работодателей Украины Кинах А. К., заместитель председателя Госпотребстандарта Украины Тесленко И. Н., председатель Государственного комитета Украины по вопросам регуляторной политики и предпринимательства Авксентьев Ю. А., президент УАК Калита П. Я.

Генеральный секретарь Европейской организации по качеству (EOQ) Бертран Джослин де Норей прислал участникам Форума'2004 письмо-приветствие. Он от-



метил: «...главной движущей силой внедрения подходов европейского качества в Украине является Украинская ассоциация качества. УАК является также одним из лидеров общественного движения за качество в Восточной Европе в целом. Как национальный представитель ЕОQ в Украине, УАК успешно реализует в вашей стране ряд европейских проектов. Наиболее весомым из них есть сертификация и регистрация персонала в соответствии с Европейской схемой. Сегодня более чем 350 сертификатов ЕОQ по пяти квалификациям получили от УАК украинские эксперты, что подтверждает соответствие их квалификации европейским требованиям. Другими примерами совместной деятельности ЕОQ и УАК являются перевод и издание карманных справочников по менеджменту качества (УАК занимает ведущее место в Европе по их распространению), формирование делегаций от Украины для участия в ежегодных конгрессах ЕОQ и т. п. Новым совместным проектом УАК и ЕОQ является подготовка и проведение в 2005 г. в Украине 5-й Международной конференции (для стран Центральной и Восточной Европы) по вопросам, которые касаются наград по качеству. Мы очень благодарны УАК за достигнутые результаты и считаем эту организацию доказательством потенциала украинской экономики для интеграции в Европу...».

Победителей и лауреатов 9-го Украинского национального конкурса качества поздравил в своем письме генеральный секретарь EFQM Алан де Доммартин. Он также отметил, что Европейское признание стало более доступным для предприятий Украины благодаря деятельности УАК, которая является Национальной партнерской организацией EFQM и реализует ряд его проектов в Украине. Уже 15 украинских предприятий-победителей Украинского национального конкурса качества, применяя Модель совершенства EFQM, получили профессиональное признание в Европе. Только за последние два года 10 ведущих украинских компаний получили сертификат EFQM «Признания совершенства в Европе» (АОЗТ «Агро-Союз», Новоукраинский комбинат хлебопродуктов, ЗАО «Эдем», Киевский завод углекислоты, Житомирский маслозавод, Научно-производственный центр «Трансмаш», Борщивский спиртовой завод, Волчанский агрегатный завод, ОАО «Электромаш», Чаплинский маслосырзавод). Важной особенностью является то, что оценивание 9-ти из этих пред-

приятий было осуществлено непосредственно экспертами УАК, которые имеют полномочие от EFQM...».

Кульминацией Форума стала торжественная церемония награждения призеров 9-го Украинского национального конкурса качества и презентация 10-го Конкурса.

Победители 9-го Украинского национального конкурса качества:

- в номинации «*Большие предприятия*»: ОАО «Волчанский агрегатный завод» (г. Волчанск, Харьковская обл.), ОАО «Житомирский маслозавод» (г. Житомир)

- в номинации «*Малые и средние предприятия*»: ОАО «Чаплинский маслосырзавод» (пгт. Чаплинка, Херсонская обл.)

Лауреаты 9-го Украинского национального конкурса качества:

- в номинации «*Большие предприятия*»: ОАО «Электромаш» (г. Херсон), ЗАО «Научно-производственный центр «Трансмаш» (г. Луганск), Киевский коллективный завод безалкогольных напитков «Росинка» (г. Киев), ЗАО «Эрлан» (г. Подгородное, Днепропетровская обл.), ООО «Агрофирма «Писчанская» (г. Харьков);

- в номинации «*Малые и средние предприятия*»: ГП «Борщивский спиртовой завод» (г. Борщив, Тернопольская обл.), ДП «ЧПК-Фарма» ООО «ЧПК» (г. Черкасы), продовольственная компания «Экопродукт» (г. Ивано-Франковск).

Руководители предприятий, участвующих в Украинском национальном конкурсе качества отмечали его чрезвычайную полезность, престижность, высокий уровень организации, а также то, что этот Конкурс содействует существенному повышению позитивного имиджа предприятий в Украине и за границей.

10 ноября состоялось награждение победителей конкурса СМИ «Мир качества Украины: наилучшая практика для успеха», который ежегодно проводит Украинская ассоциация качества. Дипломы (грамоты) УАК, а также ценные подарки получили 15 лучших представителей СМИ, которые освещают вопросы управления качеством. Спонсором этого конкурса выступила торговая марка «НИВКИ».

*Информационное сообщение подготовила
Людмила Варшавская*



V-й Международный научно-технический семинар «Безопасность эксплуатации компрессорного оборудования, трубопроводной арматуры» 11–15 октября 2004 г., Одесса, Украина

С 11 по 15 октября Одесса принимала участников 5-го международного научно-технического семинара «Безопасность эксплуатации компрессорного и насосного оборудования, трубопроводной арматуры». Организаторами выступили ОАО «Одесский припортовый завод» и ООО «Триз», г. Сумы.

Соучредители семинара: Союз химиков Украины, г. Киев, Ассоциация промышленного арматуростроения

Украины, г. Киев. Информационное обеспечение — журналы: Компрессорная техника и пневматика, Химическая техника, Химическое и нефтегазовое машиностроение, г. Москва, Россия, Арматуростроение, г. С.-Петербург, Россия, Трубопроводная арматура и оборудование, г. Минск, Беларусь, Техническая диагностика и неразрушающий контроль, г. Киев, Мир техники и технологий, г. Харьков.



Участники семинара представляли около ста предприятий различных отраслей Украины: ОАО Концерн «СТИРОЛ», ОАО «Днепр АЗОТ», ЗАО «Промарматура», ОАО «Армапром», СМНПО им М. В. Фрунзе, России: ОАО «НАК «Азот», ОАО «ТольяттиАЗОТ», ОАО «Сандвик-МКТС», Татарстана ЗАО «Сплав-Модернизация», ЗАО «НИИТурбокомпрессор», Беларуси ОАО «ГродноАЗОТ», Германии: Burgman, Польши UTE, ANGA.

Тематика семинара охватила проблемы надежности и эффективности динамического оборудования химической промышленности («Опыт ООО «ТРИЗ» по повышению эффективности центробежного оборудования химических производств»), трубопроводной арматуры («Обеспечение качества трубопроводной арматуры и ее безопасности на стадии производства и эксплуатации» НПО «ГАКС-Армсервис»), применение новых технологий и оборудования при диагностике и ремонте оборудования («Современные средства вибрационной диагностики и балансировки роторного оборудования» «ДИАМЕХ 2000», Москва), энергосбережение и экологические аспекты («Создание турбогенераторов и тур-

боприводов на базе вихревых турбин в целях энергосбережения» СумГУ, ООО «ТРИЗ» г. Сумы).

В рамках семинара прошло заседание «круглого стола» «Теория и практика развития системы корпоративного управления в химической отрасли Украины в условиях глобализации».

Деловому настрою участников семинара способствовала хорошая погода и культурная программа.

Проведение этих семинаров уже стало традицией, тематика их, как и число участников с каждым годом растет, что способствует расширению и укреплению связей между субъектами научной, производственной и инжиниринговой деятельностью. Опыт предыдущих семинаров воплотился в практические решения проблемных вопросов надежности и эффективности динамического оборудования, с которыми сталкиваются технические службы предприятий химической отрасли.

Руководители и ведущие специалисты технических служб предприятий азотной промышленности на совещании главных механиков приняли решение о проведении очередного семинара в 2005 году в рамках международной научно-технической конференции «Гервикон-2005» в г. Сумы.



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ПРОМЫШЛЕННОСТИ РФ ВЫСОКО ОЦЕНИЛО ВЫСТАВКУ «AEROSPACE TESTING RUSSIA»

С 6 по 8 октября 2004 г. в ЦЕНТРЕ МЕЖДУНАРОДНОЙ ТОРГОВЛИ впервые прошло ключевое событие авиационно-космического сектора России — Международная выставка испытательного оборудования, систем и технологий авиационно-космической промышленности «Aerospace Testing Russia». Организатором этого мероприятия выступила ITE — выставочная компания №1 на российском рынке.

