

ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА и НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ

www.nas.gov.ua/pwj

№1 2008



Системы диагностики и оценки состояния железнодорожного пути

Вагоны-лаборатории и специализированный подвижной состав

Автоматизированные системы технической диагностики и НК металлических конструкций и изделий

Системы автоматизированного управления производством
Геонавигационные системы

Интеллектуальные системы промышленного телевидения

Математическое и программное обеспечение

Приборостроение и системотехника

Аутсорсинг и услуги по проведению технической диагностики и НК силами специалистов аккредитованных лабораторий



Группа компаний «ТВЕМА»

119602, г. Москва, ул. Никулинская, 27

Тел.: (495) 641-24-09

E-mail: tvema@tvema.ru, www.tvema.ru



ИНСТИТУТ ЭЛЕКТРОСВАРКИ им. Е. О. ПАТОНА НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК УКРАИНЫ

ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА и НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ

№ 1, 2008

Издаётся с января 1989 г.

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

Издатель: Международная ассоциация «Сварка»

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор Б.Е.ПАТОН

А. Я. Недосека (зам. гл. ред.),
В. А. Троицкий (зам. гл. ред.),
З. А. Майдан (отв. секр.),
И. П. Белокур, Ю. К. Бондаренко,
В. Л. Венгринович, Э. Ф. Гарф,
А. А. Грузд, Ю. Б. Дробот,
Н. Н. Зацепин, В. И. Иванов,
О. М. Карпаш, В. В. Клюев,
Л. М. Лобанов, А. А. Лебедев,
В. К. Лебедев, Г. Г. Луценко,
Н. В. Новиков, Е. С. Переферезев,
П. П. Прохоренко, В. П. Радько,
В. Н. Учинин, 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.Баженко, 11
Институт электросварки
им.Е.О.Патона НАН Украины
Тел.: (044) 271-23-90,
Факс: (044) 528-34-84, 529-26-23
E-mail: journal@paton.kiev.ua
<http://www.nas.gov.ua/pwj>

Научные редакторы Н. Г. Белый, А. А. Грузд

Электронная верстка Л. Н. Герасименко, И. Р. Наумова, И. С. Баташева

Свидетельство
о государственной регистрации
КВ 4787 от 09.01.2001

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

При перепечатке материалов
ссылка на журнал обязательна

За содержание рекламных
материалов редакция журнала
ответственности не несет

Цена договорная

СОДЕРЖАНИЕ

НОВОСТИ 3

ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА

ФОМИЧЕВ С. К., МИНАКОВ С. Н., ЯРЕМЕНКО М. А., МИХАЛКО С. В., ДАНИЛЬЧИК А. В., МИНАКОВ А. С. Автономная система мониторинга механических напряжений магистральных трубопроводов с использованием возможностей GSM-связи 9

НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ

ТЕРЛЕЦКИЙ А. В., ДАВИДЕНКО С. Н., СУШКО А. А., БЕЛЫЙ Н. Г. Повышение чувствительности и функциональных возможностей рентгенотелевизионных систем контроля качества изделий 13

ТКАЛЕНКО М. А., ЮХИМЕЦЬ П. С., МУХЛИНІН С. М., ЄРЕМЕНКО В. І., ГІРНИК Д. А. Методика та апаратура двочастотних вимірювальних пристріїв для перевірки якості ізоляційного покриття трубопроводу у вологих ґрунтах та на підводних переходах 19

БОРОДАЙ В. П., ЧЕРЕВКО А. А. Применение методов и средств вибродиагностики для оценки фактического технического состояния компрессорных агрегатов по производству аммиака 24

МАТЮК В. Ф., ОСИЛОВ А. А., СТРЕЛЮХИН А. В. Описание процесса намагничивания полых цилиндрических стержней из магнитомягких материалов в однородном квазистатическом магнитном поле соленоида. Основная кривая намагничивания 31

КУЦ Ю. В., МОНЧЕНКО Е. В. Ультразвуковое измерение

толщины многослойных материалов и изделий 35

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ РАЗДЕЛ

ВЕКСЛЕР Е. Я., ЗАМЕКУЛА И. В., ТОЛСТОВ В. Ю., СЕМЕШКО Е. В. Неразрушающие методы контроля механических свойств металла энергооборудования в процессе длительной эксплуатации по твердости с использованием современных переносных твердомеров 39

ДОЛІНСКИЙ В. М., ЧЕРЕМСКАЯ В. И. Оценка несущей способности обечайок сосудов в зонах установки штуцеров 43

СЕРТИФИКАЦИЯ И СТАНДАРТИЗАЦИЯ

ТРОИЦКИЙ В. А., БОНДАРЕНКО А. И., БЕЛЫЙ Н. Г., ШЕКЕРО А. Л., ТРОИЦКАЯ Н. В. Система подготовки, аттестации и сертификации персонала в области неразрушающего контроля в Украине 45

ХРОНИКА И ИНФОРМАЦИЯ

Совещание участников Европейского проекта LRUCM 56

Группа компаний «ТВЕМА». Новый подход к управлению качеством 58

Календарь конференций по НК и ТД на I полугодие 2008 г. 59

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

No 1, 2008

Founded in January, 1989

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

Publisher: International Association «Welding»

EDITORIAL BOARD:

Editor-in-Chief
B. E. PATON

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

Address:

The E. O. Paton Electric
Welding Institute
of the NAS of Ukraine,
11 Bozhenko str., 03680,
Kyiv, Ukraine
Tel.: (044) 271-23-90,
Fax: (044) 528-34-84, 529-26-23
E-mail: journal@paton.kiev.ua
http://www.nas.gov.ua/pwj

Scientific editors:
N. G. Bely, A. A. Gruzd

Electron gallery:
I. R. Naumova, L. N. Gerasimenko,
I. S. Batasheva

State Registration Certificate
KV 4787 of 09.01.2001

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

CONTENTS

NEWS 3

TECHNICAL DIAGNOSTICS

FOMICHEV C. K., MINAKOV S. N., YAREMENKO M. A., MIKHALKO S. V., DANILCHIK A. V., MINAKOV A. S. Self-sufficient system of monitoring mechanical stresses in the main pipelines using GSM-communication capabilities 9

NON-DESTRUCTIVE TESTING

TERLETSKII A. V., DAVIDENKO S. N., SUSHKO A. A., BELII N. G. Improvement of sensitivity and functional capabilities of X-ray TV systems of product quality control 13
TKALENKO M. A., YUKHIMETS P. S., MUKHLIN S. M., EREMINO V. I., GIRNIK D. A. Procedure and hardware for bifrequency measurement for checking the quality of pipeline insulation coating in damp soil and underwater passages 19
BORODAJ V. P., CHEREVKO A. A. Application of methods and means of vibrodiagnostics for evaluation of the actual technical condition of compressor units for ammonia production 24
MATYUK V. F., OSPOVA A. A., STREL'YUKHIN A. V. Description of the process of magnetization of hollow cylindrical rods from magnetically soft materials in a uniform quasi-static magnetic field of the solenoid. Main magnetization curve 31
KUTS Yu. V., MONCHENKO E. V. Ultrasonic thickness measurement of the thickness of multilayer materials and items 35

INDUSTRIAL

VEKSLER E. YA., ZAMEKULA I. V., TOLSTOV V. YU., SEMESHKO E. V. Non-destructive methods of control of mechanical properties of the metal of power generation equipment during long-term operation for hardness using modern portable hardness meters 39
DOLYNSKII V. M., CHEREMSKAYA V. I. Evaluation of load-carrying capacity of vessel shells in the zone of nozzle mounting 43

CERTIFICATION AND STANDARDIZATION

TROITSKII V. A., BONDARENKO A. I., BELII N. G., SHEKERO A. L., TROITSKAYA N. V. System of training, qualification and certification of personnel in NDT field in Ukraine 45

NEWS AND INFORMATION

Meeting of the European project participants LRUCM 56
«TVEMA» Group. New approach to quality management 58
Schedule of conferences on NDT and TD for the 1st half of 2008 59

JOURNAL PUBLICATION IS SUPPORTED BY:

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



Ukrainian Society for Non-Destructive Testing and Technical Diagnostics



УКРАИНСКОЕ ОБЩЕСТВО НЕРАЗРУ- ШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

Украинское общество неразрушающего контроля и технической диагностики (УО НКТД) — творческая всеукраинская общественная организация специалистов, профессиональная деятельность которых связана с дефектоскопией, с разными способами контроля качества материалов, изделий и сооружений: акустическим, радиационным, магнитным, тепловым, вихревоковым, течеисканием и др. Общество зарегистрировано в Министерстве юстиции Украины. Отделения Общества работают во всех регионах Украины.

Главная цель Общества — повышение научно-технического уровня в области неразрушающего контроля, качества изделий и сооружений, обмен информацией, расширение международных контактов, защита интересов дефектоскопистов.

Коллективные члены УО НКТД — это более 180 организаций, среди которых такие ведущие предприятия Украины, как: ДКБ «Южное» им. М. К. Янгеля, ООО «Запорожсталь», ООО «Днепропресссталь» им. А. М. Кузьмина», Запорожский титано-магниевый комбинат, Нижеднепровский трубопрокатный завод, Одесский припортовый завод, Черновецкий машиностроительный завод, АО «Мотор-Сич», Сумское машиностроительное научно-производственное объединение им. М. В. Фрунзе, Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины и много других.

В 1998 г. УО НКТД стало соучредителем Европейской федерации неразрушающего контроля (DFNDT), в которую входят организации из 27 стран Европы. УО НКТД является членом Всемирного комитета по неразрушающему контролю (ICNDT). Подписан ряд двусторонних соглашений с родственными обществами России, Беларуси, Польши, Чехии, Болгарии, Хорватии, Германии, Великобритании, Италии, Дании, США и др.

Главными направлениями



деятельности Общества являются:

- помочь предприятиям в осуществлении контроля и технической диагностики конкретных объектов;

- помочь в создании лабо-



раторий и служб по НК и ТД;

- сертификация персонала, работающего в области НК и ТД;

- способствование в гармонизации украинской и европейской нормативно-технической документации;

- организация конференций, семинаров и выставок;

- консультирование и руководство проектами в области НК и ТД;

- развитие международных контактов;

- издание книг, пособий,

журналов, бюллетеней, информационных материалов по вопросам НК и ТД.

Специалисты УО НКТД выполняют работы по неразрушающему контролю промышленных объектов с помощью современных методов и способов НКТД.

Всем членам УО НКТД ежеквартально направляются научно-технический журнал «Техническая диагностика и неразрушающий контроль», бюллетень «НК-Информ» и другая информация УО НКТД.

Приглашаем к сотрудничеству всех заинтересованных специалистов!

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕС- КИЙ ЦЕНТР ОБЕСПЕ- ЧЕНИЯ КАЧЕСТВА И СЕРТИФИКАЦИИ «СЕПРОЗ» НАН УКРАИНЫ

Техническая экспертиза, обеспечение качества, сертификация, аттестация продукции сварочного производства.

Для выполнения сертификации продукции сварочного и родственных производств, включенной в перечень продукции, которая подлежит сертификации (сварочное оборудование; сварочные и конструкционные материалы; трубы сварные, бесшовные, металлические, пластмассовые и фитинги к ним, баллоны стальные, бесшовные, сварные; дорожно-транспортные средства), Национальной академией наук Украины создано Государственное предприятие — Научно-технический центр обеспечения качества и сертификации «СЕПРОЗ» НАН Украины (ДП НТЦ «СЕПРОЗ» НАН Украины).

ДП НТЦ «СЕПРОЗ» НАН Украины аккредитован в системе УКРСЕПРО как уполномоченный Орган по сертификации (аттестаты аккредитации Госстандарта Украины

НОВОСТИ



№ UA 4.001.012 и № UA 5.001.021).

Область аккредитации ДП НТЦ «СЕПРОЗ»:

- системы управления качеством в сварочном производстве;
- сварочное оборудование и конструкционные материалы;
- сварные конструкции;
- сварочные материалы;
- технологические процессы сваривания;
- технические услуги в области сварки, диагностики и неразрушающего контроля.

Испытания с целью сертификации выполняются аккредитованными в системе УКРСЕПРО на техническую компетентность испытательными лабораториями Института электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины и др.

ДП НТЦ «СЕПРОЗ» НАН Украины имеет развитые связи и осуществляет свою деятельность как в рамках стран СНГ, так и на международном уровне. Его сертификаты признаны в государствах, с которыми Украина имеет международные соглашения.

СПЕКТР-2.0 (ДВУХКАНАЛЬНАЯ СЕЙСМОСТАНЦИЯ)

Для локализации дефектов и определения длины свай, а также получения сейсмоспектрального профиля НПП «ИНТЕРПРИБОР» (г. Челябинск, РФ) предлагает двухканальную сейсмостанцию СПЕКТР-2.0.

СПЕКТР-2.0 позволяет проанализировать реакцию объек-

та на ударное воздействие одновременно по двум каналам во временной и спектральной областях. Сейсмоволна возбуждается с помощью молотка и воспринимается чувствительным виброметрием.

Благодаря сейсмоспектральному методу и специальным методикам обработки информации можно определить длину металлических и железобетонных свай (как отдельных, так и в составе ростверка), построить сейсмоспектральный профиль.

Прибор позволяет:

- проводить запись виброколебаний с автоматическим



запуском одновременно по двум каналам и получать разложение каждого канала по 1000 линиям спектра;

- просматривать на дисплее форму сигналов и их спектр одновременно по двум каналам;
- выполнять анализ временных характеристик сигналов (режим осциллографа);
- сохранять в памяти 7500 процессов и их спектральный состав;
- проводить пересылку и дополнительную компьютерную обработку записанных реализаций процессов виброколебаний со спектральным разрешением 8 тыс. линий спектра.

ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ПРОКОВКИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Упрочняющая высокочастотная механическая проковка (ВМП) сварных соединений (разработана ИЭС им. Е. О. Патона) является развитием технологий поверхностного пластического деформирования металлов и применяется для повышения служебных характеристик сварных соединений конструкций различного назначения и, прежде всего, для повышения их сопротивления усталости. Поверхностное пластическое деформирование металла при ВМП осуществляется за счет механического импульсного действия ударных элементов ручного инструмента, возбуждаемых ультразвуковым генератором. Для упрочнения сварных соединений с целью повышения сопротивления усталости при ВМП пластическому деформированию подвергается только зона сплавления шва с основным металлом шириной 4...7 мм.

Выполненная в соответствии с регламентом ВМП в зоне сплавления приводит к:

- формированию характерной канавки глубиной до 0,5 мм, образование которой устраняет острые подрезы вдоль шва и уменьшает коэффициент концентрации напряжений, обусловленный геометрией сварного соединения;
- деформационному упрочнению пластически деформированного металла;
- образованию остаточных напряжений сжатия в приповерхностных слоях наклепанного металла на глубину до 1мм;
- изменению структуры металла этой зоны до мелкозернистой.

В зависимости от механи-



ческих свойств металла, типа сварного соединения, характеристик цикла переменного нагружения, уровня остаточных сварочных напряжений, ВМП повышает циклическую долговечность соединений в 7...10 раз, а неограниченный предел выносливости на 30...200 %.

Ультразвуковая установка для выполнения ВМП состоит из таких основных частей: источника питания и УЗ генератора (1); ручного ударного инструмента с пьезокерамическим преобразователем (2); съемной головки с различным количеством бойков (3).

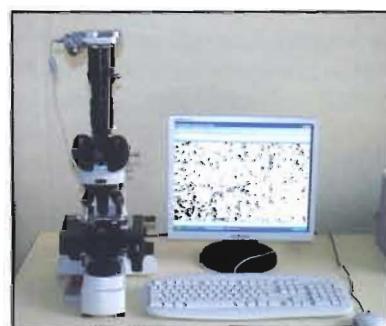
По сравнению с другими способами поверхностного пластического деформирования сварных соединений, ВМП имеет следующие преимущества: высокая производительность и экономичность; компактность и мобильность оборудования; незначительная площадь обработки (зона перехода от металла шва к основному металлу); обработка в произвольном пространственном положении; возможность прогнозирования эффективности обработки; использование на стадиях производства и эксплуатации конструкций.