В официальной церемонии открытия выставки приняли участие начальник отдела гражданской авиационной техники Управления авиационной промышленности Федерального агентства по промышленности А. Игнатов, Президент Российского общества по неразрушающему контролю В. Ключев, Вице-президент Международного союза авиапромышленников А. Книвель, Заслуженный летчик-испытатель СССР В. Александров.

Алексей Игнатов в своем обращении к участникам и гостям отметил: «Сегодня знаменательное событие — здесь представлены передовые технологии аэрокосмической индустрии. Эта выставка показывает быстрое развитие российской авиационной промышленности с точки зрения обеспечения испытаний техники».

Росс Стоуби, Председатель Совета Директоров ITE LLC Moscow, так прокомментировал выбор тематического направления выставки: «Испытательное оборудование для аэрокосмической промышленности хорошо

представлено на ряде крупнейших международных аэрокосмических салонов. Если же обратиться к отечественному опыту, то российские события не дают исчерпывающего представления об этом сегменте».

Данное мероприятие, призванное ликвидировать дефицит информации в данной области, вызвало интерес специалистов всех секторов авиакосмической промышленности. В выставке приняли участие крупнейшие компании России, Германии, Франции, США, Израиля, Великобритании, Ирландии и других стран. Участники представили новейшие разработки и уникальные методики в области испытаний аэрокосмической техники, компонентов и подсистем. 50% экспонентов впервые продемонстрировали свою продукцию и технологии на российском рынке. Выставку посетило более 3 500 руководителей и ведущих специалистов предприятий авиакосмического сектора.

Среди участников выставок — Acra Control Ltd. (Ireland), BLM Synergie, CCS Services SA, CI Systems Ltd. (Israel), ETS Solution (USA), Heim Systems GmbH, Instnron Corporation (UK), INTERBRIDGE, KVAND, MCP Technology, National Instruments, NDT equipment, OROS, PPM Systems Oy, Prodera (France), SCAN, Schroth Safety Products, Scorpion technologies AG (Germany), Servotest (UK), Spektra Schwingungstechnik und Akustik GmbH Dresden Vauth & Sohn, Агилент Тех-



нолоджис, Амидеон, АСМ тесты и измерения, Аэротест, Елена Мур Трейдинг, Комтехавиа, Месстехник-НВМ, НИКЦИМ Точмашприбор, НПЦ Мэп Мейкер, Октава + МС, Сантек 2, Специальное конструкторское бюро испытательных машин, СОВТЕСТ АТЕ, Тесис, ФОРМ, ЦАГИ им. проф. Н. Е. Жуковского, Электрон-Сервис-Технология и другие.

Выставка Aerospace Testing Russia и предоставила ведущим российским и зарубежным специалистам уникальную возможность общения и обмена опытом.

В рамках выставки была представлена насыщенная деловая программа. Центральный аэрогидродинамический институт им. профессора Н. Е. Жуковского (ЦАГИ) провел семинар «Измерительные средства и системы для экспериментальных исследований в аэродинамике, прочности, динамике».

Другой важной составляющей программы стал семинар «Экспериментальная база ФГУП «ЦИАМ им. П. И. Баранова», организованный Государственным научным центром РФ, Центральным институтом авиационного моторостроения им. П. И. Баранова.

Также презентации и семинары по ключевым вопросам индустрии представили «Месстехник-НВМ», «Елена Мур Трейдинг», «Instron», «Brüel & Kjær», «Ling Dynamic Systems», «Rotadata», «АСМ Тесты и измерения», «Панатест НК», «SCAN».

Выставка прошла при поддержке Федерального агентства по промышленности Министерства промышленности и энергетики РФ, Российского общества по неразрушающему контролю и технической диагностике, Европейской Федерации по неразрушающему контролю, Международного Союза авиапромышленников.



Информационное сообщение
подготовлено Ю. Малининой



*Українське товариство неруйнівного контролю та технічної діагностики (УТНКТД),
Фізико-механічний інститут (ФМІ) ім. Г. В. Карпенка НАН України,
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,
Науково-виробнича фірма (НВФ) «Зонд»,
НВФ «Ультракон-сервіс» та ЦЕНТР «ЛЕОТЕСТ-МЕДІУМ»*

(організаційне бюро семінару)

проводять з 14 по 19 лютого 2005 р.

X (ювілейний) міжнародний спеціалізований робочий науково-технічний семінар-нараду

ЛЕОТЕСТ — 2005 ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ТА АКУСТИЧНІ МЕТОДИ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ МАТЕРІАЛІВ ТА ВИРОБІВ

ТЕМАТИКА СЕМІНАРУ-НАРАДИ

- теорія і практика електромагнітних та акустичних методів неруйнівного контролю матеріалів та виробів;
- діагностичні аспекти застосування електромагнітних та акустичних методів контролю відповідальних конструкцій в експлуатації;
- електромагнітні та акустичні первинні перетворювачі та методи обробки сигналів, питання метрологічного забезпечення в електромагнітних та акустичних методах контролю;
- автоматичні системи та прилади контролю якості виробів;
- науково-організаційні та економічні проблеми, питання акредитації лабораторій, сертифікації продукції, підготовки та атестації персоналу з електромагнітного та акустичного контролю.

МІСЦЕ ПРОВЕДЕННЯ

Сел. Славське Львівської області, пансіонат «Бойківщина», вул. І. Франка, 61 А.

Сел. Славське — відомий зимовий гірськолижний курорт, розташований в Карпатах на відстані 130 км від Львова. Славське — залізнична станція на трасі Харків–Київ–Львів–Стрий–Славське–Ужгород–Прага (Будапешт, Белград).

ОПЛАТА ЗА УЧАСТЬ

Оргвнесок (за довідками звертатись до організаторів) перераховувати в гривнях відповідно до умовних одиниць (ЄВРО по курсу Нацбанку України на день оплати) на рахунок Центру «ЛЕОТЕСТ-МЕДІУМ» № 26008010551 в Першій Львівській філії (ПЛФ) АТ «Кредит Банк (Україна)», МФО 325365, ідентифікаційний код 30162879 (з обов'язковою вказівкою в платіжному дорученні — за інформаційне обслуговування на семінарі-наradі Леотест-2005, вказати прізвище).

ДОВІДКИ

Телефон — (0322) 75-08-69 (Учанін Валентин Миколайович) або 65-41-66 (Ірина Іванівна Кириченко).

Телефон та факс в вихідні дні та вечірній час — (0322) 75-08-69. E-mail: leotest@org.lviv.net або ostash@ipm.lviv.ua

**Оргкомітет ЛЕОТЕСТ-2005 — ЦЕНТР «ЛЕОТЕСТ-МЕДІУМ»
(79017 Львів, вул. Генерала Грицяя, 11-5)**



НАШИ ПОЗДРАВЛЕНИЯ!



Исполнилось 70 лет *Криничному Петру Яковлевичу* — главному специалисту отдела разработки средств и методик неразрушающего контроля Научно-производственной фирмы «Зонд» (г. Ивано-Франковск).

П. Я. Криничный — специалист с широким кругом научных и практических интересов, основанных на предельно ясном понимании глубин-

ной сути и единства совершенно разнородных на первый взгляд физических явлений, используемых в неразрушающем контроле и технической диагностике.

Эти черты, в сочетании с педагогическими и организаторскими способностями, талантом ученого, стоявшего у истоков новой отрасли — неразрушающего контроля нефтегазового оборудования — сделали его ведущим специалистом, воспитавшим не одно поколение известных ученых.

Петр Яковлевич родился 9 июля 1934 г. После окончания в 1958 г. радиотехнического факультета Львовского политехнического университета работал в Йошкар-Оле, а с 1961 г. работает в Ивано-Франковске — сначала в ЦНИЛ объединения «Укрнефть», затем — в Ивано-Франковском отделении ВНИИТнефть, Ивано-Франковском институте (сейчас — Национальный технический университет) нефти и газа, и в настоящее время — в НПФ «Зонд». Им совместно с сотрудниками указанных организаций выполнено огромное количество экспериментальных и теоретических работ, сыгравших значительную роль в развитии ультразвукового контроля. Эти исследования послужили основой для

решения важных задач по созданию ряда средств дефектоскопии, которые были внедрены на предприятиях нефтегазового комплекса Украины, России и других стран ближнего и дальнего зарубежья. При его непосредственном участии разработаны установки типа «Зонд», ряд передвижных лабораторий неразрушающего контроля (серии ПКДЛ и ПЛНК), комплексные стационарные установки типа БУР и СОТ-1, приборы для непрерывного измерения толщины, оценки коррозионного износа и т. д.

П. Я. Криничным опубликовано более 100 научных трудов, из них свыше 20 изобретений. В 2001 г. П. Я. Криничный был включен в состав авторов работы, выдвигавшейся на соискание Государственной премии Украины.

В течение многих лет одновременно с основной научной работой Петр Яковлевич активно помогал талантливой молодежи — невозможно перечислить всех его учеников, которые защитили кандидатские и докторские диссертации, однако считают его своим руководителем и наставником.

У Петра Яковлевича Криничного органически сочетаются черты ученого, человека и гражданина. Его ум, человеческое обаяние и неизменная доброжелательность в сочетании с принципиальностью неизменно привлекают к нему людей и вызывают глубокое уважение.

Коллеги, друзья, ученики, а также редколлегия и редакция журнала «Техническая диагностика и неразрушающий контроль» сердечно поздравляют Петра Яковлевича со славным юбилеем и от всей души желают ему здоровья, бодрости и новых успехов.



НОВАЯ КНИГА

Білокур І. П. Основи дефектоскопії: Навч. посібник. — Київ: Азимут-Україна, 2004. — 552 с.

Спонсором издания является ООО НПФ «Диагностические приборы»

Этот учебник является первой в Украине книгой, в которой дается обобщенное и систематическое изложение учебных материалов по видам и методам неразрушающего контроля.

В учебнике изложены физические основы и методы неразрушающего контроля с использованием ионизирующего излучения, электрических, магнитных, электромагнитных, тепловых и радиоволновых полей, а также проникающих веществ. Значительное внимание уделяется физике процессов взаимодействия физических полей и веществ с материалом объекта контроля, а также раскрытию взаимосвязи между изменением свойств материалов и изменением параметров физических полей. Приведены сведения о методах контроля и диагностирования, которые широко применяются в машиностроении. В основу учебника заложен соответствующий курс лекций, которые читались автором в Национальном техническом университете Украины КПИ, Национальном авиационном университете, Межотраслевом учебном центре ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ, в научно-техническом центре НК, а также опыт изучения работы учебных и аттестационных центров, научно-исследовательских и производственных организаций, где проводится подготовка специалистов согласно Европейским требованиям ДСТУ EN473 и решаются вопросы по НК, технической диагностике и выполнению специальных технологических процессов в этих направлениях. Рассчитан на студентов и специалистов, которые изучают физические методы контроля качества и диагностики технических объектов.

По вопросам приобретения книги обращайтесь в компанию «Диагностические приборы»:

г. Киев, ул. Дорогожицкая, 1, оф. 404. Для писем: а/я 50, Киев-50, 04050.

Тел./факс: (044) 247-67-18. Интернет: support@ndt-ua.com, <http://www.ndt-ua.com>



КАЛЕНДАРЬ КОНФЕРЕНЦИЙ И ВЫСТАВОК ПО НЕРАЗРУШАЮЩЕМУ КОНТРОЛЮ НА 2005 г.

ФЕВРАЛЬ

14–19: 10-й Международный специализированный рабочий научно-технический семинар-совещание «ЛЕОТЕСТ-2005. Электромагнитные и акустические методы неразрушающего контроля материалов и изделий». Пос. Славское, Львовской обл. *Основной организатор:* Центр «Леотест-Медиум».

Информация: т./ф. (+380 322) 75-08-69,
e-mail: leotest@org.lviv.net, www.usndt.com.ua

МАРТ

14–18: 14th Annual Research Symposium, Hyatt Tamaya Resort, Albuquerque, New Mexico, USA. *Organizer:* The American Society for NDT.

Information: www.asnt.org

АПРЕЛЬ

5–7: Международная выставка по контролю в авиационно-космической отрасли AEROSPACE TESTING EXPO 2005 и технологические форумы в рамках выставки. Гамбург, Германия.

Информация: www.aerospacefesting-expo.com

9–16: Выставка и конференция по неразрушающему контролю. Лондон, Великобритания. *Организатор:* ФГУП ЦНИИТМаш (ГНЦ РФ по технологии машиностроения).

Информация: т./ф. (095) 275-85-33, e-mail: rimai@umal.ru

12–14: Выставка по контролю материалов «Materials Testing – 2005», Деловой центр. Лондон, Англия. *Организатор:* Британский институт неразрушающего контроля.

Информация: mt2005@bindt.org, www.materialstesting.org

19–22: 8-я Конференция-выставка «Неразрушающий контроль — 2003». Киев, Украина. *Основной организатор:* Ассоциация «ОКО».

Информация: т./ф. (+380 44) 531-37-27,
e-mail: ndt@carrier.kiev.ua, www.ndt.com.ua

МАЙ

30.04–7.05: Научно-практическая конференция «Организация неразрушающего контроля качества продукции в промышленности». Анталия, Турция. *Основной организатор:* НПФ «Диагностические приборы».

Информация: т./ф. (+380 44) 247-67-18,
e-mail: kozin@ndt-ua.com, www.ndt-ua.com

17–20: 4-я Международная специализированная выставка приборов и оборудования для неразрушающего контроля и технической диагностики в промышленности — NDT Russia, СК «Олимпийский». Москва, Россия.

Организаторы: Российское общество НК и ТД, ПРИМЭКСПО. Санкт-Петербург, компания ITE Group PLC (Лондон).

Информация: e-mail: ndt@primexpo.ru,
www.primexpo.ru

ИЮНЬ

1–4: International Chemical and Petroleum Industry Inspection Technology (ICPIIT) IX Conference, Hyatt Regency Houston Airport, Houston, Texas, USA. *Organizer:* The American Society for Nondestructive Testing.

Information: www.asnt.org

20–24: The Third U.S.-Japan Symposium on Advancing Application and Capabilities in NDE, Maui Prince Hotel, Maui, Hawaii, USA. *Organizer:* The American Society for Nondestructive Testing.

Information: www.asnt.org

20–25: Шестой Международный проект «СУЗІР'Я–2005». Киев, Украина. *Организаторы:* Украинская ассоциация качества, Европейский фонд управления качеством.

Информация: т./ф. (044) 252-59-28, 252-36-01,
e-mail: ntz@quality.kiev.ua

СЕНТЯБРЬ

1–3: The 8-th International Conference «Application of Contemporary NDT in Engineering», Hotel Metropol. Portoroz, Slovenia. *Organizer:* The Slovenian Society for NDT American Society for Nondestructive Testing.

Information: e-mail: ndt-portoroz@fs.uni-lj.si,
www.fs.uni-lj.si/ndt-portoroz/info

6–9: 17-я Всероссийская научно-техническая конференция и выставка «Неразрушающий контроль и диагностика». Екатеринбург, Россия. *Организаторы:* Российское общество НК и ТД, ПРИМЭКСПО (Санкт-Петербург).

Информация: e-mail: ndt@primexpo.ru, www.primexpo.ru/ndt

ОКТЯБРЬ

10–12: 3-rd Workshop «NDT in Progress», International Meeting of NDT Experts, Prague, Czech Republic. *Organizers:* Czech Society for NDT, German Society for NDT.

Information: e-mail: cndt@cndt.cz, www.cndt.cz

17–21: ASNT Fall Conference and Quality Testing Show 2005, Hyatt Regency & Columbus Convention Center. Columbus, Ohio, USA. *Organizer:* The American Society for Nondestructive Testing.

Information: www.asnt.org



Уважаемые коллеги!

Ассоциация технологов-машиностроителей Украины в 2005 г. проводит:

22–24 февраля 2005 г.

5-й Международный научно-технический семинар «СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА, ЗАГОТОВИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА, ОБРАБОТКИ И СБОРКИ В МАШИНОСТРОЕНИИ И ПРИБОРОСТРОЕНИИ» (M05-1) (г. Свалява, Карпаты)

Тематика семинара

- Современные тенденции развития технологий машино- и приборостроения
- Управление и маркетинг в машино- и приборостроении
- Подготовка производства как основа создания конкурентоспособной продукции
- Состояние и перспективы развития заготовительного производства
- Совершенствование технологий механической и физико-технической обработки
- Современные технологии и оборудование в сборочном производстве
- Информационные технологии и компьютеризация в машино- и приборостроении
- Технологическое управление качеством и эксплуатационными свойствами изделий
- Технический контроль и диагностика в машино- и приборостроении
- Экологические проблемы и их решения в современном производстве

17–18 мая 2005 г.