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОНТРОЛЬ РАЗМЕРОВ ОБЪЕКТОВ НА ЭЛЕКТРОННЫХ ФОТОГРАФИЯХ

Киевским национальным университетом и ОАО «Квазар» разработано универсальное программное обеспечение, предназначенное для подсчета количества объектов

или частиц на электронных фотографиях, определения их площади, среднего размера и проведения статистических расчетов. Его функционирование апробировано в составе установки по определению загрязненности воздуха и воды включениями разной природы, а также контроля состава суспензий на производстве микроэлектронного профиля.

Показана возможность использования программного



обеспечения в разных областях народного хозяйства, в частности, при исследованиях загрязненности окружающей среды, в медицине, при радиографическом неразрушающем контроле металлических конструкций.

СИСТЕМА МОНИТОРИНГА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ И СОСУДОВ ПОД ДАВЛЕНИЕМ (СИМОНА)

Институтом прикладной физики НАН Беларуси и ООО «НПФ Диагностика» (г. Минск) разработана система мониторинга напряженно-деформированного состояния СИМОНА, предназначенная для регистрации, сбора, передачи, индикации в реальном масштабе времени и хранения многосенсорной информации об изменении в процессе эксплуатации локальных деформаций и напряжений в элементах сосудов под давлением: нагруз-



женных металлоконструкций газокомпрессорных станций и магистральных трубопроводов и др. Система состоит из выносных датчиков информации (1), блока сопряжения (2), ручного контроллера и оконечного терминала.

В основе оригинальных тензометрических датчиков лежит принцип изменения частоты собственных колебаний струны в зависимости от величины ее натяжения. Блок сопряжения управляет по линии связи считыванием информации с группы датчиков и передачей ее на диспетчерский терминал.

От группы блоков сопряжения, расположенных в контрольно-измерительных колонках, данные о локальных деформациях в местах установки датчиков поступают на диспетчерский терминал, где проводится их анализ.

По поступающим на терминал данным судят о возможности возникновения в элементах конструкций критических деформаций и напряжений в результате подвижки грунтов, коррозионных потерь металла, недопустимом развитии трещин, возникновении пиков перегрузок и т. п.

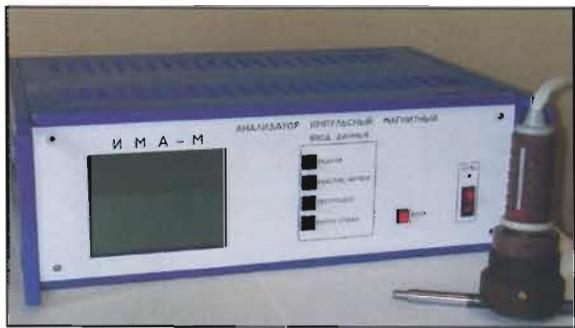
В отличие от существующих систем контроля напряженно-деформированного состояния СИМОНА обеспечи-



вает непрерывный мониторинг состояния конструкции на протяжении всего цикла ее эксплуатации.

ИМПУЛЬСНЫЙ МАГНИТНЫЙ МНОГОПАРАМЕТРОВЫЙ АНАЛИЗАТОР ИМА-М

В Институте прикладной физики Национальной академии наук Беларусь разработан прибор для неразрушающего контроля качества термической обработки (закалка, отпуск, отжиг) изделий из фер-



ромагнитных материалов — импульсный магнитный анализатор многопараметровый ИМА-М. Он предназначен для использования в центральных заводских лабораториях и термических цехах металлургических и машиностроительных предприятий для контроля твердости и других механических свойств изделий после любого из указанных выше способов термической обработки.

ИМА-М позволяет локально намагничивать и перемагничивать контролируемое изделие пятью сериями импульсов, амплитуды импульсов в первой, третьей и пятой сериях возрастают с заданным шагом от нуля до заранее установленной величины, а во второй и четвертой сериях убывают с тем же шагом от установленной величины до нуля. Такой режим локального импульсного намагничивания позволяет получить аномальную петлю магнитного гисте-

резиса в режиме импульсного перемагничивания, шесть параметров которой используют для поиска оптимального уравнения корреляционной связи между измеряемыми магнитными параметрами и контролируемыми механическими.

В качестве таких параметров используют максимальные величины градиентов напряженности полей остаточной намагниченности в процессе намагничивания первой и пятой сериями; градиенты напряженности полей остаточной намагниченности после окончания первой, второй, третьей и четвертой сериями импульсов.

Набор и обработку статистических данных для поиска оптимального уравнения множественной корреляции осуществляют с помощью ПЭВМ, для подключения которой в приборе ИМА-М имеется специальный выход.

Оптимальное уравнение корреляции и оптимальный режим намагничивания заносят в память прибора для конкретного контролируемого изделия, в результате чего оператор при контроле таких изделий считывает с индикатора непосредственно величину контролируемой величины, например, твердости.

ДЕФЕКТОСКОПИЯ МЕТАЛЛОПРОДУКЦИИ ПРИ ТЕМПЕРАТУРЕ ВЫШЕ 900 °C

В ОКТБ ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины проведена экспериментальная проверка возможности дефектоскопии металла при температуре выше 900 °C с помощью лазерного акустомагнитного метода. Проверку осуществляли на двух образцах с искусственным и



естественным дефектами. Первый образец представлял собой стальной параллелепипед размером 80x100x320 мм с обработанной поверхностью и нанесенным искусственным дефектом в виде прямоугольного паза размерами 1x1x30 мм, второй — фрагмент размером 54x220x240 мм непрерывно-литого сляба прямоугольного сечения с естественным дефектом. Предварительно наличие естественного дефекта было подтверждено магнитно-порошковым методом. Дефект представлял собой трещину в приреберной зоне во впадине волнообразного профиля поверхности (волнообразный профиль образуется вследствие качаний кристаллизатора при разливке).

Образцы разогревали до температуры 1000 °C и устанавливали на дефектоскопический стенд, на котором датчиком акустомагнитного дефектоскопа сканировали поверхность образцов. Воздушный зазор между поверхностью датчика и сканируемой поверхностью образцов был не менее 10 мм. Сигналы от искусственного и естественного дефектов были зарегистрированы с соотношением сигнал/шум не менее 20 дБ.

По результатам экспериментальной проверки было рекомендовано применение лазерного акустомагнитного метода для on-line дефектоскопии непрерывного металла на выходе установки непрерывной разливки стали.

КОМПЬЮТЕРИЗИРОВАННЫЙ ПРИБОР «ИНТРОСКАН-М» — АНАЛИЗАТОР НАПРЯЖЕНИЙ И СТРУКТУРЫ ФЕРРОМАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАГНИТНОГО ЭФФЕКТА БРАКГАУЗЕНА

ООО «МПФ Диагностика» и Институтом прикладной физики НАН Беларусь (г. Минск) разработан прибор ИНТРОСКАН. Он является четвертым поколением магнитошумовых анализаторов напряжений и структуры металлов, дополняющим возможности ранее выпущенных



приборов РМША, ИНТРОМЕТ и ИНТРОМАТ.

Благодаря оригинальным техническим решениям и наличию встроенного компьютера с операционной системой Windows CE прибор предоставляет новые возможности и не имеет аналогов в СНГ и за рубежом.

Прибор ИНТРОСКАН обеспечивает:

- автоматическое построение и запоминание неограниченного количества градуировочных кривых;
- независимость результатов измерений от изменения в широких пределах зазора между полюсами датчика и контролируемой поверхностью, а также от состояния поверхности;
- представление информации в относительных и в ис-

тинных единицах;

- построение диаграммы напряжений в секторе 180° (при использовании 4-хполюсного датчика);
- автоматический выбор оптимальных режимов контроля;
- диалоговый режим работы, удобный пользовательский интерфейс, наглядное представление результатов сканирования в виде линейных или круговых диаграмм;
- простоту расширения возможностей прибора и адаптации к конкретным задачам потребителя за счет применения новых пользовательских программ.

Может быть использован для:

- контроля и измерения остаточных и приложенных напряжений с использованием специальной методики оценки напряженно-деформированного состояния;
- контроля поверхностной пластической деформации;
- определения толщины упрочненного слоя;
- оценки напряжений в поверхностных слоях на разных глубинах до 1 мм;



- контроля толщины, ширины и профиля переходной зоны поверхностных слоев, упрочненных лазерной, плазменной и другими видами обработок;
- контроля и выявления шлифовочных прижогов;
- контроля твердости углеродистых и легированных сталей.

УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ДЕФЕКТОСКОП-ТОМОГРАФ УД4-76

Дефектоскоп разработан НПФ «Промприлад» (г. Киев) и предназначен для ручного и механизированного ультразвукового контроля материалов, заготовок, изделий и оборудования, съема и сохранения томограмм.



Особенности дефектоскопа:

- возможность создания объективного документа контроля с полной информацией о проконтролированной детали;
- работа с любыми типами пьезоэлектрических преобразователей;
- измерение эквивалентных и условных размеров дефектов;
- функция «толщиномер»;
- развертка типа А;
- отображение результатов контроля в виде В-сканов — ортогональных видов объекта контроля — спереди, сверху и сбоку с обозначенными на них обнаруженными дефектами;
- возможность контроля акустического контакта;
- контроль скорости сканирования;
- различные формы детектирования: РЧ/ 2п.п./ +п.п./ -п.п.;
- синхронизация: внутренняя, внешняя, от датчика пути;
- автоматическая калибровка параметров ПЭП и объекта контроля;



- несколько режимов работы с АРД-диаграммами;
- два независимых, трехуровневых измерительных строба;
- дополнительный функциональный строб;
- система АСД по выбранному уровню строба;
- индикация АСД на ярких трехцветных светодиодах;
- усовершенствованный режим пиковой кривой;
- режим наложения текущего сигнала на сохраненный;
- построение спектра сигнала;
- разметка экрана по переотражениям сигнала в объекте контроля;
- возможность изменения структуры меню по двум схемам «пользователь»/«эксперт»;
- большой высококонтрастный TFT - дисплей;
- сохранение и вызов настроек контроля;
- связь с ПЭВМ через USB - порт.

КОМПАКТНОЕ И БЕСКАБЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО: ТР 09 — УСТРОЙСТВО ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ TRANSPOCKET 2500/3500

Фирма «Fronius» разработала компактное и легкое устройство дистанционного управления специально для установки TransPocket для ручной дуговой сварки металлическим электродом: в формате мобильного телефона, абсолютно без кабеля, защищенное от внешних воздействий, т. е. водонепроницаемое. Вы просто кладете устройство дистанционного управления на изделие и касаетесь свароч-



ными электродами контактов, чтобы установить ток сварки. Не имеет значения, как далеко Вы находитесь от источника питания. Все это избавляет Вас от долгих колебаний для принятия решения.

ВИДЕОПРОЦЕССОР VP-063 – ПОВЫШЕНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ РЕНТГЕНОТЕЛЕВИЗИОННЫХ ДЕФЕКТОСКОПИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Разработанный ЧП «Талисман» (Нац. техн. ун-т Украины «КПИ») видеопроцессор VP-063 предназначен для работы в составе оборудования рентгенотелевизионной дефектоскопической установки и используется для предварительной обработки входного рентгенотелевизионного видеосигнала, фильтрации нестационарных шумов рентгенотелевизионного канала, запоминания кадра рентгенотелевизионного изображения, вывода запомненного рентгенотелевизионного изображения на экран телевизионного монитора и передачи изображения через USB-порт в среду персонального компьютера для его последующей обработки и архивирования.

Для подачи рентгенограмм из памяти видеопроцессора в PC используется встроенный USB-порт, который работает под управлением специализированной программы «Direcon-SO1» и стандартного USB-драйвера операционной системы семейства Windows.

Видеопроцессор VP-063 легко может быть включен в состав любой рентгенотелевизионной установки, что обеспечивает возможность модернизации уже действующего парка рентгенотелевизионных дефектоскопических установок.

АВТОНОМНАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА МЕХАНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОЗМОЖНОСТЕЙ GSM-СВЯЗИ

С. К. ФОМИЧЕВ, С. Н. МИНАКОВ, М. А. ЯРЕМЕНКО, С. В. МИХАЛКО, А. В. ДАНИЛЬЧИК, А. С. МИНАКОВ

Разработана автономная система мониторинга механических напряжений с использованием GSM-связи, которая используется для регистрации пульсации напряжений в трубопроводе, регистрации изменения пространственного положения трубопровода на оползневых участках и т. п. По мере производственной необходимости возможно наращивание информационной мощности системы путем установки дополнительных автономных узлов.

A self-sufficient system has been developed for monitoring mechanical stresses using GSM-communication, which is used for recording stress fluctuations in the product line, recording the change of the pipeline position in space in landslide sections, etc. as dictated by production needs, the information capability of the system can be enhanced by mounting additional self-sufficient modules.

Магистральные трубопроводы находятся в сложном напряженном состоянии и подвергаются воздействию не только внутреннего давления, но и других внешних нагрузок, которые при проектировании [1] учесть очень сложно, например, оползней, подмызов и т. п. Все характеристики нагрузок и воздействий учитывают в коэффициентах надежности. Для постоянных нагрузок расчет трубопровода на прочность не вызывает сложности. Для временных длительных и кратковременных нагрузок их величины берутся из таблиц нормативных документов. Для особых нагрузок их действие должно определяться на основании анализа грунтовых условий и их возможного изменения при строительстве и эксплуатации трубопровода.

Однако для линейной части трубопровода учесть все нагрузки и их воздействие при неизбежных при строительстве трубопроводов отклонениях от проекта сложно. Для новых трубопроводов степень учета в проектных расчетах постоянных и временных длительных нагрузок и воздействий можно считать отличной, кратковременных — хорошей, а особых — удовлетворительной. При эксплуатации трубопроводов более 25 лет начинают развиваться процессы, которые предусмотреть на стадии проектирования сложно, а иногда и невозможно. Для такого трубопровода степень учета в проектных расчетах постоянных, временных длительных и кратковременных нагрузок и воздействий можно считать удовлетворительной, а особых нагрузок и воздействий недостаточной.

Оценить истинное влияние нагрузок и воздействий на длительно эксплуатируемый трубопровод позволяют сложные диагностические системы, включающие системы мониторинга его напряжен-

ного состояния. С этой целью была разработана пятиуровневая модульная система мониторинга напряженного состояния трубопроводов, сосудов под давлением, хранилищ, резервуаров магнитоанализаторным методом [2].

Учитывая желание организаций, эксплуатирующих трубопроводы, иметь постоянную оперативную информацию о напряженном состоянии, а также о наличии проблемных (опасных) участков магистральных трубопроводов большой протяженности (как правило, в наиболее удаленных от сетей энергоснабжения и коммуникации местах), возникает необходимость разработки автономного уровня системы мониторинга механических напряжений магистральных трубопроводов с использованием доступных каналов беспроводной связи.

В связи с бурным развитием и расширением технических возможностей беспроводных средств связи, расширением зон покрытия территории Украины с обеспечением устойчивого качества, стало очевидным экономическое преимущество данных видов связи и целесообразность их применения для передачи потоков данных в высших уровнях указанной системы мониторинга [2].

Одними из наиболее доступных сегодня являются каналы связи GSM стандарта, уже получившие широкое применение в системах автоматического контроля и охраны удаленных объектов. Существует широкая номенклатура готовых по-купных технических средств, которые можно эффективно использовать для передачи данных систем мониторинга.