(в рамках XIII-й Международной выставки «Машиностроение/Металлургия 2004»)
**7-й Международный научно-технический семинар
«ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ» (M05-2) (г. Запорожье)**

Тематика семинара

- Технологии ускоренного прототипирования и изготовления деталей
- Современные инструменты, процессы обработки и сборки в машиностроении
- Технологии финишной микрообработки
- Оборудование и технологическая оснастка
- Информационные технологии в машиностроении

24–26 мая 2005 г.

**5-ю Международную научно-техническую конференцию
«ИНЖЕНЕРИЯ ПОВЕРХНОСТИ И РЕНОВАЦИЯ ИЗДЕЛИЙ» (M05-3) (г. Ялта, Крым)**

Тематика конференции

- Научные основы инженерии поверхности: материаловедение; физико-химическая механика материалов; физико-химия контактного взаимодействия; износ- и коррозионная стойкость, прочность поверхностного слоя; функциональные покрытия и поверхности
- Технологическое управление качеством и эксплуатационными свойствами деталей машин
- Технология ремонта машин, восстановления и упрочнения деталей
- Метрологическое обеспечение ремонтного производства
- Экология ремонтно-восстановительных работ

27–29 сентября 2005 г.

**5-ю Международную научно-практическую конференцию с действующими семинарами
«КАЧЕСТВО, СТАНДАРТИЗАЦИЯ, КОНТРОЛЬ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА («КСК-5 2005») (г. Ялта, Крым)**

Тематика конференции

- Законодательное и нормативно-техническое обеспечение работ по метрологии, стандартизации, качеству
- Всеобщее руководство качеством (TQM)
- Международные стандарты серии ISO 9000, 14000 системы управления качеством и окружающей средой: теория и практика
- Информационные технологии в управлении качеством и окружающей средой
- Основные аспекты стандартизации и сертификации в машиностроительной, приборостроительной, авиационной, оборонной и других отраслях промышленности
- Стандартизация банковской, финансовой и страховой деятельности
- Классификация, кодирование, идентификация, кодификация
- Метрологическое обеспечение и контроль
- Экологически чистые технологии и оборудование
- Проблемы подготовки и переподготовки кадров

По вопросам участия в мероприятиях обращаться: 04074, г. Киев, ул. Автозаводская, 2. АТМ Украины. Тел. / факс: +38-044-430-85-00. E-mail: atmu@ism.kiev.ua; atmu@atmu.freenet.kiev.ua



Учебные программы на 2005 г.

Шифр курса	Наименование программы		Продолжи- тельность	Сроки проведения
1. Повышение квалификации инженерно-технических работников (с аттестацией на право технического руководства работами при изготовлении ответственных сварных конструкций в т.ч. подведомственных государственным надзорным органам)				
101	Техническое руководство сварочными работами на объек- тах, за которыми осуществляется государственный надзор (руководители сварочных работ):	подготовка и аттестация	3 недели (112 ч)	февраль, октябрь
102		переаттестация	24 ч	
103	Руководство сварочно-монтажными работами при строи- тельстве и ремонте газопроводов из полимерных материа- лов:	подготовка и аттестация	2 недели (72 ч)	март, май, июнь, октябрь
104		переаттестация	1 неделя (32 ч)	
105	Подготовка и аттестация председателей комиссий по аттестации сварщиков - экспертов Украинского аттестационного комитета сварщиков (УАКС)		3 недели (112 ч)	сентябрь
106	Подготовка членов комиссии по аттестации сварщиков:	специалистов технологических служб, отвечающих за организацию аттестации сварщиков	2 недели (72 ч)	июнь, декабрь
107		специалистов служб технического контроля, отвечающих за контроль сварных соединений (включая специальную подготовку к аттестации по визуально-оптическому методу контроля)	2 недели (70 ч)	февраль, апрель, июнь, июль, сентябрь, декабрь
108		специалистов служб охраны труда предприятий	2 недели (72 ч)	июль
109	Подтверждение полномочий, расширение допусков пред- седателей комиссий - экспертов УАКС со стажем:		3 года	по согласованию с УАКС
110			6 лет	
111			9 лет	
114	Подтверждение полномочий, расширение допусков членов комиссии по аттестации сварщиков:	специалистов технологиче- ских служб по сварке со стажем:	3 года	май, октябрь
115			6 лет	апрель, июнь, сентябрь
116			9 лет	май, октябрь
117		специалистов по техническому контролю	24 ч	апрель, июнь, ноябрь
118		специалистов по охране труда	24 ч	январь, апрель, май, ноябрь
119	Технология и организация производства сварочных электродов		3 недели (112 ч)	июнь
120	Профессиональная подготовка и аттестация специалистов по металлографическим исследованиям (исследование макро- и микроструктур, измерение твердости, выявление межкристаллитной коррозии и определение ферритной фазы)		2 недели (72 ч)	февраль, октябрь
121	Переподготовка специалистов сварочного производства по программам Международного института сварки (с выдачей международного диплома):	Международный инженер по сварке	72 и 444 ч ¹	март, октябрь
123		Международный технолог по сварке	72 и 340 ч ¹	
125		Международный специалист по сварке	56 и 222 ч ¹	
127		Международный практик по сварке	32 и 146 ч ¹	март, декабрь
133		Международный инспектор по сварке	от 42 до 218 ч ¹	
136	Подготовка менеджеров по управлению качеством в сварочном производстве (с выдачей европей-ского сертификата)		2 недели (72 ч)	март, декабрь
137	Организация неразрушающего контроля на предприятиях железнодорожного транспорта		2 недели (72 ч)	январь, май, декабрь
138	Техническое руководство сварочными работами при ремонте действующих трубопроводов (под давлением)		2 недели (72 ч)	по согласованию с заказчиком
139	Физико-механические испытания материалов и сварных соединений:	повышение квалификации и аттестация	2 недели (72 ч)	март
140		переаттестация	24 ч	октябрь
141	Эмиссионный спектральный анализ (стилюскопирование) металлов и сплавов:	аттестация	2 недели (76 ч)	по согласованию с заказчиком
142		переаттестация	14 ч	
Тематические семинары (возможно проведение у заказчика)				
144	Международные и национальные стандарты в области сварочного производства и их отечественные аналоги		2 дня	в течение года
145	Современное сварочное оборудование на рынке Украины		2 дня	
146	Новые технологии профессиональной подготовки сварщиков и дефектоскопистов		1 день	

2. Подготовка и повышение квалификации инструкторов и преподавателей по сварке для системы профессионально-технического обучения

201	Подготовка, повышение квалификации инструкторов по сварке и родственным технологиям	5 недель (192 ч)	май, ноябрь
202	Повышение квалификации преподавателей специальных дисциплин по сварке и родственным технологиям	3 недели (112 ч)	

3. Профессиональная подготовка, переподготовка и повышение квалификации персонала в области сварки и родственных технологий

(с присвоением квалификации в соответствии с национальными и международными требованиями)