Специалисты сварочного факультета Национального технического университета Украины «КПИ» в сотрудничестве со специалистами Инсти-

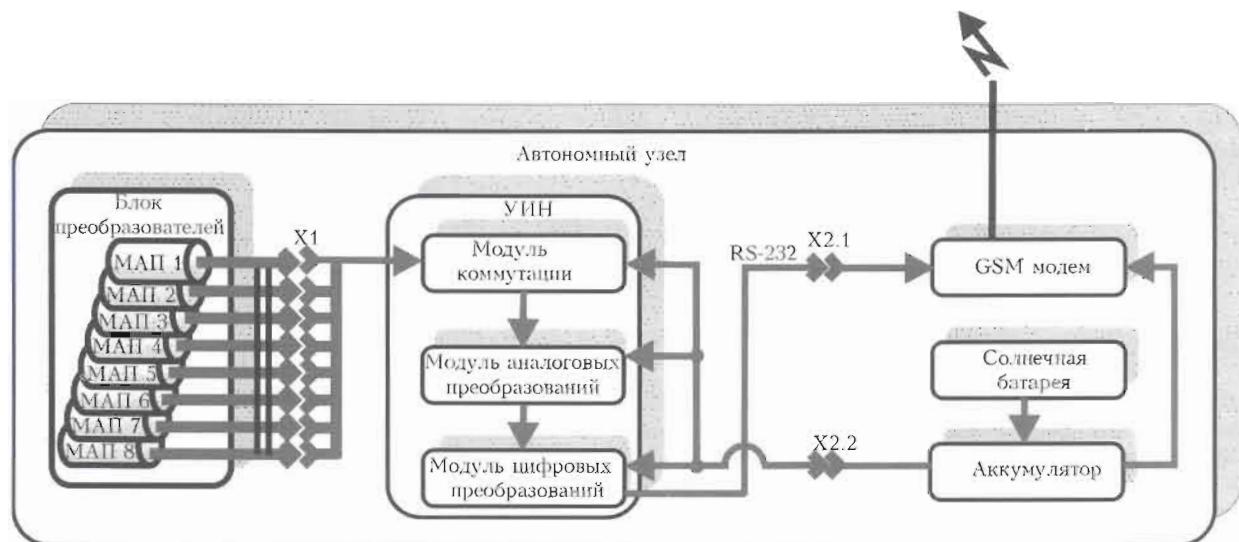


Рис. 1. Состав автономного узла системы мониторинга механических напряжений магистральных трубопроводов с использованием GSM-связи

тута электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины поставили перед собой задачу усовершенствования алгоритма функционирования пятого уровня модульной системы мониторинга напряженного состояния трубопроводов с использованием возможностей технических средств каналов GSM-связи для обеспечения ее полной автономности, включая использование независимых источников энергии, а также уменьшения совокупных затрат как на одно измерение, так и системы мониторинга в целом [2].

Система основана на автономном узле измерения и передачи данных по каналам GSM-связи (рис. 1), который является главной полевой единицей сбора и передачи информационных потоков о напряженном состоянии определенного участка трубопровода к управляющим серверам обработки данных, эксплуатирующей организации соответствующего уровня компетенции. Узел содержит блок датчиков, универсальный измеритель напряжений (УИН), GSM-модем, аккумуляторную батарею, фотоэлектрический преобразователь (солнечную батарею).

На трубопровод во время шурфовки устанавливаются унифицированные магнитоанизатропные четырехполюсные преобразователи, которые располагаются в специальных полимерных креплениях в одном сечении трубы симметрично один от другого.

Блок УИН — устройство, предназначенное для непосредственного опроса четырехполюсных магнитоанизотропных преобразователей, оцифровки и нормировки их показаний с возможностью передачи данных на порты вывода информации RS-485/232. В состав блока входят: модуль аналоговых преобразований, модуль цифровых преобразований, модуль коммутации [2].

УИН характеризуется следующими параметрами:

- питание 12 В постоянного тока;
- канал передачи данных реализован через порт RS-485/232;
- модульная компоновка состоит из легко заменяемых стандартизованных модулей для облегчения ремонта, замены либо тестирования любого из них;
- герметичный, прочный, некорродируемый корпус.

С целью обеспечения оптимального температурного режима УИН и аккумуляторная батарея располагаются в земле непосредственно у трубы.

Солнечная батарея и GSM-модем выводятся на поверхность земли и устанавливаются на столбике высотой 1...1,5 м.

Описанный выше автономный узел может работать в двух режимах: активном и пассивном.

Активный режим предусматривает постоянное нахождение на связи в режиме ожидания команды и является более энергозатратным. При получении команды на измерение по GSM-каналу включаются необходимые цепи модуля цифровых преобразований, модуля аналоговых преобразований и модуля коммутации. Проводится измерение и данные отсылаются по адресу поступления запроса.

Пассивный режим предусматривает отключение всех потребителей электроэнергии, кроме микропотребляющего таймера. При срабатывании последнего происходит активация всех модулей автономного узла, по запрограммированному алгоритму проводится измерение, подготовка и отсылка всего блока данных по заранее установленному адресу управляющего сервера. После этого автономный узел еще в течение 20...30 мин (до прихода управляющего сигнала, переводящего узел в постоянный активный режим) находится во временном активном режиме. В любом случае после этого срока узел переходит в пассивный режим до следующего срабатывания таймера.

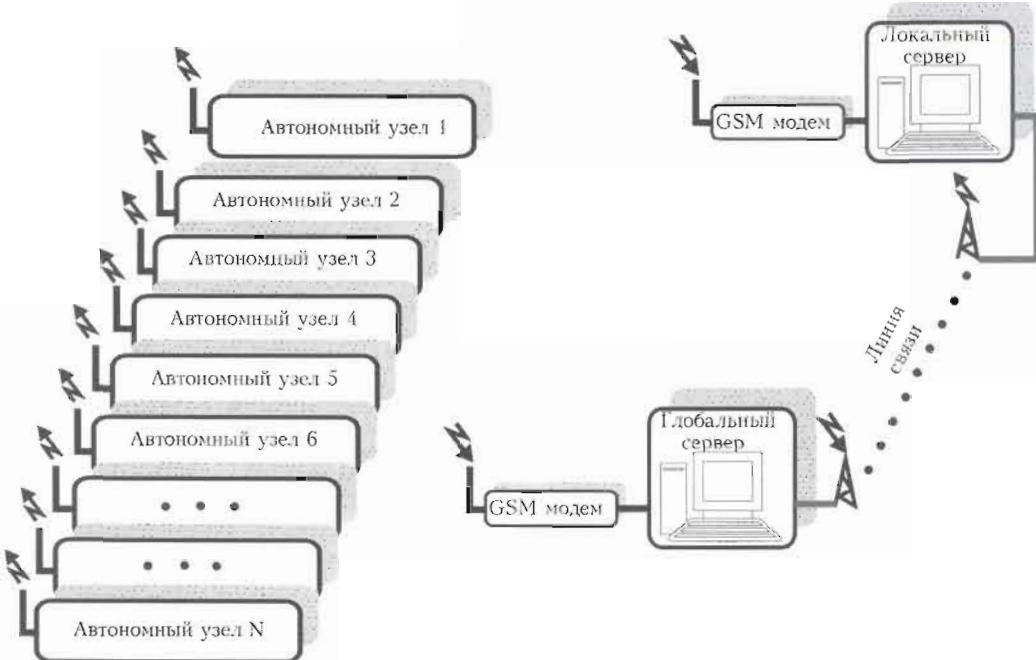


Рис. 2. Структурная схема системы

Во время нахождения в активном режиме предусмотрена корректировка параметров работы автономного узла: корректировка времени; адреса доставки данных, режима работы (активный или пассивный), смена пароля входа. Такой режим предусмотрен для сохранения работоспособности узла при отрицательном балансе поступления — использования энергии. При передаче данных измерения механических напряжений передается текущее время, измеренные данные с преобразователей, емкость аккумуляторной батареи.

Автономная система мониторинга механических напряжений магистральных трубопроводов с использованием GSM-связи работает следующим образом (рис. 2). Первичные исследования напряженного состояния магистрального трубопровода проводятся первым уровнем системы мониторинга переносным измерителем механических напряжений типа MESTR-411 [4]. После соответствующего анализа с использованием оригинального программного обеспечения (ПО) определяются потенциально опасные участки трубопровода. Во время шурфовки на требуемых участках устанавливается необходимое количество описываемых автономных узлов, которые с использованием средств GSM-связи включаются в общую автономную систему мониторинга напряженного состояния трубопровода. На локальных и глобальном серверах эксплуатирующей организации устанавливается соответствующее специальное ПО. По заданному алгоритму (или в ручном режиме) ПО через GSM-модемы обеспечивает обмен данными системы мониторинга со всеми автономными узлами определенной зоны ответственности, а также проводит их накопление, обработку и пре-

доставляет информацию для принятия технологических решений.

Под локальным сервером понимается ПК, установленный в местном офисе организации, в зону ответственности которой входят участки трубопровода, на которых применяются соответствующие автономные узлы. Накопление, обработка и анализ полученных данных дают информацию для принятия технологических решений на местном уровне.

Под глобальным сервером понимается ПК, установленный в главном офисе организации, эксплуатирующей трубопровод, что позволяет оценивать напряженное состояние трубопровода в целом и предоставляет информацию для принятия технологических решений глобального характера. Как правило, в этих организациях имеются свои каналы связи для объединения локальных и глобального серверов в сеть для обмена данными для исключения дублирования опроса автономных узлов с целью экономии электропитания.

Магистральные трубопроводы на некоторых участках проходят в зонах с малой плотностью GSM-ретрансляторов, что временами приводит к неустойчивости связи. На таких участках для обмена информацией целесообразно использовать не прямой on-line режим (CSD, GPRS, и т. д.), а режим передачи SMS-сообщений. SMS-сообщение, переданное сервером на автономный узел, может ждать восстановления связи с автономным узлом несколько часов и не теряться. При этом GSM-служба сама периодически повторяет попытки доставки SMS адресату. Режим SMS-запросов также очень актуален, когда автономные узлы находятся в режиме микропотребления и не-



ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА

олько часов отключены от GSM-сети. В периоды времени, когда автономный узел выходит из режима микропотребления и подключается к GSM-сети, он тут же получает SMS — запрос-команду от сервера, которая могла быть передана на несколько часов ранее и хранилась в памяти GSM-сети.

Автономный узел отвечает своим SMS-сообщением, в котором находится информация текущих показаний преобразователей и состояние аккумулятора. После передачи автономный узел опять переходит в режим микропотребления. Вся полезная и служебная информация о состоянии одного автономного узла занимает не более 120 символов стандартного SMS-сообщения.

Выводы

Разработана автономная система мониторинга механических напряжений с использованием GSM-связи, которая используется для регистрации пульсации в трубопроводе, регистрации изменения пространственного положения трубопровода на оползневых участках и т. п.

Нац. техн. ун-т Украины «КПИ»,
Киев

Данные, полученные с каждого участка (где установлен автономный узел), могут использоваться в общей системе раннего оповещения и безопасной эксплуатации трубопроводов.

По мере производственной необходимости возможно наращивание информационной мощности системы путем установки дополнительных автономных узлов.

В комплексе с другими методами система обеспечивает оперативное предоставление информации с контролируемых участков.

1. *СНиТ 2.05.06-85**. Магистральные трубопроводы.
2. *Пятуровневая модульная система мониторинга напряженного состояния трубопроводов, сосудов под давлением, хранилищ, резервуаров магнитоанализаторным методом* / С. К. Фомичев, С. Н. Минаков, В. В. Кочубей и др. // Техн. диагностика и неразруш. контроль, — 2006. — № 3. — С. 9–15.
3. *Измеритель механических напряжений серии МЕСТР-41х* / С. К. Фомичев, С. Н. Минаков, А. В. Данильчик и др. // Там же. — 1998. — № 1. — С. 58–60.
4. *Недосека А. Я. Основы расчета и диагностики сварных конструкций*. — Киев: Индпром, 2001. — 815 с.

Поступила в редакцию
29.11.2007



5-Я МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «СОВРЕМЕННЫЕ ПРИБОРЫ, МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО И НЕФТЕГАЗОПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ»

г. Ивано-Франковск

02–05 декабря 2008 г.

Уважаемые коллеги!

Ивано-Франковский технический университет нефти и газа 02–05 декабря проводит 5-ю Международную научно-техническую конференцию и выставку «Современные приборы, материалы и технологии для неразрушающего контроля и технической диагностики машиностроительного и нефтегазопромышленного оборудования».

Для участия в работе конференции и выставки приглашены известные ученые и специалисты по неразрушающему контролю (НК) и технической диагностике (ТД) из Украины, России и Молдовы, организации-производители и поставщики средств НК и ТД в Украине, представители нефтегазодобывающих, нефтегазотранспортных, машиностроительных предприятий Украины, где эксплуатируются средства НК и ТД, а также организации, осуществляющие контроль за проведением НК и ТД на промышленных предприятиях.

По вопросам организации и проведения конференции и выставки обращаться в оргкомитет:

тел.: (+380 3422) 4-24-30, 4-60-77;

факс: (+380 3422) 4-00-89;

e-mail: zarichna@nung.edu.ua; <http://www.nung.edu.ua>

ПОВЫШЕНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ РЕНТГЕНОТЕЛЕВИЗИОННЫХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ

А. В. ТЕРЛЕЦКИЙ, С. Н. ДАВИДЕНКО, А. А. СУШКО, Н. Г. БЕЛЫЙ

Представлен цифровой метод аппаратной обработки теневого рентгеновского изображения контролируемого изделия, реализующий фильтрацию нестационарных шумов рентгенотелевизионного канала и, как следствие, позволяющий повысить в 1,5...2 раза чувствительность рентгенотелевизионного контроля качества изделий. Алгоритм обработки рентгенотелевизионного изображения, реализуемый на аппаратном уровне видеопроцессором VP-063, автоматически определяет необходимую длительность экспозиции теневого рентгеновского изображения в зависимости от мощности дозы на входе детектора рентгеновского излучения, что обеспечивает нормирование по плотности рентгенограмм контролируемых изделий.

The paper presents a digital method of hardware processing of a shadow X-ray image of the controlled product, realizing filtration of non-stationary noises in the X-ray TV channel, and, as a consequence, allowing 1.5...2 times increase of the sensitivity of X-ray TV inspection of product quality. The algorithm of processing the quality of X-ray TV image realized on the hardware level by VP-063 vide processor, automatically determines the required duration of exposure of the shadow X-ray TV image, depending on the dose rate at the input of X-ray radiation detector, thus ensuring norming of the density of the controlled product radiographs.

Современные технологические процессы изготовления продукции машиностроения в большинстве случаев сопровождаются использованием различных способов сварки. Даже при хорошо отработанной технологии сварки возможны различного рода дефекты, приводящие к снижению надежности и долговечности изделий. Одной из основных задач промышленного производства продукции машиностроения является повышение качества выпускаемых изделий и обеспечение их эффективного функционирования в процессе эксплуатации. В условиях крупносерийного или массового производства, например, при производстве сварных труб, баллонов, цистерн и т. п. для контроля качества изделий обычно применяют рентгенотелевизионные дефектоскопические установки (РТДУ). Наиболее важными параметрами РТДУ является контрастная чувствительность, разрешающая способность, а также градационные характеристики рентгенотелевизионного канала, определяющие способность системы регистрировать минимальные перепады яркости малоконтрастных теневых рентгеновских изображений. Именно эти параметры и характеристики РТДУ достаточно жестко определены современными европейскими стандартами на аппаратуру данного типа. В настоящее время такие же стандарты вводятся и в Украине.

Для рентгенотелевизионных дефектоскопических систем контроля изделий характерен высокий уровень шума, обусловленный флуктуациями рентгеновских квантов на входе детектора рентгенов-

ского излучения. Уровень шумов рентгеновских квантов может превышать в несколько раз уровень полезного сигнала. Кроме того, датчик телевизионного сигнала также вносит в рентгенотелевизионное изображение свою шумовую составляющую. И чем меньше освещенность на входном окне сенсора оптического изображения, тем больше эта шумовая составляющая рентгенотелевизионного сигнала. Поэтому на экране телевизионного монитора теневое рентгеновское изображение контролируемого объекта воспроизводится на фоне явно выраженных флуктуационных шумов рентгенотелевизионного канала, что существенно снижает качество и информативность рентгенотелевизионного изображения, его разрешающую способность и контрастную чувствительность. Кроме того, шумовая составляющая рентгенотелевизионного изображения сильно утомляет зрение оператора, что также снижает эффективность и производительность рентгенотелевизионного контроля.