Подготовка сварщиков:				
301	ручной дуговой сварки покрытыми электродами	9 недель (352 ч)	индивидуальное обучение по согласованию с заказчиком	
302	ручной дуговой сварки неплавящимся металлическим электродом в инертных газах (ТИГ)	5 недель (192 ч)		
303	газовой сварки	3 недели (112 ч)		
304	механизированной дуговой сварки плавящимся металлическим электродом в защитных газах (МИГ/МАГ)	3 недели (112 ч)		
305	механизированной дуговой сварки порошковой проволокой	3 недели (112 ч)	март, сентябрь	
306	автоматической дуговой сварки под флюсом	3 недели (112 ч)	апрель, октябрь	
307	электрошлаковой сварки	3 недели (112 ч)	май, ноябрь	
308	контактной (прессовой) сварки (рельсов, промышленных и магистральных нефте- и газопроводов)	3 недели (112 ч)	июнь, декабрь	
309	пластмасс (сварка трубопроводов из полимерных материалов)	5 недель (192 ч)	январь, апрель, июнь, июль, сентябрь, ноябрь	
310	по программам Международного института сварки с присвоением квалификации Международный сварщик	5 – 12 недель ¹	по согласованию с заказчиком	
311	Специальная подготовка по технологии и оборудованию контактной сварки арматуры	2 недели (72 ч)	индивидуальное обучение по согласованию с заказчиком	
Повышение квалификации сварщиков:				
312	ручной дуговой сварки покрытыми электродами	2 недели (72 ч)		
313	ручной дуговой сварки неплавящимся металлическим электродом в инертных газах (ТИГ)	2 недели (72 ч)		
314	газовой сварки	2 недели (72 ч)		
315	механизированной дуговой сварки плавящимся металлическим электродом в защитных газах (МИГ/МАГ)	2 недели (72 ч)		
316	механизированной дуговой сварки порошковой проволокой	2 недели (72 ч)		
317	автоматической дуговой сварки под флюсом	2 недели (72 ч)		
318	электрошлаковой сварки	2 недели (72 ч)		
319	контактной (прессовой) сварки (рельсов, промышленных и магистральных нефте- и газопроводов)	1 неделя (36 ч)		
320	пластмасс (сварка трубопроводов из полимерных материалов)	2 недели (72 ч)		
321	Повышение квалификации газосварщиков (газовая пайка цветных металлов)	32 ч		
Переподготовка сварщиков:				
323	ручной дуговой сварки покрытыми электродами	2 - 4 недели		
324	ручной дуговой сварки неплавящимся металлическим электродом в инертных газах (ТИГ)	2 - 3 недели		
325	газовой сварки	2 недели		
326	механизированной дуговой сварки плавящимся металлическим электродом в защитных газах (МИГ/МАГ)	1 - 2 недели		
327	механизированной дуговой сварки порошковой проволокой	1 - 2 недели		
328	автоматической дуговой сварки под флюсом	1 - 2 недели		
329	электрошлаковой сварки	1 - 2 недели		
330	по программам Международного института сварки с присвоением квалификации Международный сварщик	5 – 8 недель ¹		
Подготовка, переподготовка и повышение квалификации дефектоскопистов				
334	Подготовка дефектоскопистов:	ультразвукового контроля	196 ч	февраль, октябрь
335		рентгеновского и гамма контроля	188 ч	
336		магнитного контроля	172 ч	апрель, ноябрь
337		газового и жидкостного контроля	172 ч	
338	Переподготовка дефектоскопистов:	ультразвукового контроля	184 ч	февраль, июнь, октябрь
339		рентгеновского и гамма контроля	156 ч	
340		магнитного контроля	152 ч	апрель, ноябрь
341		газового и жидкостного контроля	144 ч	
342	Повышение квалификации	ультразвукового контроля	от 104 до 128 ч ⁴	февраль, июнь, октябрь

343	дефектоскопистов:	рентгеновского и гамма контроля	от 104 до 168 ч ⁴	апрель, ноябрь
344		магнитного контроля	от 108 до 132 ч ⁴	
345		газового и жидкостного контроля	от 76 до 132 ч ⁴	
347	Целевая подготовка дефектоскопистов ультразвукового контроля колесных пар вагонов		от 36 до 160 ч ⁴	по согласованию с заказчиком
346	Подготовка контролеров сварочных работ		от 76 до 116 ч ⁴	февраль, сентябрь
Другие профессии				
351	Подготовка газорезчиков:	газовой резки	3 недели (112 ч)	июль, ноябрь
352		ручной и механизированной воздушно-плазменной резки	3 недели (112 ч)	январь, июль
353	Подготовка металлизаторов по нанесению упрочняющих и защитных покрытий на металлы		5 недель (196 ч)	март
354	Специальная подготовка по поверхностной закалке колесных пар на установках высокотемпературной закалки (повышение квалификации термистов)		3 недели (112 ч)	по согласованию с заказчиком

4. Аттестация персонала сварочного производства

(в соответствии с национальными и международными нормами и стандартами)

401	Специальная подготовка и аттестация сварщиков в соответствии с ДСТУ 2944-94, ДСТУ 2945-94, правилами Госнадзорохрантруда (ДНАОП 0.00-1.16-96), правилами Госатомнадзора (ПНАЭГ-7-003-87)		от 72 до 152 ч ²	1-2 неделя месяца 3-4 неделя месяца
403	Дополнительная аттестация сварщиков согласно ДНАОП 0.00-1.16-96		24 ч	по согласованию с заказчиком
405	Периодическая аттестация сварщиков в соответствии с правилами Госнадзорохрантруда (ДНАОП 0.00-1.16-96), правилами Госатомнадзора (ПНАЭГ-7-003-87)		32 ч	еженедельно
406	Подготовка и аттестация сварщиков в соответствии с международными стандартами ISO 9606 и EN 287		2 недели (72 ч)	1-2 неделя месяца 3-4 неделя месяца
407	Периодическая аттестация сварщиков в соответствии с международными и европейскими стандартами ISO 9606 и EN 287		32 ч	еженедельно
408	Подготовка и аттестация сварщиков в соответствии с международным стандартом ISO 14732 (операторы автоматических установок дуговой сварки плавлением / операторы контактной точечной сварки)		2 недели (72 ч)	по согласованию с заказчиком
409	Аттестация сварщиков на право выполнения работ при ремонте действующих магистральных трубопроводов (под давлением)		3 недели (112 ч)	
410	Периодическая аттестация сварщиков на право выполнения работ при ремонте действующих магистральных трубопроводов (под давлением)		32 ч	
411	Квалификационная аттестация сварщиков на машинах контактной (прессовой) сварки (рельсов, промысловых и магистральных нефте- и газопроводов)		24 ч	
412	Квалификационная аттестация газорезчиков ручной и механизированной воздушно-плазменной резки		24 ч	
413	Аттестация сварщиков пластмасс (сварка трубопроводов из полимерных материалов)		проводится по окончании курса 309	
414	Периодическая аттестация сварщиков пластмасс (сварка трубопроводов из полимерных материалов)		32 ч	в течение года
415	Специальная подготовка дефектоскопистов к аттестации в соответствии с ДНАОП 0.00-1.27-97:	ультразвуковой контроль	от 24 до 140 ч ³	по согласованию с заказчиком
420		радиационный контроль		
425		магнитный контроль	от 24 до 110 ч ³	
430		капиллярный контроль		
435		визуально-оптический контроль	от 24 до 70 ч ³	

¹ - Продолжительность обучения устанавливается Уполномоченным Национальным органом (УНО).

² - Продолжительность подготовки устанавливается аттестационной комиссией.

³ - Продолжительность обучения указывается в направлении ОСП (орган по сертификации персонала).

⁴ - Продолжительность обучения зависит от квалификации слушателя.

По просьбе заказчиков возможно проведение обучения в другие сроки или по другим программам, не вошедшим в данный перечень, а также на территории заказчика.

На период обучения слушателям предоставляется общежитие с оплатой за наличный расчет.

Стоимость обучения определяется при заключении договора.

Для приема на обучение необходимо направить заявку в адрес Центра с указанием шифра курса, количества специалистов и почтовых реквизитов предприятия.

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

Тел. (+380 44) 456-63-30, 456-10-74, 261-54-62, 261-51-09, Факс (+380 44) 456-48-94

E-mail: paton-tc@paton.kiev.ua, http: www.paton-tc.kiev.ua



МОНИТОРИНГ И ДИАГНОСТИКА РОТОРНЫХ МАШИН ПО ВИБРАЦИИ

В. Г. АТАМАНЮК, В. П. ЛЯНЗБЕРГ



фирма

**«Сервис
технологических
машин»**

Производит приборы контроля технического состояния оборудования по вибрации.

Анализатор спектра вибрации 795M

прибор для измерения параметров вибрации, балансировки, ремонта и наладки механизмов роторного типа

Применение

- Контроль текущего технического состояния электродвигателей, компрессоров, насосов, вентиляторов, редукторов и т.д.
- Контроль текущего технического состояния подшипников качения и скольжения
- Динамическая балансировка роторов в собственных опорах
- Решение задач по оперативной наладке в процессе эксплуатации и обслуживания
- Контроль качества выполнения ремонтных и наладочных работ

Выполняем работы

- Техническая диагностика (вибрационное обследование) ответственного технологического оборудования предприятий
- Сервисное обслуживание, ремонт и наладка турбокомпрессоров, насосов, вентиляторов, редукторов и т. д.
- Балансировка роторов в собственных опорах на эксплуатационных режимах

Тел./факс: (0512) 24 31 97
e-mail: stm@aip.mk.ua
<http://www.stmnik.narod.ru>

Идеальная машина не должна создавать механических колебаний, так как вся энергия должна превращаться в полезную работу. На практике при работе любых механических и электромагнитных систем возникают колебания, вызванные остаточным дисбалансом, расцентровкой, отклонениями в элементах зацепления, зазорами и т. д., что приводит к рассеиванию энергии в виде механических колебаний. Поэтому вибрация — один из самых информативных параметров, который может быть применен для контроля текущего технического состояния механизмов роторного типа без их разборки в процессе изготовления (испытаний), эксплуатации, ремонта и наладки.

Мы уже привыкли к тому, что контролируем состояние двигателей внутреннего сгорания по давлению, температуре, расходу масла, компрессии и т. д., т. е. по определенным диагностическим признакам и только после этого принимаем решение об их техническом состоянии, производстве определенных наладочных или ремонтных работ.

Для механизмов роторного типа (турбин, турбокомпрессоров, электродвигателей, генераторов, насосов, вентиляторов и т. д.) основными источниками диагностической информации, характеризующими текущее техническое состояние механизмов являются сигналы вибрации. Обусловлено это тем, что вибрация, являясь следствием взаимодействия различных сил в самом механизме, несет в себе информацию о состоянии как механизма в целом, так и его отдельных кинематических связей, узлов и деталей. При этом теория и практика анализа вибросигналов к настоящему времени столь отработана, что можно получить достоверную информацию практически по любому дефекту монтажа, изготовления или износа.

При появлении каких либо факторов, вызывающих отклонения от нормального состояния механизма, мы наблюдаем реакцию на их воздействия по изменению соответствующих вибрационных параметров, которые в силу своей высокой чувствительности отражают происходящие с механизмом перемены.

На базе контроля и анализа соответствующих вибрационных параметров решаются две основные задачи технической диагностики:

мониторинг — распознавание текущего технического состояния механизма;

диагностика — выявление причин и условий, вызывающих неисправности, и принятие обоснованных решения по их устранению.

Первая задача долгие годы успешно решается на базе развития средств измерения основных параметров вибрации. Обычно это достаточно простые приборы для наблюдения за изменениями определенной группы вибрационных параметров во времени и сравнения полученных результатов с пороговыми значениями. При этом объединение их в стационарные системы мониторинга с использованием средств автоматизации позволяет создавать системы автоматического мониторинга. Основные



задачи мониторинга — это контроль общего уровня (категории) технического состояния машин и достоверное обнаружение аварийных ситуаций, поэтому системы мониторинга обычно включают в состав средств аварийной защиты машин, отключающие их при возникновении аварийной ситуации.

Решению второй задачи способствовало бурное развитие микропроцессорной и компьютерной техники и технологий, развитие на их базе методов и средств диагностики, возможность создания специализированных программ по хранению, обработке и анализу результатов измерений. Задачей систем вибрационной диагностики как стационарных, так и переносных является обнаружение и идентификация дефектов на ранней стадии развития — их можно назвать системами мониторинга развития дефектов. Система отслеживает все дефекты, возникающие в процессе эксплуатации машин от момента их зарождения (когда они еще не представляют опасности для работы), контролирует скорость их развития во времени, и на основе анализа полученных данных прогнозирует остаточный ресурс, т. е. достаточно точно можно планировать работы по ремонту, наладке или замене изношенных деталей.

Опыт показывает, что внедрение средств диагностирования является одним из важнейших факторов повышения экономической эффективности использования оборудования в промышленности. Поэтому переносные системы технической диагностики на многих предприятиях становятся основой для перехода от технологии планово-профилактических ремонтов (ППР) к технологии обслуживания по фактическому состоянию (ОФС).

Дефекты механизмов, выявляемые вибродиагностическими методами контроля

Дисбаланс	Рабочих колес насосов, вентиляторов, турбокомпрессоров. Роторов электродвигателей, генераторов и т. д.
Несоосность	Излом и смещение валов. Изогнутый вал.
Электродвигатели	Неравномерный воздушный зазор между статором и ротором. Повреждение обмоток статора или изоляции. Эксцентриситет ротора. Обрыв или ослабление крепления стержней в «беличьей» клетке. Ослабление крепления обмоток статора. Перекас напряжения по фазам и т.д.
Компрессоры, насосы, вентиляторы	Кавитация. Помпаж. Срыв потока. Поломка лопаток и т.д.
Зубчатые передачи	Износ зуба. Ударное зацепление. Несоосность валов.
Ременные передачи	Износ ремня. Ослабление натяжения. Несоосность шкивов. Эксцентриситет шкива. Резонанс ремня и т.д.
Приводные муфты	Неравномерная передача крутящего момента элементами зацепления. Ослабление посадки на вал.
Нежесткое крепление	Трещины в раме или корпусе. Ослабление затяжки фундаментальных или крепежных болтов. «Мягкая лапа».
Подшипники скольжения	Износ. Задир. Эллипсность шейки вала. Продавливание масляной пленки, автоколебания и т. д.
Подшипники качения	Все дефекты изготовления, монтажа и износа. Качество смазки.

Данная технология коренным образом меняет систему обслуживания оборудования на предприятии и позволяет:

- избавиться от «внезапных» поломок механизмов и остановок производства;
- контролировать реальное текущее техническое состояние механизмов;
- технически обоснованно определять сроки и содержание ремонтных и наладочных работ, контролировать качество их выполнения;
- уменьшить финансовые и трудовые затраты на эксплуатацию оборудования;
- продлить межремонтный период и срок службы механизмов;
- сократить потребность в запасных частях, материалах и оборудовании;
- повысить общую культуру производства и квалификацию персонала.

Используемые при этом технические средства, как правило, позволяют не только контролировать состояние механизмов, но и обеспечивают решение задач по оперативной наладке в процессе эксплуатации и ремонта. В первую очередь это касается динамической балансировки роторов, контролю качества подшипников и их монтажа.

Одним из наиболее современных средств технической диагностики, на базе которого формируется и эффективно используется технология, является анализатор спектра вибрации 795, производимый в Украине фирмой «Сервис технологических машин» совместно с НПП «Контекст», г. Николаев. Основные технические характеристики прибора соответствуют самым высоким требованиям, предъявляемым к современным средствам диагностики, высокая разрешающая способность позволяет точно выявить любой дефект на месте эксплуатации механизма. Возможности выполнения многоплоскостной динамической балансировки в собственных опорах, измерения амплитудно-фазо-частотных характеристик на режимах разгона/выбега, контроль подшипников по прямому спектру, спектру огибающей и методу ударных импульсов существенно расширяют возможности использования приборов при ремонте и наладке. Функциональные возможности прибора соответствуют мировым стандартам, а по соотношению цена/качество он не имеет конкурентов.



ЭЛЕКТРОМАГНИТНО-АКУСТИЧЕСКИЙ ДЕФЕКТОСКОП УД-ЭМА-РО-2 ДЛЯ КОНТРОЛЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ РЕЛЬСОВ В УСЛОВИЯХ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР

Однониточный ультразвуковой бесконтактный ЭМА дефектоскоп УД-ЭМА-РО-2 предназначен для сплошного, выборочного и вторичного контроля одной нити железнодорожного пути с рельсами типа Р50, Р65, Р75 на грузонапряженных участках пути, в тоннелях, на мостах и на станционных путях и стрелочных переводах, а также одиночно лежащих рельсов и рельсов покилометрового запаса в условиях умеренного климата и в районах Сибири и Крайнего Севера.

В основу работы прибора положен бесконтактный электромагнитно-акустический принцип.

Основным отличием настоящего прибора от приборов подобного класса является ведение контроля без применения контактной жидкости, что особенно актуально в условиях низких температур.

Прибор обеспечивает контроль всего сечения рельса за исключением перьев подошвы.

Контроль рельса проводится четырьмя каналами УЗК.

Акустическая система прибора обеспечивает ввод сдвиговых поляризованных УЗК по нормали к поверхности рельса, а также под углом 45° . Головка рельса контролируется вводом сдвиговых поляризованных УЗК с боковой части под углом 0 и 45° , что обеспечивает 100%-ное прозвучивание всего сечения головки рельса. Расположение преобразователей на поверхности катания и со стороны рабочей грани головки рельса обеспечивают хорошее прозвучивание рельса.

Структурная схема прибора приведена на рис. 1.