Одним из путей повышения чувствительности рентгенотелевизионных систем дефектоскопического контроля качества изделий является применение эффективных методов и средств фильтрации шумов рентгенотелевизионного канала. Шумы рентгеновских квантов имеют нестационарный характер, что позволяет эффективно бороться с ними путем накопления теневого рентгеновского изображения в течение заданного времени экспозиции. Нестационарные рентгеновские шумы интегрируются во времени, а полезный сиг-

нал накапливается пропорционально длительности экспозиции. Именно это позволяет получить качественные рентгенограммы на рентгеновской пленке. Этот же метод накопления теневого рентгеновского изображения может быть реализован в рентгенотелевизионных дефектоскопических системах, в которых датчик телевизионного сигнала работает в режиме регулируемой экспозиции [1, 2]. Накопление теневого рентгеновского изображения на фоточувствительном сенсоре изображения осуществляется так же, как и на рентгеновской пленке в аналоговом виде. Накопленный сигнал считывается за один кадр, запоминается в оперативном запоминающем устройстве (ОЗУ) и выводится на экран телевизионного монитора [2, 3]. При этом шумы квантов рентгеновского излучения усредняются, повышается качество изображения на экране телевизионного монитора и достигается значительное повышение чувствительности дефектоскопического контроля изделий. Однако реализация такого метода повышения чувствительности контроля требует применения специализированной телевизионной системы, реализующей алгоритм работы с регулируемой экспозицией теневого рентгеновского изображения. Кроме того, режим аналогового накопления оптического сигнала на фоточувствительном сенсоре изображения, как, впрочем, и для рентгеновской пленки, требует прецизионной установки мощности экспозиционной дозы рентгеновского излучения для определенной толщины контролируемого изделия и выбранной длительности экспозиции, что существенно усложняет процесс дефектоскопического контроля изделий и снижает его производительность. Поэтому для повышения чувствительности РТДУ метод накопления теневого рентгеновского изображения в аналоговом виде на фоточувствительной мишени сенсора изображения широкого применения не нашел.

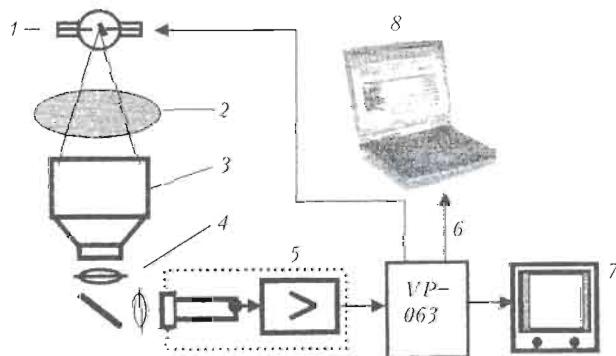


Рис. 1. Схема подключения видеопроцессора в составе оборудования РТДУ: 1 — источник рентгеновского излучения; 2 — контролируемый объект; 3 — рентгенооптический преобразователь; 4 — объект; 5 — телевизионная передающая камера; 6 — видеопроцессор; 7 — телевизионный монитор; 8 — компьютер обработки и архивирования рентгенограмм

Решить все противоречия и неудобства этого эффективного метода фильтрации шумов рентгенотелевизионного канала дефектоскопических установок удалось с помощью цифровой обработки рентгенотелевизионного сигнала [4]. На кафедре электронных приборов и устройств Национального технического университета Украины (КПИ) разработан видеопроцессор VP-063, позволяющий не только реализовать в цифровом виде алгоритмы интегрирования рентгенотелевизионного изображения, но и автоматизировать выбор длительности регулируемой экспозиции теневого рентгеновского изображения в зависимости от мощности рентгеновского излучения на входе детектора толщины и типа материала контролируемого изделия. Это существенно упростило реализацию рассмотренного метода повышения чувствительности рентгенотелевизионного контроля качества изделий и сделало его пригодным для применения в условиях промышленного производства.

На рис. 1 представлена структурная схема РТДУ, в состав которой включен видеопроцессор VP-063. Телевизионный видеосигнал поступает на вход видеопроцессора, который реализует в цифровом виде на аппаратном уровне алгоритмы обработки рентгенотелевизионного изображения в процессе контроля изделия. Видеопроцессор реализует два основных режима обработки рентгенотелевизионного изображения. Первый предназначен для просмотра динамических фрагментов рентгенотелевизионного изображения, а также используется при позиционировании контролируемого изделия относительно детектора рентгеновского излучения. В этом режиме входной видеосигнал автоматически нормируется по амплитуде и уровню и передается на видеоконтрольное устройство без интегрирования. Второй режим работы реализует алгоритм цифровой регулируемой экспозиции теневого рентгеновского изображения контролируемого изделия [5]. Этот режим предназначен для обработки рентгенотелевизионного изображения контролируемого изделия, которое находится в статическом положении. Интегрирование рентгенотелевизионного сигнала практически полностью убирает нестационарные шумы рентгенотелевизионного канала и обеспечивает повышение чувствительности рентгенотелевизионного контроля. При этом микропроцессорная система управления контролирует процесс интегрирования и автоматически определяет оптимальную для текущих условий контроля длительность экспозиции.

На рис. 2 представлена структурная схема видеопроцессора VP-063, которая включает систему синхронизации, аналоговый сигнальный процессор (АСП) входного сигнала; цифровой сигнальный процессор (ЦСП); цифро-аналоговый преоб-

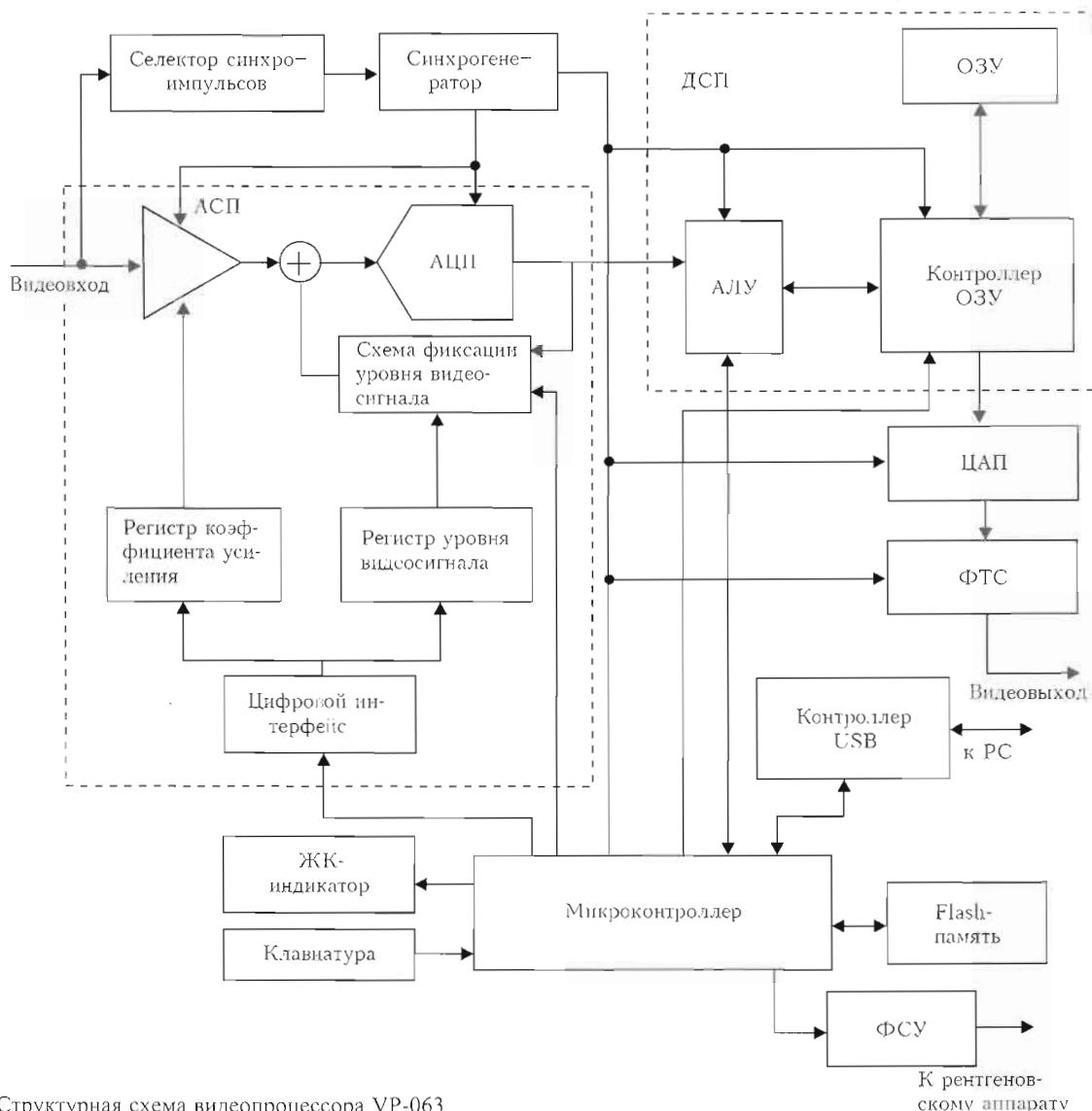


Рис. 2. Структурная схема видеопроцессора VP-063

разователь (ЦАП); формирователь выходного композитного телевизионного сигнала (ФТС) и микропроцессорную систему управления. Последняя реализует основные режимы работы устройства, а также решает задачи, связанные с нормированием входного телевизионного сигнала и определением оптимальной длительности накопления.

АСП обеспечивает оптимальное согласование уровня и амплитуды входного видеосигнала с динамическим диапазоном двенадцатиразрядного аналого-цифрового преобразователя. Он включает видеоусилитель с программируемым коэффициентом усиления, схему фиксации уровня сигнала на входе АЦП и управляющие регистры, связанные с управляющим микропроцессором через стандартный последовательный интерфейс. Контроллер определяет параметры видеосигнала, поступающего на вход ДСП, сравнивает их с граничными значениями динамического диапазона АЦП, определяет необходимое значение коэффициента усиления и уровня фиксации видеосигнала и заг-

ружает эти параметры в управляющие регистры АСП. При этом входной видеосигнал автоматически вписывается в динамический диапазон АЦП, что и обеспечивает его оптимальное преобразование в цифровую форму.

Цифровой сигнальный процессор (ЦСП) содержит арифметическое логическое устройство (АЛУ), контроллер ОЗУ и двухбанковое ОЗУ, в котором собственно и осуществляется цифровое интегрирование рентгенотелевизионного изображения. Функциональные блоки АЛУ и контроллер оперативной памяти выполнены на основе программируемой логической интегральной схемы, что обеспечило возможность реализации алгоритма цифровой обработки телевизионного видеосигнала в реальном времени. Алгоритм интегрирования рентгенотелевизионного изображения осуществляется путем накопления кадров рентгено-телевизионного изображения в ОЗУ. Процесс накопления контролируется микропроцессорной системой управления. После окончания процесса интегрирования обработанное изображение из



ОЗУ через десятиразрядный ЦАП и ФТС подается на вход штатного видеоконтрольного устройства рентгенотелевизионной установки. Обработанное рентгенотелевизионное изображение сохраняется в ОЗУ до начала следующего цикла интегрирования, который инициализируется нажатием соответствующей кнопки управления. Это позволяет при выключенном источнике рентгеновского излучения сохранять на экране телевизионного монитора рентгенотелевизионное изображение контролируемого объекта.

Видеопроцессор обеспечивает постоянный уровень выходного сигнала независимо от уровня и амплитуды входного сигнала, что позволяет варьировать в широких пределах мощность дозы рентгеновского излучения на входе детектора и коэффициент усиления входных цепей АСП. При этом будет изменяться только длительность экспозиции рентгенотелевизионного изображения, а уровень выходного сигнала видеопроцессора будет неизменный, оптимально вписанный в динамический диапазон телевизионного монитора. Длительность интегрирования рентгенотелевизионного сигнала может находиться в диапазоне от 16 до 512 кадров, что обеспечивает достаточно эффективную фильтрацию шумов рентгенотелевизионного канала дефектоскопической установки. Таким образом, оператору не нужно решать сложные задачи, связанные с определением длительности экспозиции, подбором мощности дозы рентгеновского излучения для контролируемого изделия. Процессор сам согласует параметры интегрирования рентгеновского изображения и выдает нормированный по уровню и амплитуде видеосигнал без характерных для рентгеноскопии нестационарных шумов рентгенотелевизионного канала. В результате достигается существенное повышение качества рентгенотелевизионного изображения, улучшаются условия анализа контролируемого изделия, что, в свою очередь, приводит к существенному повышению чувствительности и производительности радиационного контроля качества изделий.

При перемещении контролируемого изделия относительно детектора рентгеновского излучения видеопроцессор переводится в режим прямого канала передачи данных. В этом режиме работы микропроцессор анализирует параметры входного видеосигнала, определяет необходимую степень коррекции амплитуды и уровня входного сигнала и записывает соответствующие значения коэффициента усиления и фиксации уровня видеосигнала в регистры управления АСП. С выхода АСП нормированные видеоданные уже без накопления в АСП передаются через ЦАП и ФТС на выход видеопроцессора. В результате на экране телевизионного монитора оператор наблюдает нормированное по динамическому диапазону телевизион-

ного индикаторного устройства рентгенотелевизионное изображение контролируемого изделия. Инициализация режима прямого канала осуществляется путем нажатия кнопки на панели управления видеопроцессора. Коэффициент усиления АСП отображается на экране жидкокристаллического дисплея.

В данном устройстве использован двенадцатиразрядный АЦП. С точки зрения отображения рентгенотелевизионного изображения на экране телевизионного монитора это может показаться излишним. Ведь оператор не сможет различить на экране телевизионного монитора даже 0,1%-й перепад яркости рентгенотелевизионного изображения. Однако для обработки последнего аппаратными средствами видеопроцессора двенадцатиразрядное представление данных яркости исходного рентгенотелевизионного изображения дает весьма существенный эффект. Реализуемый уровень квантования определяет величину или степень потери информации при аналогово-цифровом преобразовании аналогового видеосигнала исходного рентгенотелевизионного изображения. Чем меньше уровень квантования, тем больше информации сохраняется при преобразовании видеосигнала в цифровую форму и тем в большей степени цифровое рентгенотелевизионное изображение может быть по качеству приближено к качеству рентгенограммы на рентгеновской пленке. Это оказывается очень важным и для реализации режима накопления рентгенотелевизионного изображения в цифровой форме, а также проявляется при последующей компьютерной обработке цифровой рентгенограммы.

Видеопроцессор VP-063 имеет выход для управления работой рентгеновским аппаратом. При накоплении теневого рентгеновского изображения микропроцессорная система управления формирует управляющий сигнал для рентгеновского аппарата, который по длительности соответствует определенному времени экспозиции теневого рентгеновского изображения на входе детектора рентгеновского излучения. Этот сигнал через блок формирования сигнала управления (ФСУ) подается на управляющий вход рентгеновского аппарата и обеспечивает его включение только на время экспозиции теневого рентгеновского изображения контролируемого изделия. После окончания времени интегрирования рентгеновский аппарат выключается, а видеопроцессор переходит в режим чтения обработанного и внесенного в память рентгенотелевизионного изображения контролируемого объекта, которое при выключенном источнике рентгеновского излучения воспроизводится на экране телевизионного монитора. Таким образом, включение видеопроцессора VP-063 в состав рентгенотелевизионной установки позволяет в 2...3 раза увеличить ее срок службы и су-

щественно сократить энергозатраты на проведение контроля.

Данное устройство имеет встроенный USB — интерфейс для ввода рентгенограммы контролируемого изделия в среду персонального компьютера (PC). Инициализация этого режима работы видеопроцессора осуществляется через графический интерфейс специального программного обеспечения «Direcon-S01» [5], которое устанавливается на персональный компьютер стандартной конфигурации. Взаимодействие видеопроцессора со специальным программным обеспечением реализуется посредством стандартного USB-драйвера операционной системы семейства Windows. Эта функция видеопроцессора открывает возможность реализации современных компьютерных технологий для обработки и архивирования рентгенограмм, а также обеспечивает возможность реализации автоматизированных баз данных рентгенотелевизионного контроля качества изделий. Видеопроцессор может поставляться с программным обеспечением «Direcon-S01» для компьютерной обработки и архивирования рентгенограмм.