Конструктивно прибор выполнен из акустического блока (рис. 2), на котором расположены комбинированные ЭМА преобразователи, и электронного блока, закрепленного на ручке механизма перемещения акустического блока. Благодаря акустическим датчикам, выполненным на основе постоянных магнитов, прибор устойчиво удерживается на головке рельса и хорошо стабилизируется в процессе его перемещения вдоль рельса.

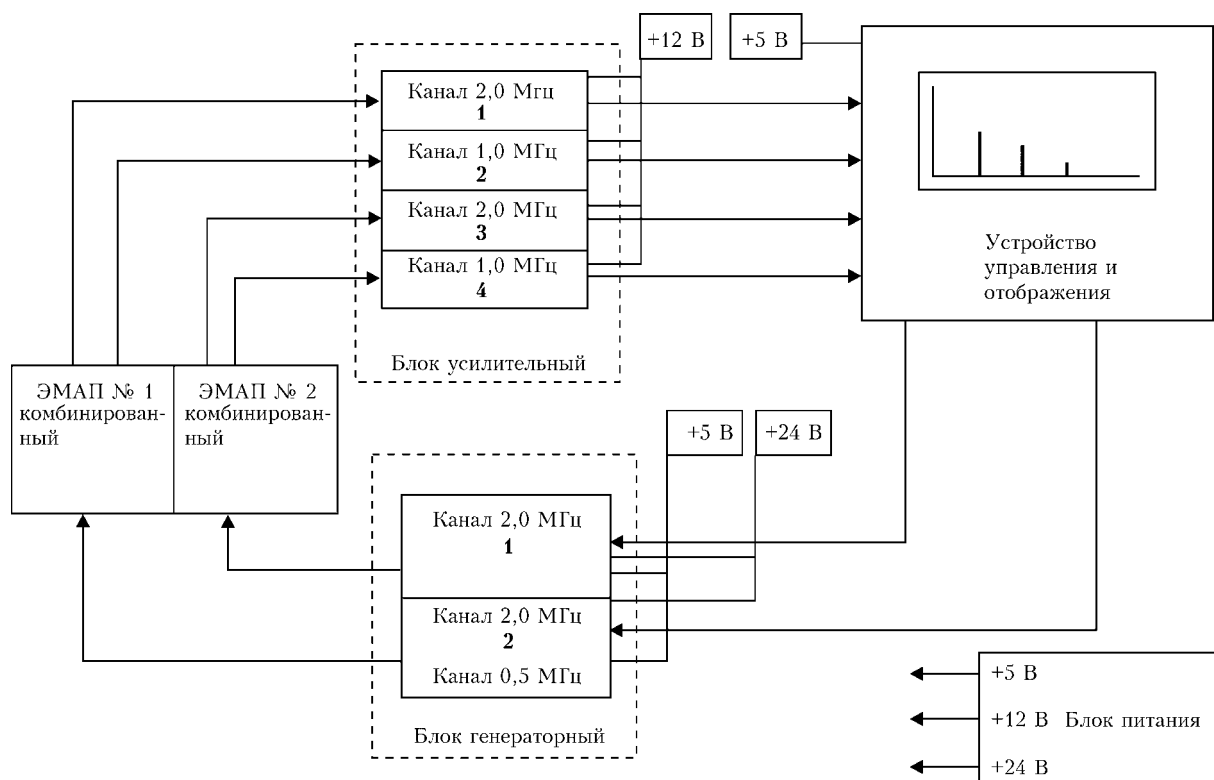


Рис. 1. Функциональная схема акустического дефектоскопа для неразрушающего контроля железнодорожных рельсов в условиях низких температур



Рис. 2. Механизм слежения



Рис. 3. ЭМА преобразователь

В состав прибора входят:

- ❖ два комбинированных ЭМА преобразователя, возбуждающих и принимаемых УЗК по нормам и под углом 45° (рис. 3);
- ❖ два генератора зондирующих импульсов работающих на частотах 1 и 2 МГц;
- ❖ четыре усилителя электромагнитных колебаний, работающих на частотах 1 и 2 МГц;
- ❖ устройство управления и обработки отображения информации.

Устройство управления, обработки и отображения информации прибора синхронизирует работу всех узлов электроники, проводит обработку акустических сигналов, формирует развертки типа А и Б, а также запоминает информацию о всех обнаруженных дефектах. Система управления вырабатывает синхро-импульсы для запуска генераторов зондирующих импульсов, проводит предварительную обработку сигналов, поступающих с усилительного блока и датчиков перемещения.

Генераторный блок вырабатывает зондирующие импульсы нужной длительности и амплитуды, которые поступают на ЭМА преобразователи.

Акустический блок состоит из четырех ЭМА преобразователей и служит для возбуждения и приема УЗК в контролируемом объекте.

Программно управляемый усилитель служит для обработки сигналов, поступающих с ЭМА преобразователей по амплитуде и частоте.

Основные технические характеристики

1. Частоты УЗК по каналам, МГц	
прямой канал	2
наклонный канал	17
2. Частота следования зондирующих импульсов	синхронизация
	от датчика пути через каждые 3 мм
3. Угол ввода УЗК, град	0; 45
4. Диапазон рабочих температур	от -50 до +50°С
5. Методы контроля	эхо-импульсный, зеркально-теневой
6. Количество каналов контроля, шт	4
7. Время непрерывной работы, ч	8

Опыт эксплуатации дефектоскопа показывает, что в условиях низких температур необходимость в контактирующей жидкости отпадает, кроме того эффективность выявления дефектов увеличивается за счет не критичности искательной системы прибора к загрязненности и шероховатости рельсов.

Дефектоскоп может быть использован и в качестве толщиномера, а также для контроля других длинномерных объектов в условиях низких температур.

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

**“ДИАГНОСТИКА И КОНТРОЛЬ”**

ООО НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЦЕНТР

54056, г. Николаев, а/я 234

тел/факс (0512) 210-220

E-mail: Diagnostic@mksat.net

УЛЬТРАЗВУКОВОЙ СКАНИРУЮЩИЙ ТОЛЩИНОМЕР УТ-98 «СКАТ»

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

**ВСТРОЕННАЯ МИКРОЭВМ
ОБЕСПЕЧИВАЕТ:**

- автокалибровку и самотестирование;
- статистическую обработку результатов, накопление и последующую передачу в ПЭВМ по каналу RS232;
- запоминание результатов 4000 измерений с файловой организацией памяти (до 40 файлов), удобство хранения и быстрый доступ к информации;
- автоматическое нахождение минимального значения толщины в области сканирования преобразователем контролируемого объекта в режиме «быстрый скан».

**ТОЛЩИНОМЕР ОТЛИЧАЕТСЯ
ОТ ИЗВЕСТНЫХ АНАЛОГОВ:**

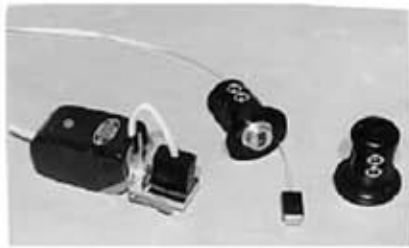
- дополнительным режимом «Рельеф», позволяющим непрерывно измерять толщину на длине до 8 метров с координатной привязкой к контролируемому объекту, и отображать этот рельеф на экране компьютера;
- автоматической установкой при включении толщиномера в тот режим, файл и точку измерения, в которых находился в момент выключения.

ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИБОРА И ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

1. Диапазон контролируемых толщин, T , мм 0,5...300
2. Скорость распространения ультразвука, м/с 1000...15000
3. Основная погрешность измерения t , мм, по диапазонам $T = 0,5...20,0$ $\pm 0,05$
 $T = 20...300$ $(0,002T + 0,05)$
4. Габариты прибора, мм 157x85x30
5. Питание аккумулятор «НИКА», батареи «КРОНА», «КОРУНД»
6. Диапазон рабочих температур для прибора $-20^{\circ}\text{C}...+50^{\circ}\text{C}$
7. Диапазон рабочих температур для преобразователей $-40^{\circ}\text{C}...+60^{\circ}\text{C}$
8. Масса прибора с источником питания, кг 0,3



Толщиномер комплектуется преобразователями с повышенной износостойчивостью и чувствительностью, что увеличивает срок их службы и позволяет контролировать изделия под слоем краски, ржавчины и по грубо обработанной поверхности.