Внешний вид видеопроцессора VP-063 представлен на рис. 3.

Краткая техническая характеристика устройства

| | |
|--|------------|
| Амплитуда входного композитного телевизионного видеосигнала, В | 1 |
| Амплитуда выходного композитного телевизионного видеосигнала, В | 1 |
| Аналого-цифровое преобразование входного рентгенотелевизионного сигнала, бит | 12 |
| Цифро-аналоговое преобразование выходного сигнала, бит | 10 |
| Память | 1М×16 |
| Формат кадра | 800×600 |
| Входной усилитель видеосигнала с программируемым коэффициентом усиления | 1...25 |
| Количество кадров накопления | 16...512 |
| Инверсия рентгенотелевизионного изображения (позитив-негатив) | |
| Автоматическое нормирование входного видеосигнала по динамическому диапазону АЦП | |
| Микропроцессорное управление режимами работы устройства | |
| Четыре программируемых режима работы устройства: прямой канал и три режима накопления рентгенотелевизионного сигнала | |
| Автоматическое нормирование выходного сигнала | |
| Встроенная Flash-память, рентгенограмм | 2000 |
| Стандартный USB-интерфейс для ввода рентгенограммы в среду персонального компьютера | |
| Формирование сигнала управления рентгеновским аппаратом | |
| Индикация параметров и режимов обработки рентгенотелевизионного изображения с помощью жидкокристаллического дисплея | |
| Размеры устройства, мм | 100×170×30 |
| Напряжение питания, В | 5 |
| Ток потребления, мА | 450 |

Видеопроцессор VP-063 может эффективно работать в составе как стационарных, так и мобиль-



Рис. 3. Видеопроцессор VP-063

ных рентгенотелевизионных установок (см. рис. 1), что обеспечивает возможность модернизации действующего парка рентгенотелевизионной аппаратуры данного типа.

Модернизация рентгенотелевизионной установки путем включения в ее состав видеопроцессора не требует никаких дополнительных переделок штатного рентгенотелевизионного канала, так как входные цепи видеопроцессора VP-063 рассчитаны на подключение стандартного композитного телевизионного сигнала рентгенотелевизионной установки, а на выходе видеопроцессора после обработки формируется такой же композитный телевизионный видеосигнал. Это обеспечивает возможность вывода обработанного рентгенотелевизионного изображения контролируемого изделия на штатный телевизионный монитор рентгенотелевизионной установки.

Опытный образец видеопроцессора прошел предварительные испытания в составе рентгенотелевизионной установки, в которой в качестве детектора теневого рентгеновского изображения использовался РЭОП с телевизионной камерой на основе ПЗС-сенсора изображения. Без цифровой обработки рентгенотелевизионного изображения рентгенотелевизионная установка по алюминию толщиной 20 мм обеспечивала чувствительность контроля 2,5 % (канавочный дефектометр АН). При этом изображение сварного шва и дефектометра наблюдали на фоне шумов рентгенотелевизионного канала, которые значительно превосходили по уровню полезный сигнал. Обработка рентгенотелевизионного сигнала видеопроцессором позволила практически полностью убрать с изображения нестационарные шумы рентгенотелевизионного канала и получить при тех же условиях контроля чувствительность контроля 1,0 %, что уже вплотную приближается к чувствительности контроля с использованием рентгеновской пленки.

В заключение можно отметить, что представленный видеопроцессор, реализующий алгоритм цифровой аппаратной обработки рентгенотелевизионного изображения в реальном времени путем интегрирования рентгенотелевизионного изображения в течение регулируемого времени экспозиции, позволяет достаточно просто модернизи-

НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ

ровать широкий парк действующих рентгенотелевизионных установок с целью повышения качества рентгенотелевизионного изображения и чувствительности контроля качества изделия. Кроме того, весьма полезным является запоминание обработанного кадра рентгенотелевизионного изображения контролируемого объекта. При этом дефектоскопист может проводить анализ рентгеновского изображения контролируемого изделия при выключенном источнике рентгеновского излучения. Это позволяет существенно снизить затраты на рентгенотелевизионный контроль и продлить срок службы оборудования РТДУ. Возможность передачи рентгенотелевизионного изображения контролируемого объекта из Flach-памяти в среду персонального компьютера через стандартный USB-порт позволяет реализовать компьютерные технологии обработки и автоматизированной расшифровки рентгенограмм, а также обеспечивает

возможность создания и ведения автоматизированной базы данных радиационного контроля качества изделий.

1. Денбновецкий С. В., Лещинин А. В., Михайлов С. Р. Высокочувствительные рентгенотелевизионные системы неразрушающего контроля на основе электронно-лучевых приборов // Электроника и связь. — 2005. — Тем. вып. «Проблемы электроники». — Ч.1. — С. 72–81.
2. А. с. 1543568 СССР, МКИ ЖШ 5/225, 5/30. Телевизионная камера / С. В. Денбновецкий, А. В. Терлецкий, А. В. Лещинин и др. — Опубл. 15.02.90, Бюл. № 6.
3. А. с. 1300659 СССР, МКИ Н04И 5/76. Устройство для накопления телевизионного сигнала / С. В. Денбновецкий, А. В. Терлецкий, А. В. Лещинин и др. — Опубл. 30.03.87, Бюл. № 12.
4. Терлецкий А. В., Давиденко С. Н., Сушико А. А. Цифровая реализация регулируемой экспозиции рентгенотелевизионного изображения // Электроника и связь. — 2006. — Тем. вып. «Проблемы электроники». — Ч.1. — С. 65–68.
5. <http://www.dilab.kiev.ua>

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

Поступила в редакцию
25.10.2007



9-Я МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «НЕРАЗРУШАЮЩИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И МИКРОАНАЛИЗ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ И СОХРАНЕНИЯ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ»

ART2008

25–30 мая 2008 г.

Иерусалим, Израиль

Израильское общество по неразрушающему контролю приглашает ученых, пользователей, производителей и сервисные компании, работающие во всех областях НК, принять участие в 9-й Международной конференции по исследованиям в области сохранения культурного наследия.

Конференция будет включать пленарные, секционные и стендовые доклады, в том числе по следующей тематике:

- ✓ Методы измерения и оценки вредного воздействия окружающей среды и процессов разрушения (в т. ч. вызванных коррозией)
- ✓ Аналитические методы исследований (дифракционная техника, радиография, томография, флюоресцентная спектроскопия и др.)
- ✓ Разработка и эффективность новых защитных покрытий

Использование неразрушающих методов в промышленности и медицине уже давно стало обычной практикой. С развитием технологий методы НК находят свое применение в искусстве и археологии для проведения анализа исторических и археологических памятников. С повышением чувствительности и надежности методы НК вытесняют методы микроанализа даже в тех случаях, где его применение разрешено. Сотрудничество и обмен знаниями среди экспертов на таких конференциях ведут к непрерывному совершенствованию новых научных методов и способствуют их применению в области сохранения, реконструкции и диагностики музеиных и археологических объектов.

Информация на сайте <http://www.isas.co.il/art2008> или непосредственно в оргкомитете конференции по e-mail: meetings@isas.co.il

Украинское общество НКТД планирует организацию поездки делегации украинских специалистов на конференцию.

Заявки на участие в поездке просим направлять до 01.03.2008 г. в секретариат УО НКТД (e-mail: usndt@u.kr.net, факс: (044) 289-21-66).

МЕТОДИКА ТА АПАРАТУРА ДВОЧАСТОТНИХ ВИМІРІВ ДЛЯ ПЕРЕВІРКИ ЯКОСТІ ІЗОЛЯЦІЙНОГО ПОКРИТТЯ ТРУБОПРОВОДУ У ВОЛОГИХ ГРУНТАХ ТА НА ПІДВОДНИХ ПЕРЕХОДАХ

М. А. ТКАЛЕНКО, П. С. ЮХИМЕЦЬ, С. М. МУХЛИНІН, В. І. ЄРЕМЕНКО, Д. А. ГІРНИК

На основі запропонованої електричної моделі трубопроводу розроблено та експериментально перевірено методику обстеження ізоляційних покріттів, що побудована на одночасному проведені вимірюваннях на двох різних частотах і дозволяє визначити дійсний технічний стан ізоляційного покріття без проведення вимірювань електрических параметрів вздовж трубопроводу. Запропонована методика лягла в основу розробки експериментального зразка апаратури для обстеження технічного стану ізоляційного покріття трубопроводу, який базується на використанні кишенькового комп'ютера.

The proposed electric model of a pipeline was the basis to develop and experimentally substantiate a procedure of examination of insulation coatings, which is based on simultaneous measurements at two different frequencies and allows determination of the actual technical condition of the insulation coating without measuring the electric parameters along the pipeline. The proposed procedure was the basis for development of an experimental sample of the equipment for examination of the technical condition of the insulating coating of the pipeline, which is based on the use of a notebook.

Досвід обстеження ізоляційних покріттів підводних переходів магістрального аміакопроводу Тольятті–Одеса, розподільних мереж Житомиргазу, Харківгазу, Київгазу, нафтогазових мереж Охтирського НГВУ показав, що обстеження індукційним методом має свої особливості в порівнянні з обстеженням трубопроводів, що знаходяться в звичайних грунтах. Це пов’язано зі знаходженням трубопроводів у водному середовищі або в ґрунті з великою вологістю, що мають високу електропровідність. У такому випадку на результати вимірювань суттєво впливають розподілені електричні параметри. Найбільший вплив спричиняє електрична ємність між металевою трубою та середовищем, у якому знаходитьться трубопровід. Величина цієї ємності залежить від діаметра трубопроводу, товщини ізоляційного покріття і матеріалу цієї ізоляції (бітум, полімерна плівка та ін.), який визначається його діелектричною проникністю ϵ . Слід відзначити, що метод, заснований на вимірюванні різниці потенціалів, неефективний у водному середовищі, особливо при великих глибинах залягання трубопроводів, оскільки вода являє собою суцільній провідник із нехастовно малим опором.

У процесі вимірювання вздовж трубопроводів мають місце ґрунти з різним складом, різною вологістю та підводні переходи. Електричний опір таких ґрунтів може бути різний на різних ділянках трубопроводів. Оскільки електричний опір у значній мірі впливає на згасання струму, особливо на високих частотах, то необхідно виключати зміну

електричного опору ґрунту вздовж трубопроводу для отримання достовірних результатів.

У відомих дослідженнях [1, 2] розглядаються повні електричні моделі трубопроводу з урахуванням ємнісних та індуктивних складових розподілених параметрів, але визначення всіх необхідних коефіцієнтів, які залежать від конкретних електрофізичних параметрів середовища, у якому знаходитьться трубопровід, з належною точністю та врахуванням їх зміни вздовж трубопроводу являє собою складну практичну задачу при проведенні вимірювань. Неврахування зміни цих параметрів призводить до погіршення точності вимірювань. Також відома спрощена модель [3], але вона може використовуватись тільки для сухих ґрунтів, у яких вплив індуктивності ґрунту значно перевищує вплив ємності ізоляційного покріття. Як відомо із практичних досліджень, у вологих ґрунтах та водних середовищах, навпаки, вплив розподіленої ємності значно перевищує вплив індуктивності ґрунту.

У найпростішій моделі [4] розглянуто лише активні складові, а реактивні не враховані. Ця модель придатна для визначення пошкоджень трубопроводу, що знаходиться в сухому ґрунті на низьких частотах. Крім того, у роботах [1–3] припускається, що всі вимірювання виконуються на частотах 30...100 Гц. За результатами практичних досліджень на таких частотах присутні значні електромагнітні вади, пов’язані із впливом промислової частоти 50 Гц. Наведена електрорушійна сила у антенах приймача на порядок менша, ніж



НЕРАЗРУШАЮЧИЙ КОНТРОЛЬ

із використанням частот 1...10 кГц. Тому в даній роботі розглядається спрощена електрична модель трубопроводу, що дозволяє практично визначати необхідні параметри для проведення вимірювань у діапазоні таких частот.

Для аналізу впливу розподілених параметрів на величину струму в трубопроводі розглянемо фізичний зміст параметрів ділянки трубопроводу (рис. 1).

Виходячи з фізичних параметрів трубопроводу, можемо обчислити електричну ємність ділянки ΔL . При умові, що діаметр труби набагато більший за товщину ізоляції ($D > t_i$), також можемо обчислити опір металу труби та опір ізоляції. Ємність ділянки обчислюється за формулою ємності циліндричного конденсатора:

$$C_i = \frac{\epsilon \pi D \Delta L}{t_i}. \quad (1)$$

Сумарний опір ділянки металу труби і ґрунту R та опір ізоляції R_i обчислюється за формулами (2), (3) відповідно. Оскільки опір металу труби нехтовоно малий порівняно з опором ґрунту, то опором металу трубопроводу можна знехтувати:

$$R = \frac{\rho \Delta L}{\pi D t}, \quad (2)$$

де t — умовна товщина шару ґрунту; ρ — питомий опір ґрунту,

$$R_i = \frac{\rho_i t_i}{\pi D \Delta L}, \quad (3)$$

де ρ_i — питомий опір ізоляції трубопроводу.

Розглянемо малу ділянку трубопроводу ΔL . На рис. 2 ця ділянка позначена штрихпунктиром, а елемент ізоляції — пунктиром.

Опір R_i та ємність C_i ізоляції позначимо еквівалентною провідністю Y_i , тоді:

$$Y_i = \frac{1}{R_i} + j\omega C_i. \quad (4)$$

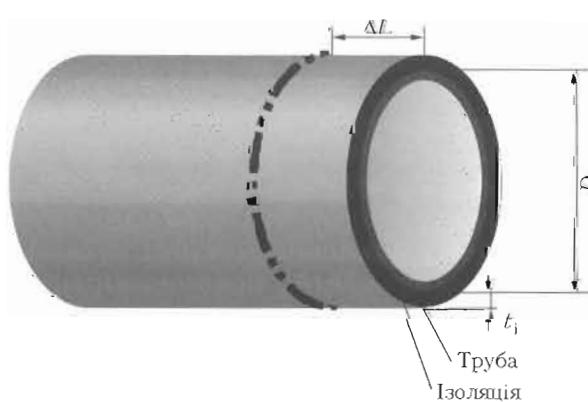


Рис. 1. Схематичне зображення ділянки трубопроводу

Втрату струму на ділянці ΔL можна обчислити за формулою:

$$\Delta I = \frac{-I Y_i}{Y_i + Y_C},$$

де Y_C — еквівалентна провідність трубопроводу.

Припустимо, що довжина труби $L > > \Delta L$, тоді $Y_C \approx Y'_C$, де Y'_C — еквівалентна провідність, що підключена до навантаження схеми. Визначимо Y_C з рівняння:

$$\frac{1}{Y_C} = R + \frac{1}{Y_i + Y'_C}. \quad (5)$$

Підставимо фізичні величини (1), (2) та (3) у вихідну формулу (4), отримаємо:

$$R Y_i = \frac{\pi D \Delta L \rho \Delta L}{\rho_i t_i \pi D t} + j\omega \frac{\epsilon \pi D \Delta L \rho \Delta L}{t_i \pi D t},$$

$$R Y_i = \Delta L^2 \left(\frac{\rho}{\rho_i t_i t} + j\omega \frac{\epsilon \rho}{t_i t} \right). \quad (6)$$

Як видно з формули (6), діаметр трубопроводу D скороочується. Але, згідно із припущенням (2), діаметр труби впливає на еквівалентну величину умовної товщини шару ґрунту t . Оскільки $\frac{1}{R Y_i} > > \frac{1}{4}$ та $Y_C > > Y_i$, то результатом розв'язку рівняння відносно I буде:

$$I = I_0 \exp \left[-L \sqrt{\frac{(1 + j\omega \epsilon \rho_i) \rho}{t_i t \rho_i}} \right]. \quad (7)$$

Після заміни $\epsilon \rho_i = \tau$ отримаємо дійсну частину декремента згасання в рівнянні (7):

$$\text{Re}(I) = I_0 \exp \left[-\frac{L}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{4\rho}{\rho_i t_i t}} \sqrt{1 + \sqrt{1 + \omega^2 \tau^2 \rho_i^2}} \right]. \quad (8)$$

Декремент згасання δ можна обчислити за формулою

$$\delta = A \sqrt{1 + \sqrt{1 + \omega^2 B}}, \quad A = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{4\rho}{\rho_i t_i t}}, \quad B = \epsilon^2 \rho_i^2, \quad (9)$$

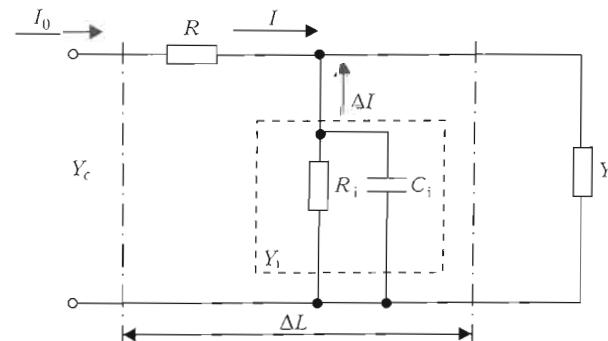


Рис. 2. Електрична модель ділянки трубопроводу

де коефіцієнти A та B можна визначити практично на реальних трубопроводах, вимірювши струм в кожній точці трубопроводу на двох частотах одночасно.

Практичні вимірювання показали, що для отримання достовірних результатів достатньо проводити виміри на двох частотах, що відрізняються між собою не менш, ніж у вісім разів.

На рис. 3 зображене теоретично розраховану залежність декремента згасання від частоти. Прийняті коефіцієнти ($A = 6,147 \cdot 10^{-5}$ та $B = 3,46 \cdot 10^{-4}$) були визначені експериментально і відповідають середнім статистичним значенням для вітчизняних трубопроводів. Як видно з рисунка, спостерігається значне зростання декремента згасання, а отже і згасання струму вздовж трубопроводу на високих частотах.

На рис. 4 зображене теоретично розраховану залежність струму від частоти та відстані, що базується на реальних вимірах, які були зроблені на трубопроводі із задовільною якістю ізоляційного покриття при наведених вище коефіцієнтах A та B . Як видно з наведеної графіку, спостерігається значне згасання струму на високих частотах (4096 та 8192 Гц), на яке особливо впливають вологі ґрунти та підводні переходи, що витікає з (8). Подальше збільшення частоти було б беззмістовне, оскільки на частоті 8192 Гц на відстані 1600 м від початку вимірювання було виявлено згасання струму більше ніж у п'ять разів. При високій якості ізоляційного покриття, що відповідає значенню «гарна» [4], така залежність згасання спостерігається в меншій мірі та на відстані в 5 км не перевищує 20 %. Враховуючи дійсний стан трубопроводів України, для визначення якості ізоляційного покриття слід використовувати виміри на частотах 1024...2048 Гц.

Виміри, виконані за допомогою перетворення Фур'є, показали, що в діапазоні частот від 900 до 1200 Гц присутні електромагнітні вади великої інтенсивності, які в значній мірі впливають на достовірність результатів вимірювань, навіть із застосуванням вузькосмужкової фільтрації сигналу зі смугою пропускання 1...2 Гц. Крім того, апаратура, що працює в цьому діапазоні частот, значним чином впливає на роботу систем телеметрії та інших служб. Наприклад, при водолазному обстеженні магістрального аміакопроводу Тольятті–Одеса через Григорівський лиман, генератор апаратури із частотою 1024 Гц викликав перешкоду в роботі диспетчерської служби аміакопроводу на відстані 1996 км. Тому при виборі робочої частоти слід також ураховувати наведені факти.

На рис. 5 зображене результати вимірювань на газопроводі, що проходить через р. Сіверський Донець в районі м. Балаклія. Основою для розрахунку теоретичних залежностей служила дійсна

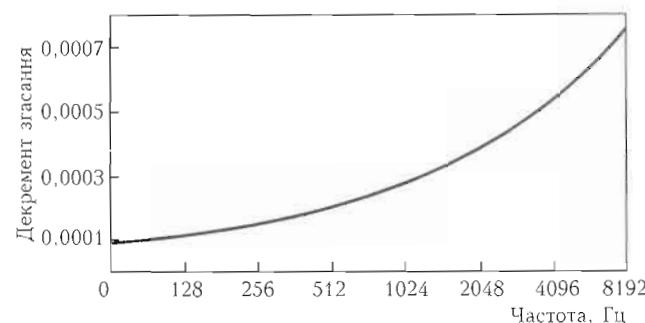


Рис. 3. Залежність декремента згасання від частоти

залежність струму вздовж трубопроводу, яка враховувала:

1) вплив електромагнітних вад на частотах, близьких до частоти вимірювання шляхом використання чотирехступінчастої фільтрації (фільтрація за допомогою антен приймача, фізичний фільтр із вузькою смugoю пропускання, математичний фільтр зі смugoю пропускання 1,5 Гц та перетворення Фур'є);

2) викривлення магнітних силових ліній внаслідок зміни магнітної щільноти, вологості та складу середовища, що призводить до введення лінійних поправок при визначені глибини залягання H та відносного значення струму I в трубопроводі [1]:

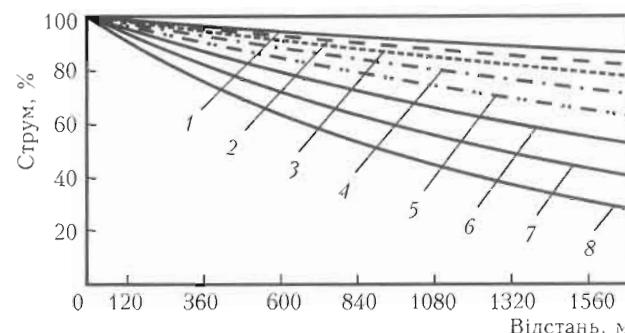


Рис. 4. Залежність струму від частоти та відстані: 1 — 0; 2 — 128; 3 — 256; 4 — 512; 5 — 1024; 6 — 2048; 7 — 4096; 8 — 8192 Гц

I , ум.од.

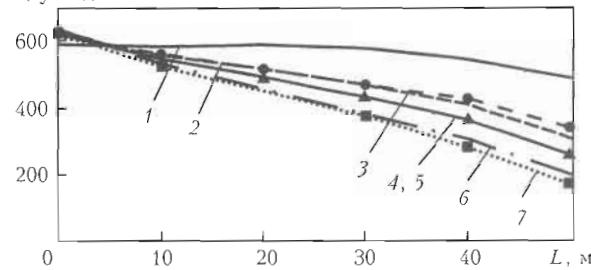


Рис. 5. Залежність струму в трубопроводі від його довжини на різних частотах: 1 — практична залежність з поправкою; 2, 3 — 1024; 4, 5 — 2048; 6, 7 — 4096 Гц; 2, 4, 7 — вимір; 3, 5, 6 — теоретичні дані

$$H = ah + b, \quad h = \frac{cE_a \Delta h}{E_n - cE_a}, \quad I = HE_n, \quad (10)$$

де E_n, E_a — електрорушійні сили нижньої та верхньої антени відповідно; Δh — відстань між антенами; a, b, c — практично визначені поправки;

3) залежність згасання струму від частоти генератора на високих частотах (9).

Для обчислення поправки згасання струму від частоти генератора на високих частотах були використані дані на шести частотах із ряду 128, 256, 512, 1024, 2048 та 4096 Гц із вузькосмужковими математичними фільтрами.

На графіку фактична залежність показана лінією «практична залежність із поправкою». Також на цьому трубопроводі були проведені виміри згасання струму на наборі частот 1024, 2048 та 4096 Гц. Вимірювання струму проводили з вузькосмужковим математичним фільтром зі смугою пропускання 1,5 Гц. Відповідно на графіку представлена ці залежності під назвами «вимір 1024 Гц», «вимір 2048 Гц» та «вимір 4096 Гц». Ці дані представлені без поправок. Також було розраховано яким мало бути згасання струму в трубопроводі на частотах 1024, 2048 та 4096 Гц без поправок за формулами (8) та (9). Наведені вище коефіцієнти A та B були визначені за допомогою вимірювання струму на двох частотах та регресійного аналізу відповідно до закону залежності (9).

Як видно з рис. 5, теоретичні розрахунки залежності струму вздовж трубопроводу на різних частотах (4096, 2048, 1024 Гц) практично співпадають з результатами вимірювань за допомогою апаратури. Відсоток розходження складає не більше 4 %, що підтверджує адекватність математичної моделі й теоретичних викладок. Графіки теоретичних розрахунків та практичних результатів на частоті 2048 Гц майже повністю співпадають і на графіку зливаються. Розходження на точці 0 пояснюється впливом струму в провіднику заземлення.

Подібні виміри також проводили на магістральних газопроводах діаметром 1200 та 1000 мм. Отримані результати вимірювань підтверджують правильність основних теоретичних і практичних висновків.

Відома апаратура (в тому числі й закордонна), що основана на використанні індуктивного методу або методу, основаного на вимірюванні різниці потенціалів, не дозволяє враховувати всі наведені поправки, які суттєво впливають на якість результатів вимірювань і не може бути ефективно застосована на вітчизняних трубопроводах, особливо у водних середовищах і ґрунтах із великою вологістю.

Розроблений експериментальний зразок апаратури, що містить вбудований кишеневий комп'ютер, дозволяє:

враховувати наведені вище поправки ((9), (10)) для отримання достовірних результатів при визначенні якості та дефектів ізоляційних покриттів;

використовувати вузькосмужковий математичний фільтр;

використовувати адаптацію алгоритмів визначення струму в залежності від середовища, автоматичний підбір коефіцієнта підсилення сигналу, урахування поправок викривлення магнітних силових ліній та поправок на згасання струму внаслідок використання ненульової частоти;

максимально спростити апаратну частину пристрою;

полегшити вдосконалення програмного забезпечення;

підвищити відмовостійкість та швидкість отримання результату;

зменшити вартість апаратури в цілому;

спростити взаємодію користувача з апаратурою;

отримувати всі необхідні параметри в текстовому та графічному вигляді безпосередньо на об'єкті обстеження;

автоматично складати звіти про технічний стан трубопроводу в реальному часі;

проводити моніторинг технічного стану трубопровідних мереж;

визначати географічні координати точок вимірювань за допомогою вбудованого або окремого модуля GPS.

Достовірність запропонованого методу визначення якості ізоляційного покриття була підтверджена при обстеженні газопроводу діаметром 426 мм через р. Сіверський Донець у районі м. Балаклія до і після ремонту гідроізоляції за допомогою клейової композиції «СПРУТ». Протяжність відремонтованої ділянки складає 186 м. Виміри проводили на частоті 3,296 кГц з урахуванням наведених вище поправок. До ремонту було зареєстроване питоме згасання струму $18,6 \cdot 10^{-2}$ дБ/м [4, табл. 1], що вказувало на дуже поганий стан ізоляційного покриття. Після ремонту питоме згасання склало $0,54 \cdot 10^{-2}$ дБ/м, що відповідає якісному покриттю. Результати підтверджують адекватність обраної моделі.

Висновки

На основі запропонованої електричної моделі трубопроводу розроблено експериментально перевірену методику обстеження ізоляційних покриттів за допомогою спеціального двочастотного генератора сигналів.

Методика побудована на одночасному проведенні вимірювань на двох різних частотах, що дозволяє визначати дійсний технічний стан ізоляційного покриття без проведення вимірювань розподілених параметрів вздовж трубопроводу. Ця методика лягла в основу розробки апаратури для обстежен-

ня технічного стану ізоляційного покриття трубопроводу.

Обследование изоляционных покрытий подводных переходов трубопроводов индукционным методом имеет свои особенности в сравнении с обследованием трубопроводов, находящихся в обычных грунтах. Это связано с нахождением трубопроводов в водной среде или в грунтах с большой влажностью, имеющих высокую электропроводность. В этом случае значительное влияние на результаты измерений оказывают распределительные электрические параметры трубопроводов и наибольшее — электрическая емкость между металлической трубой и средой, в которой находится трубопровод. Величина этой емкости зависит от диаметра трубы, толщины изоляционного покрытия и материала изоляции ϵ .

Для определения влияния емкости на результаты измерений приводится электрическая модель малого участка трубопровода (рис. 1, 2). В результате несложных математических преобразований получена формула затухания тока, вызванного действием распределительной электрической емкости, и декремент затухания δ (9). Коэффициенты A и B можно получить практические на реальных трубопроводах, измеряя ток в каждой точке на двух частотах, отличающихся между собой в восемь раз. На рис. 3 изображена зависимость декремента затухания от частоты, на рис. 4 — теоретическая зависимость тока от частоты и расстояния, которая базируется на реальных измерениях на трубопроводе с удовлетворительным качеством изоляции. Результаты измерений на газопроводе, что проходит через реку Сиверский Донец, с учетом влияния электромагнитных полей и четырехступенчатой фильтрации полезного сигнала (антенна, физический узкополосный фильтр, математический фильтр и преобразование Фурье); искривление магнитных силовых линий на границах сред; зависимости затухания тока от частоты генератора, приведены на рис. 5. Как видно из рисунка,

теоретически рассчитанные зависимости тока вдоль трубопровода на частотах 1024, 2048, 4096 Гц практически совпадают с результатами измерений с помощью аппаратуры.

Разработанный экспериментальный образец аппаратуры, основанный на применении карманного компьютера, позволяет учитывать приведенные выше поправки для получения достоверных результатов.

На основании изложенного материала можно сделать следующие выводы:

на основе предложенной электрической модели трубопровода разработано и экспериментально проверено методику обследования изоляционных покрытий, которая построена на одновременном проведении измерений на двух разных частотах, что позволяет определить действительное техническое состояние изоляционного покрытия без изменения электрических параметров вдоль трубопровода;

предложенная методика легла в основу разработки экспериментального образца аппарата обследования технического состояния изоляции трубопроводов, которая базируется на применении карманного компьютера как необходимого и достаточного средства учета множества поправочных коэффициентов и минимизации схемы контроллера путем усложнения программного обеспечения.

1. Джага Р. М. Електромагнітні обстеження і контроль котрій трубопроводів // Механіка руйнування і міцність матеріалів: Довідник. іносібник / Під ред. В. В. Панаюка. — Т.5: Неруйнівний контроль і технічна діагностика / Під ред. З. Г. Назарчука. — Львів: ФМІ ім. Г. В. Карпенка НАН України. — 2001. — Розділ 5. — С. 263–330.
2. Дикмарова Л. П., Корніченко В. Ю. Спротивлення ізоляційного покриття підземного трубопровода // Нефт. пром-сть. / Інф. сб. — М.: ВНІІОЗНГ, 1991. — Вип. 12. — С. 51–56.
3. Джага Р. М., Дикмарова Л. П. Аналіз інформативності коефіцієнта зникання струму в електромагнітному методі контролю ізоляції трубопроводів // Техн. діагностика та неруйнівний контроль. — 1999. — № 3. — С. 45–50.
4. Обследование трубопроводов Ахтырского НГДУ / В. К. Бурымский, В. А. Гирнык, Э. М. Дыскин и др. // Техн. диагностика и неразруш. контроль. — 2000. — № 4.

Ін-т електро зварювання ім. Є. О. Патона НАН України,
Київ

Поступила в редакцію
13.03.2007



ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ВИБРОДИАГНОСТИКИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ФАКТИЧЕСКОГО ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КОМПРЕССОРНЫХ АГРЕГАТОВ ПО ПРОИЗВОДСТВУ АММИАКА

В. П. БОРОДАЙ, А. А. ЧЕРЕВКО

Рассмотрено применение метода виброакустической диагностики для оценки текущего технического состояния компрессорных агрегатов по производству аммиака. Проведенные исследования охватывают определенный период эксплуатации агрегатов, что свидетельствует о прослеживаемой динамике в изменении их технического состояния.

Application of the method of vibration acoustic diagnostics for evaluation of the current technical condition of compressor units in ammonia production is considered. Conducted studies cover a certain period of unit operation, which allows stating the traceability of the dynamics of the change of technical condition of these units.