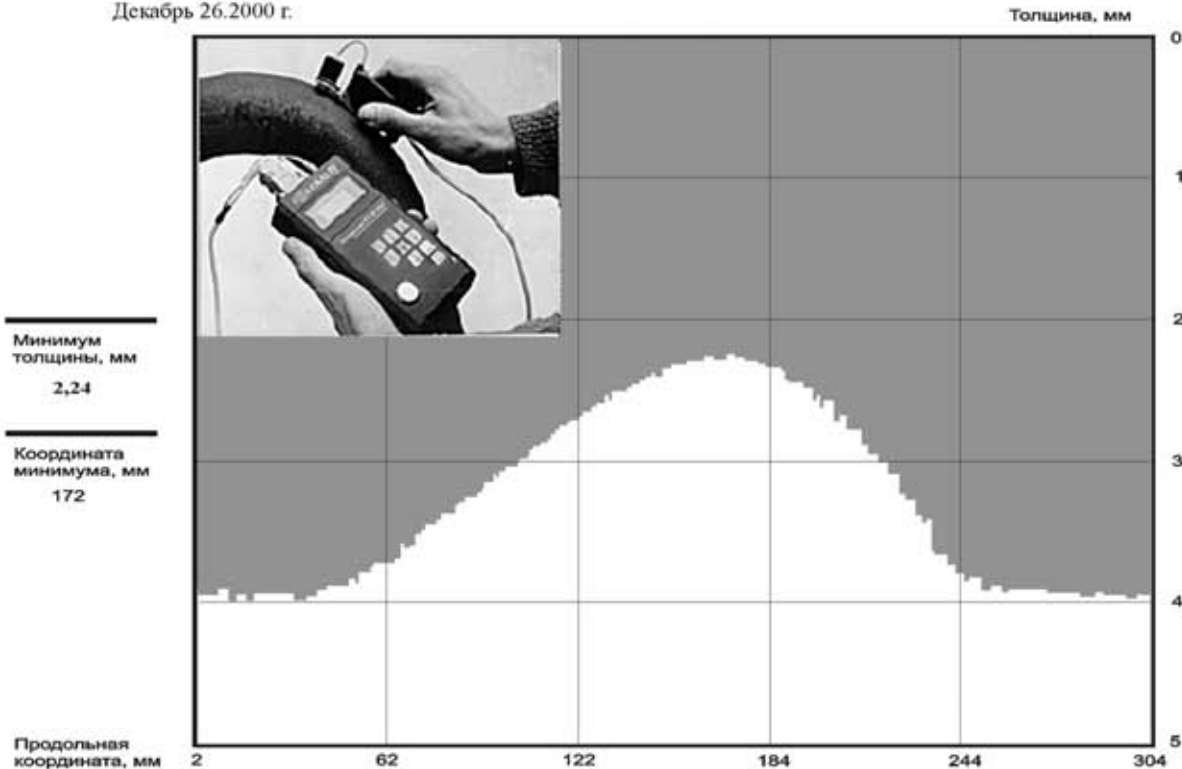
Преобразователи	Измеряемая толщина T, мм	Минимальный радиус изделия, мм	Рабочая поверхность, мм	Габариты преобразователя, мм
П-112-5-10/2-А-01	1,0–300	5	Ø 13	Ø 22x45
П-112-10-6/2-А-01	0,6–80	3,0	Ø 9,5	10x12x20
П-112-5-8/2-А-01	1,0–100	7	Ø 18	Ø 20x25
* П112-10-2х3/М	0,5–20	1,0	2х6	9х8х15

* Поставка по желанию заказчика.

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

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

Декабрь 26.2000 г.



Пример отображения остаточной толщины (рельефа)гиба трубы

Комплект поставки

Измерительный блок с двумя преобразователями, миниатюрное сканирующее устройство со встроенным датчиком пути и преобразователем для снятия показаний в режиме рельеф, аккумулятор с зарядным устройством, паспорт, руководство пользователя, метрологическое свидетельство, дискета с программным обеспечением, кабели, чехол измерительного блока, упаковочная тара.

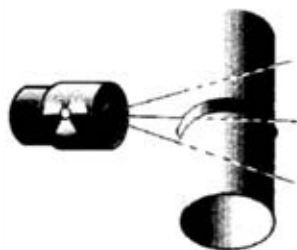
По желанию заказчика поставка в комплекте с компьютером и спецпрограммами. Срок поставки — 3 недели, гарантийный срок эксплуатации — 1 год, сервисное обслуживание.

Толщиномер сертифицирован Госстандартом Украины Госреестр №У1447-01



ИЗОТОП

Неразрушающий контроль:



Рентгеновские дефектоскопы типа

АРИНА, РАТМИР

Толщиномеры покрытий

*Рентгенографическая пленка и
химреактивы фирм "Свема", "AGFA", "FOMA"*

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

Наборы для цветной капиллярной дефектоскопии

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



НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ФИРМА «ПРОМСЕРВИСДИАГНОСТИКА»

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

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

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

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



ПРЕДЛАГАЕМ УСЛУГИ ПО ОБРАБОТКЕ РЕНТГЕНОВСКИХ СНИМКОВ

Уважаемые коллеги!

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

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

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

Предлагаем Вам услуги по обработке предоставленных Вами снимков.

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

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

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

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

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

ПРОВОДИТ



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

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

АТТЕСТУЕТ

специалистов неразрушающего контроля по следующим методам:

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



ИЗГОТАВЛИВАЕТ

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

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

Тел.: (044) 261-51-75; 261-51-83

ПОДПИСЫВАЙТЕСЬ НА ЖУРНАЛЫ ИЭС им. Е.О. ПАТОНА



«Техническая диагностика и неразрушающий контроль»

4 выпуска в год, подписной индекс 74475,
издается с 1989 г.,
тел.: (38044) 261 58 81, 269 26 23



«Современная электрометаллургия»

4 выпуска в год, подписной индекс 70693,
издается с 1985 г.,
тел.: (38044) 269 26 23, 268 34 84,
(с 1985 по 2002 гг. журнал издавался под названием
«Проблемы специальной электрометаллургии»)



«Advances in Electrometallurgy»

перевод на английский язык журнала «Современная электрометаллургия»
4 выпуска в год, подписной индекс 01141,
тел.: (38044) 269 26 23, 268 34 84

«Автоматическая сварка»

12 выпусков в год, подписной индекс 70031,
издается с 1948 г.,
тел.: (38044) 227 63 02, 269 26 23



«The Paton Welding Journal»

перевод на английский язык журнала «Автоматическая сварка»,
12 выпусков в год, подписной индекс 21971,
тел.: (38044) 269 26 23, 227 63 02



Подписка в Украине по каталогам агентства: «Пресса» и «Идея»
Подписка в Российской Федерации по каталогу агентства «Роспечать»
Подписка через редакции журналов на годовые комплекты, отдельные выпуски и статьи.

<http://www.nas.gov.ua/pwj>

Расценки на размещение рекламы в журналах:

«Техническая диагностика и неразрушающий контроль»,
«Автоматическая сварка»,
«Современная электрометаллургия»,
«The Paton Welding Journal»
«Advances in Electrometallurgy»

Стоимость рекламы на обложке, в USD

Страницы	Размер, мм	Полноцветная	Одноцветная
1	190×190	500	—
2	200×290	350	320
3	200×290	350	320
4	200×290	400	360

Стоимость блочной рекламы на внутренних страницах

Площадь	Размер, мм (ширина×высота)	Цена, USD	
		черно-белая	цветная
1 полоса	170×250	80	300
1/2 полосы	170×125	40	—
1/4 полосы	170×60	20	—
1/6 полосы	80×80	15	—

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

Оплата в гривнях или рублях РФ по официальному курсу

Статья на правах рекламы — 50% стоимости рекламной площади

Скидки при размещении рекламы в двух (и более) журналах ИЭС согласовываются дополнительно

Скидки на размещение рекламы при единовременной оплате:

Количество подач	3	6	12
■ Скидка	10 %	15 %	20 %

Требования к оригинал-макетам:

Формат журнала после обрезки 200×290 мм

Черно-белые:

TIF grayscale 300 dpi для фотоизображений, TIF bitmap 600 dpi для графики

Цветные:

TIF CMYK 300 dpi

Сопроводительные материалы:

обязательна черно-белая распечатка файла

Носители:

дискеты 3,5", CD-ROM