Широкое применение в промышленности центробежных компрессорных машин требует повышенного внимания к обеспечению безаварийной работы в межремонтный период. Гарантированную оценку текущего состояния могут дать методы и средства виброакустической диагностики. Виброакустический сигнал содержит полную информацию о состоянии и взаимодействии деталей и узлов роторного оборудования, а также о состоянии системы, в которую входит это оборудование. Рассматривая распределение энергии гармонических составляющих, анализируя временные, построив контурные характеристики, и следя за изменением и скоростью развития информационных составляющих, можно в полной мере оценить остаточный ресурс агрегата в целом.

Компрессор 102-*J* предназначен для сжатия природного газа, поступающего в цех производства аммиака из магистрального коллектора, до давления 43,3 кг/см² и подачи его в печь первичного риформинга для проведения конверсии метана паром. Компрессор природного газа состоит из корпуса низкого давления (КНД) типа MCL-455 и корпуса высокого давления (КВД) типа BCL-455, установленных на общей фундаментной раме. В каждом из цилиндров расположено по пять ступеней сжатия. Компрессор имеет маслогазовые уплотнения, предотвращающие утечку газа из полости компрессора. Роторы КНД и КВД врачаются в опорных подшипниках скольжения, имеющих принудительную циркуляционную смазку. Неуравновешенные осевые силы воспринимаются упорными подшипниками.

Обследование компрессорного агрегата 102-*J* цеха по производству аммиака № 3 ОАО «Гродно АЗОТ». Обследования агрегата прово-

дили с 17 января по 30 октября 2006 г. Первоначально целью обследования было определение фактического состояния подконтрольного агрегата в межремонтный период. С февраля текущего года обследования были посвящены определению причин и локализации источников повышенной низкочастотной вибрации.

При обследованиях измеряли среднеквадратические значения виброскорости корпусов агрегата вблизи подшипниковых опор в трех взаимно перпендикулярных направлениях (вертикальном (*B*), горизонтальном поперечном (*G*) и осевом (*O*) по отношению к оси ротора), в диапазоне частот ISO от 10 до 1000 Гц. Также снимались спектральные

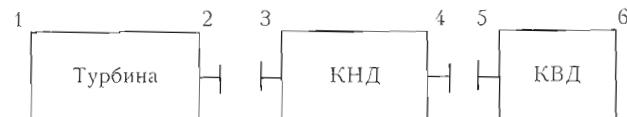


Рис. 1. Принципиальная схема расположения точек измерения 1–6 вибрационных характеристик агрегата 102-*J*

Таблица 1. Среднеквадратические значения виброскорости агрегата 102-*J*

| Точка измерения | Значение, мм/с | Точка измерения | Значение, мм/с |
|-----------------------|----------------|-----------------------|----------------|
| <i>B</i> ₁ | 0,5 | <i>B</i> ₆ | 1,7 |
| <i>G</i> ₁ | 1,9 | <i>G</i> ₄ | 0,4 |
| <i>O</i> ₁ | 0,6 | <i>O</i> ₄ | 0,5 |
| <i>B</i> ₂ | 0,7 | <i>B</i> ₅ | 0,4 |
| <i>G</i> ₂ | 1,0 | <i>G</i> ₅ | 0,3 |
| <i>O</i> ₂ | 0,5 | <i>O</i> ₅ | 0,2 |
| <i>B</i> ₃ | 2,8 | <i>B</i> ₆ | 0,5 |
| <i>G</i> ₃ | 1,5 | <i>G</i> ₆ | 0,2 |
| <i>O</i> ₃ | 1,4 | <i>O</i> ₆ | 0,2 |



вибрационные характеристики. Схема расположения точек измерения приведена на рис. 1.

Измеренные среднеквадратические значения виброскорости на 17 января 2006 г. приведены в табл. 1.

На основании анализа полученных результатов установлено следующее:

интенсивность вибрации турбины достигает 1,9 мм/с и удовлетворяет требованиям ГОСТ 10816-1-97 (не более 4,5 мм/с при длительной эксплуатации). Она определяется оборотной спектральной составляющей вибрации корпуса подшипника со свободной стороны в горизонтальном направлении, обусловленной недостаточной жесткостью крепления подшипника;

интенсивность вибрации КНД составляет 2,8 мм/с и удовлетворяет техническим требованиям. Она определяется оборотной спектральной составляющей вибрации корпуса подшипника со стороны турбины в вертикальном направлении, обусловленной остаточной неуравновешенностью, расцентровкой с турбиной и увеличенным зазором в подшипнике;

интенсивность вибрации КВД составляет 0,4 мм/с, удовлетворяет техническим требованиям и определяется оборотными спектральными составляющими, обусловленными остаточной неуравновешенностью ротора;

в спектре вибрационного сигнала определяющая доля энергии параметра виброскорости приходится на оборотную гармоническую составляющую.

После неплановой остановки цеха с 21.01.06 по 30.01.06 в период резкого снижения температуры окружающего воздуха при проведении первых пусков вибрационное состояние компрессора качественно изменилось. В спектрах вибрации корпусов агрегата в районе опорных подшипников основная энергия вибрационного сигнала приходилась не на оборотную спектральную составляющую (по замерам от 17.01.06), а на составляющую, равную половине оборотной.

По различным причинам пуск цеха задерживался, и было принято решение выполнить ревизию опорных подшипников КНД и КВД и соединительных муфт турбина-КНД и КНД-КВД, а также проверить состояние центровки корпусов агрегата. При ревизии опорных подшипников и соединительных муфт было установлено их удовлетворительное состояние, центровка агрегата не изменилась.

Пуск после стоянки и ревизии подшипников и муфт происходил штатно. Агрегат в течение нескольких дней работал на азоте. Частота вращения приводной турбины составляла 8300 об/мин. Общий уровень вибрации на контролируемых точках не превышал допустимых значений, снятие спектральных характеристик не проводилось.

При переходе на природный газ и повышении оборотов турбины до 8900 об/мин было отмечено повышение вибрации на корпусах агрегата в контролируемых точках до 3,5...3,8 мм/с. В спектрах вибрации определяющее значение имела составляющая, равная половине оборотной. Такой характер спектра наблюдался по всему агрегату, включая турбину.

При повышении частоты вращения турбины до 9240 об/мин уровень вибрации на корпусе подшипника КНД со стороны турбины в горизонтальном направлении достигал 4,5...4,8 мм/с на частоте, равной половине оборотной.

После выхода на нагрузку, близкую к nominalной, интенсивность вибрации агрегата определяли вибрацией корпуса подшипника КНД со стороны турбины в горизонтальном направлении на частоте, равной половине оборотной. Она составляла 2,8 мм/с — общий уровень и 2,3 мм/с — на гармонической составляющей, равной половине от оборотной.

Максимальную виброактивность агрегата наблюдали на недогруженном режиме, при работе на байпас, при нагружении виброактивность снизилась в 2 раза.

На основании изложенного выше можно сделать вывод, что повышенная виброактивность агрегата определяется вибрацией корпусов подшипниковых опор в горизонтальном направлении и ее низкочастотной спектральной составляющей.

Причина возникновения низкочастотной спектральной составляющей связана не с состоянием узлов агрегата (подшипников, муфт, уплотнений, роторов или состоянием центровки), а с возникновением субгармонического резонанса, вызванного изменением жесткости системы агрегат-фундамент-присоединительные трубопроводы.

Следующее обследование агрегата проводили 21 и 22 сентября 2006 г. с целью определения места изменения жесткости системы. Обследование включало: измерение вибрационных характеристик агрегата; снятие контурных характеристик по опорам КВД и КНД от крышечек подшипников до фундамента и по каждой колонне фундамента от рамы агрегата до места соединения с фундаментом цеха; обследование подводящих и отводящих трубопроводов.

Результаты проведения измерений вибрационных характеристик агрегата в обозначенных точках (нижние индексы) от 11.02 и 21.09 приведены в табл. 2. На рис. 2 приведены графики суммарного уровня вибрации по каждой точке измерения до остановки агрегата (17.01.06) и после пуска агрегата в работу (11.02.06 и 21.09.06), на рис. 3 приведены графики оборотной и половинной от нее гармонической составляющей в зависимости от точки измерения.

НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ

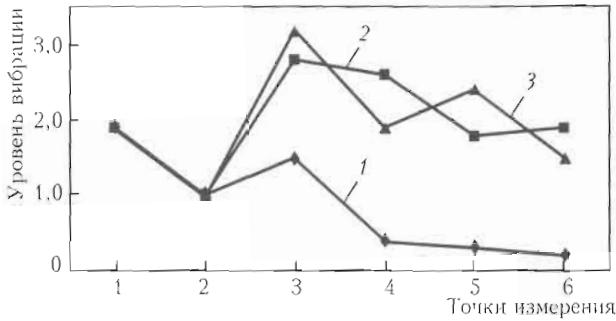


Рис. 2. График суммарного уровня вибрации в горизонтальном направлении по каждой точке измерения до остановки агрегата 17.01.06 (1) и после пуска агрегата в работу — 11.02.2006 (2) и 21.09.06 (3)

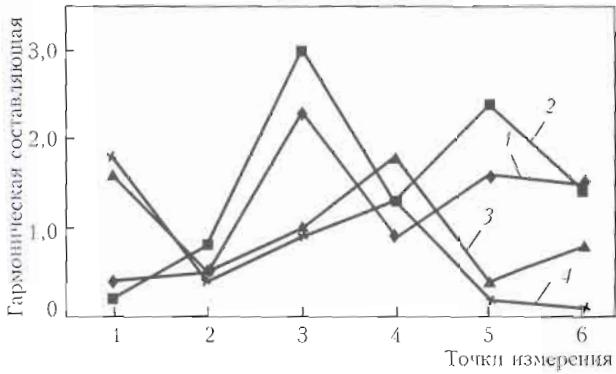


Рис. 3. График оборотной и половинной от нее гармонической составляющей в зависимости от точки измерения: кривые 1, 2 — 80 Гц соответственно 11.02.2006 и 21.09.2006; 3, 4 — 160 Гц соответственно 11.02.2006 и 21.09.2006

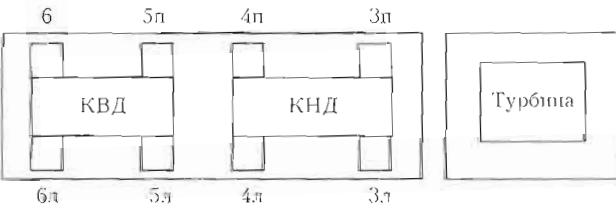


Рис. 4. Схема расположения точек снятия контурных характеристик

Контурные характеристики снимали по подшипниковым опорам КВД и КНД и далее по стойкам, на которые опираются лапы корпусов до нижнего края рамы, лежащего на фундаменте. Схема расположения точек замеров вибрации при снятии контурных характеристик показана на рис. 4. Нумерация точек соответствует нумерации подшипниковых опор. Левая и правая стороны определяются, если смотреть со стороны привода. В табл. 3 представлены результаты измерений виброскорости в обозначенных точках на частоте 80 Гц: 1 — крышка подшипника; 2 — корпус компрессора; 3 — лапа компрессора; 4 — подкладка; 5 — стойка; 6, 7 — соответственно верхний и нижний край рамы.

Таблица 2. Среднеквадратические значения виброскорости агрегата 102-Л, измеренные 11.02 и 21.09

| Точка измерения | Измеренное значение параметра виброскорости, мм/с | | | | | |
|-----------------|---|-------|-------|-------|--------|-------|
| | Общий уровень | | 80 Гц | | 160 Гц | |
| | 11.02 | 21.09 | 11.02 | 21.09 | 11.02 | 21.09 |
| B ₁ | 0,6 | 0,8 | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,7 |
| F ₁ | 1,9 | 1,9 | 0,4 | 0,2 | 1,6 | 1,8 |
| O ₁ | 0,6 | 0,6 | 0,2 | 0,3 | 0,3 | 0,3 |
| B ₂ | 0,6 | 0,7 | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,4 |
| F ₂ | 1,0 | 1,0 | 0,5 | 0,8 | 0,5 | 0,4 |
| O ₂ | 0,6 | 0,6 | 0,2 | 0,2 | 0,1 | 0,2 |
| B ₃ | 1,4 | 1,9 | 0,8 | 0,9 | 1,0 | 1,6 |
| F ₃ | 2,8 | 3,2 | 2,3 | 3,0 | 1,0 | 0,9 |
| O ₃ | 1,0 | 0,9 | 0,3 | 0,6 | 0,6 | 0,3 |
| B ₄ | 2,3 | 2,0 | 1,0 | 1,3 | 1,7 | 1,5 |
| F ₄ | 2,6 | 1,9 | 0,9 | 1,3 | 1,8 | 1,3 |
| O ₄ | 0,7 | 0,6 | 0,3 | 0,5 | 0,3 | 0,1 |
| B ₅ | 0,5 | 0,5 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,3 |
| F ₅ | 1,8 | 2,4 | 1,6 | 2,4 | 0,4 | 0,2 |
| O ₅ | 0,3 | 1,0 | 0,2 | 0,9 | 0,2 | 0,1 |
| B ₆ | 0,4 | 0,6 | 0,3 | 0,5 | 0,1 | 0,3 |
| F ₆ | 1,9 | 1,5 | 1,5 | 1,4 | 0,8 | 0,1 |
| O ₆ | 0,2 | 1,3 | 0,1 | 1,3 | 0,1 | 0,1 |

Таблица 3. Результаты измерения виброскорости при снятии контурных характеристик

| Точка измерения | Точка измерения и измеренное значение, мм/с | | | | | | | |
|-----------------|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 3л | 3п | 4л | 4п | 5л | 5п | 6л | 6п |
| B ₁ | 1,0 | 0,7 | 1,3 | 1,2 | 0,3 | 0,5 | 0,5 | 0,4 |
| F ₁ | 3,1 | 3,0 | 1,3 | 1,3 | 2,3 | 2,1 | 1,4 | 0,6 |
| O ₁ | 0,6 | 0,5 | 0,6 | 0,8 | 1,0 | 1,3 | 1,2 | 1,1 |
| B ₂ | 1,2 | 1,6 | 1,2 | 1,4 | | | | |
| F ₂ | 3,0 | 3,0 | 1,3 | 1,4 | | | | |
| O ₂ | 0,6 | 0,7 | 0,6 | 0,8 | | | | |
| B ₃ | 0,7 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 0,2 | 0,8 | 1,1 | 0,7 |
| F ₃ | 2,7 | 2,6 | 1,9 | 1,9 | 2,1 | 1,8 | 0,8 | 1,0 |
| O ₃ | 0,4 | 1,2 | 0,4 | 0,9 | 1,6 | 1,5 | 1,9 | 1,9 |
| B ₄ | 0,5 | 0,9 | 0,8 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,2 | 0,6 |
| F ₄ | 2,7 | 2,4 | 1,9 | 1,7 | 2,0 | 1,6 | 0,9 | 1,0 |
| O ₄ | 0,4 | 1,2 | 0,4 | 0,8 | 1,6 | 1,2 | 1,6 | 1,7 |
| B ₅ | 0,5 | 0,9 | 0,7 | 1,0 | 0,1 | 0,9 | 0,1 | 0,5 |
| F ₅ | 2,7 | 2,4 | 1,8 | 2,0 | 1,7 | 1,6 | 1,0 | 1,0 |
| O ₅ | 0,4 | 0,8 | 0,5 | 0,8 | 1,7 | 1,3 | 1,3 | 1,6 |
| B ₆ | 0,3 | 0,9 | 0,3 | 0,9 | 0,1 | 0,6 | 0,5 | 0,4 |
| F ₆ | 1,3 | 1,1 | 1,2 | 0,8 | 0,3 | 0,1 | 0,3 | 0,4 |
| O ₆ | 0,2 | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 0,1 | 0,2 | 0,1 | 0,6 |
| B ₇ | 0,2 | 0,7 | 0,2 | 0,7 | 0,1 | 0,6 | 0,1 | 0,4 |
| F ₇ | 0,7 | 0,7 | 0,6 | 0,6 | 0,5 | 0,3 | 0,3 | 0,3 |

НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ

Таблица 4. Результаты измерений вибрации при снятии контурных характеристик фундамента

| Точка измерения | Номер колонн и измеренное значение вибрации, мм/с | | | | | | | |
|-----------------|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Γ_1 | — | 0,5 | 0,5 | 0,3 | 0,3 | 0,5 | 0,4 | — |
| Γ_2 | 0,04 | 0,5 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,3 | — |
| Γ_3 | 0,1 | 1,1 | 0,5 | 0,2 | 0,4 | 0,5 | 0,9 | — |
| Γ_4 | 0,1 | 1,5 | 0,7 | 0,3 | 0,3 | 0,7 | 1,2 | 0,3 |
| Γ_5 | 0,1 | 1,1 | 0,5 | 0,2 | 0,4 | 0,7 | 0,9 | 0,1 |
| Γ_6 | 0,03 | 0,4 | 0,2 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,5 | 0,1 |

При визуальном обследовании фундамента нарушений его целостности обнаружено не было. Контурные характеристики фундамента снимались по высоте вдоль каждой колонны от места стыковки с рамой до нулевой отметки, с интервалом примерно 1 м. На рис. 5 показана схема расположения точек измерения вибрации при снятии контурных характеристик фундамента, в табл. 4 приведены результаты измерений. Нумерация точек измерения сверху вниз, нумерация колонн по часовой стрелке от первой колонны под турбиной.

При снятии контурных характеристик колонн № 2, 3, 6 и 7 отмечено увеличение амплитуды виброскорости на уровне Н-образной металлоконструкции. Замер вибрации на самой конструкции показал, что ее величина полностью определяется спектральной составляющей 80 Гц и составляет 9,5 мм/с со стороны нагнетания и 7,7 мм/с со сто-

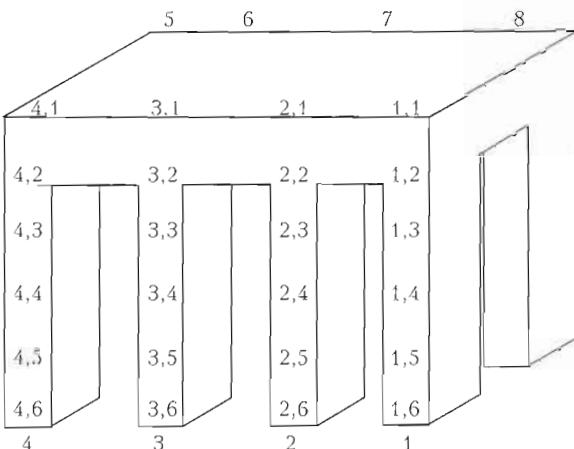


Рис. 5. Схема расположения точек измерения вибрации при снятии контурных характеристик фундамента

роны всасывания. Спектральные характеристики вибрации конструкции в точке со стороны нагнетания в горизонтальном направлении приведены на рис. 6.

Расчет металлоконструкции показал, что ее собственная частота в зависимости от жесткости закрепления изменяется от 60 до 125 Гц. На рис. 7 представлена расчетная форма колебаний металлоконструкции в предположении, что жесткость соединения закладная–бетон в местах приварки металлоконструкции нарушена.

На нагнетающем и всасывающем трубопроводах первой ступени было сделано по одному замеру вибрации в направлении максимальной вибрации

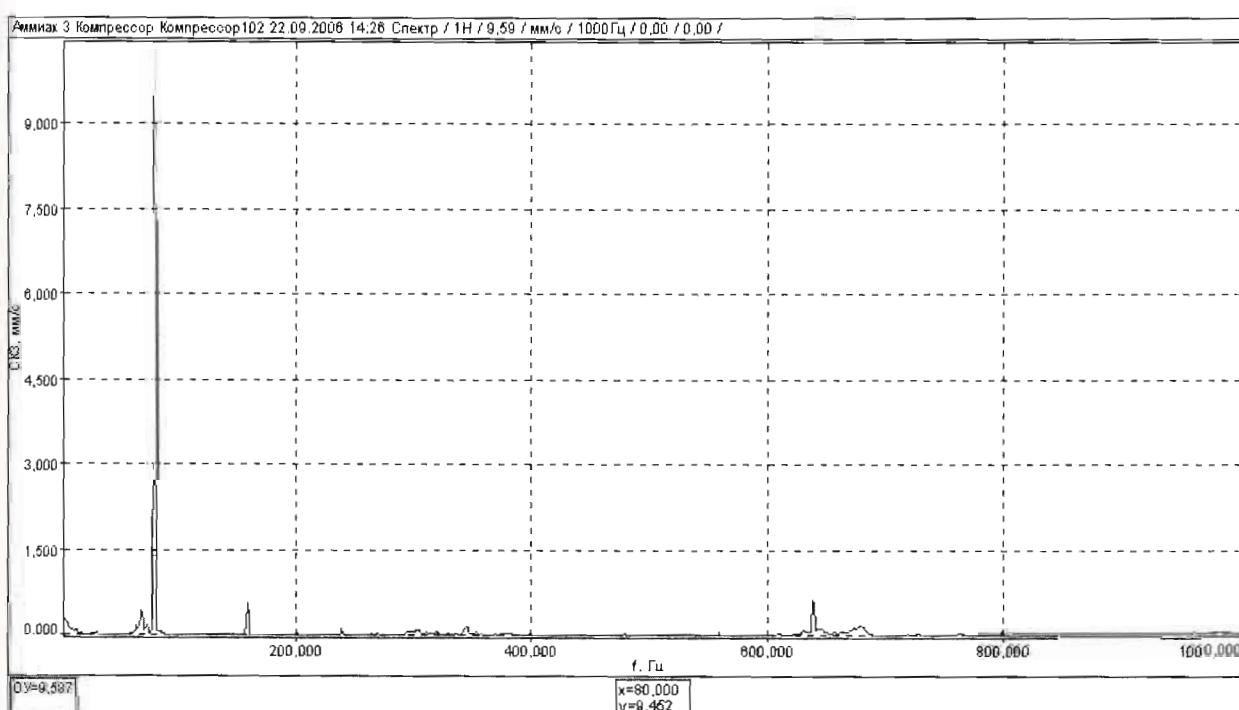


Рис. 6. Спектральная характеристика конструкции для раскрепления трубопроводов со стороны нагнетания первой ступени

НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ

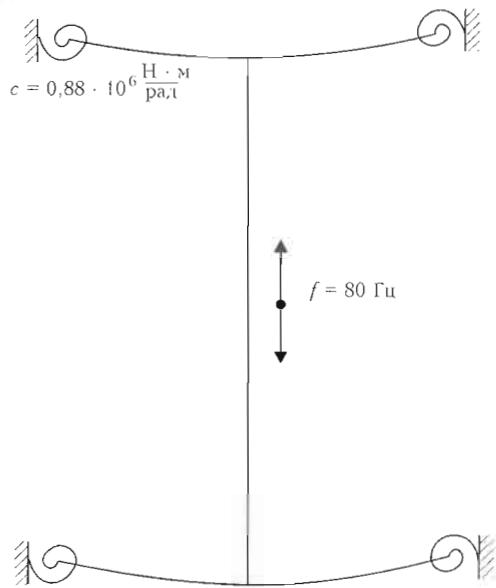


Рис. 7. Собственная форма колебаний при действительном значении жесткости

на корпусе КНД. Уровни вибрации на частоте 80 Гц составили, соответственно, 0,2 и 0,6 мм/с.

После останова агрегата 30 сентября 2006 г. и вскрытия корпусов были обнаружены следующие дефекты:

растрескивание и выкрашивание баббитового слоя правой (со стороны привода) части нижнего вкладыша опорно-упорного подшипника КНД;

растрескивание баббитового слоя правой (со стороны привода) части верхнего вкладыша опорного подшипника КНД;

износ гребней концевого лабиринтного уплотнения со стороны опорно-упорного подшипника;

следы касания ротором лабиринтных уплотнений по всей длине проточной части.

Возникновение дефекта внутри агрегата (разрушение баббитового слоя опорного и опорно-упорного подшипников КНД) после восьми месяцев работы с низкочастотной вибрацией при его отсутствии во время вибрационных обследований в январе и ревизии в феврале 2006 г. явилось следствием низкочастотной вибрации, вызванной субгармоническим резонансом (обследование 11.02.06).

Увеличение вибрации корпусов подшипников агрегата на частоте, равной половине оборотной, при снижении частоты вращения привода свидетельствует об отсутствии зависимости величины вибрации с частотой $0,5f_{\text{об}}$ от дефектов врачающихся деталей (роторов и муфт) или об отсутствии этих дефектов. Увеличение вибрации на частоте, равной половине оборотной, при снижении частоты вращения объясняется наличием резонансной зоны 8800... 9100 об/мин системы компрессор-фундамент-присоединенные трубопроводы.

Основным диагностическим признаком дефектов опорных подшипников (снижения несущей

Таблица 5. Средние квадратические значения виброскорости на корпусах подшипниковых опор компрессора на различных режимах работы

| Точка измерения | Измеренное значение, мм/с | | |
|-----------------|---------------------------|-------------|-------------|
| | 8640 об/мин | 9060 об/мин | 9180 об/мин |
| B_1 | 0,2 | 0,3 | 0,3 |
| Γ_1 | 0,6 | 0,8 | 0,5 |
| O_1 | 0,4 | 0,6 | 0,4 |
| B_2 | 0,2 | 0,4 | 0,5 |
| Γ_2 | 0,4 | 0,8 | 0,8 |
| O_2 | 0,3 | 0,6 | 0,4 |
| B_3 | 0,5 | 1,1 | 0,8 |
| Γ_3 | 1,0 | 1,5 | 0,8 |
| O_3 | 0,5 | 0,8 | 0,5 |
| B_4 | 0,5 | 1,2 | 0,8 |
| Γ_4 | 0,9 | 1,4 | 1,0 |
| O_4 | 0,2 | 0,6 | 0,2 |
| B_5 | 0,2 | 0,2 | 0,1 |
| Γ_5 | 0,2 | 0,2 | 0,2 |
| O_5 | 0,2 | 0,3 | 0,2 |
| B_6 | 0,1 | 0,3 | 0,2 |
| Γ_6 | 0,1 | 0,3 | 0,1 |
| O_6 | 0,2 | 0,3 | 0,2 |

способности в результате разрушения баббитового слоя) является наличие в спектре вибраций опоры низкочастотной ($0,5f_{\text{об}}$) спектральной составляющей.

Низкочастотная вибрация подшипниковых опор, вызванная внешним воздействием (субгармоническим резонансом), привела к разрушению опорных подшипников КНД. Разрушенные подшипники генерировали низкочастотную вибрацию и после устранения внешнего возбуждения. Длительный период работы агрегата с низкочастотной вибрацией объясняется тем, что изначально ее источник находился вне агрегата.

Расположение мест разрушений на вкладышах опорных подшипников КНД свидетельствует о наличии расцентровки турбина—КНД. Турбина находится выше и смешена вправо (если смотреть со стороны турбины) относительно КНД.

После проведения ремонта вибродиагностические обследования при пуске проводили на различных скоростях вращения привода. Первоначальное обследование при работе на азоте и скорости вращения 8640 об/мин, следующее — после перехода на природный газ и скорости вращения 9060 об/мин, окончательное — при полной нагрузке и скорости вращения 9180 об/мин. Результаты обследований представлены в табл. 4. Спектральные характеристики вибрации в точках 3 и 4 в горизонтальном направлении при различных скоростях вращения приведены на рис. 8 и 9.

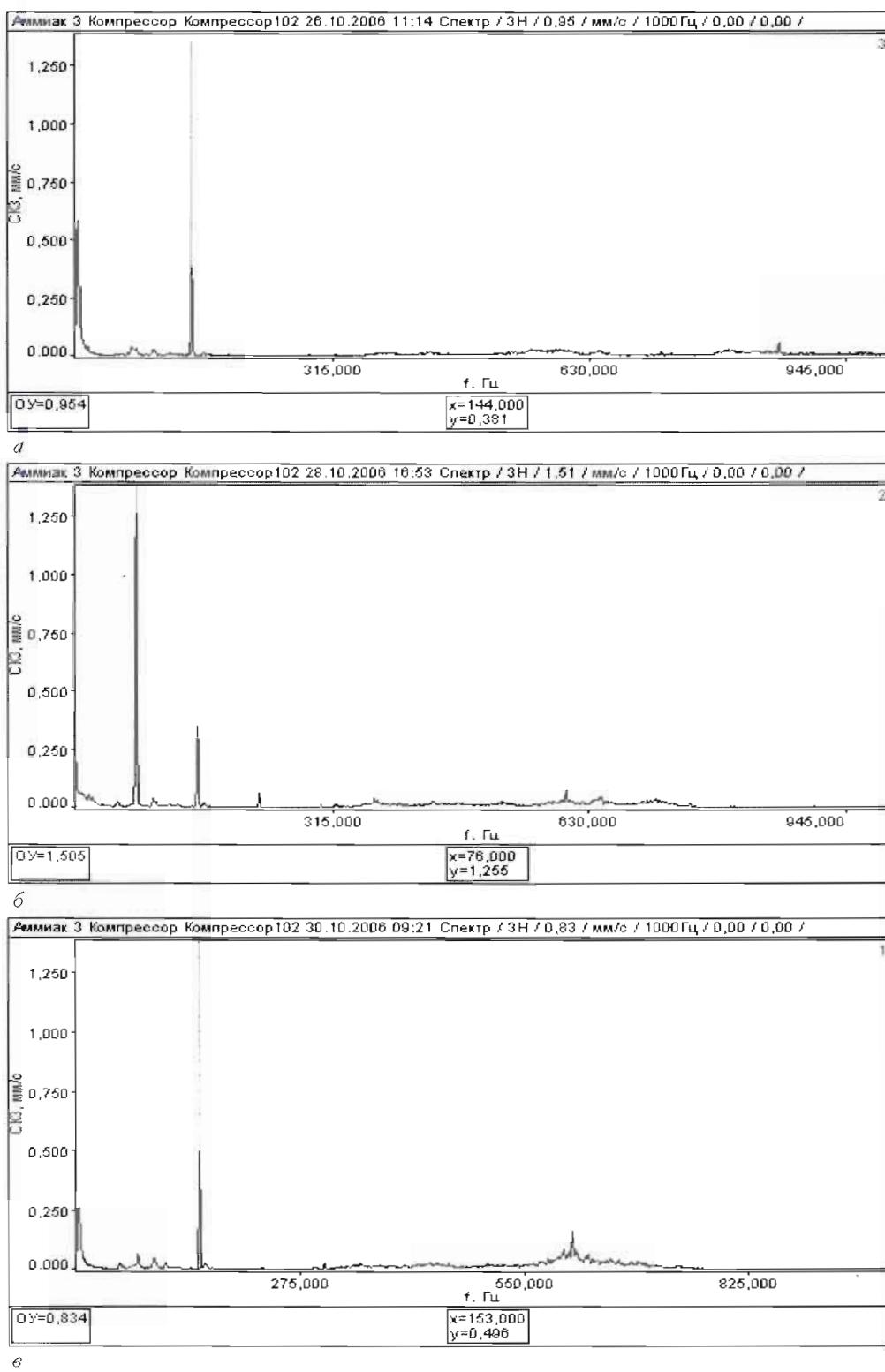


Рис. 8. Спектральные характеристики вибрации в точке 3 в горизонтальном направлении при различных скоростях вращения: а — 8640; б — 9060; в — 9180 об/мин

Выводы

При выходе из ремонта вибрационное состояние агрегата удовлетворительное и допускает его длительную эксплуатацию. По вибрационным параметрам агрегат доводки не требует, но длительная работа агрегата в диапазоне скоростей вращения 8800...9100 об/мин не допускается.

Причиной появления низкочастотной вибрации на корпусах подшипниковых опор КНД и КВД в горизонтальном направлении явился субгармонический резонанс системы компрессор-фундамент-присоединенные трубопроводы в рабочем диапазоне агрегата, возникший вследствие ослабления жесткостных связей в фундаменте.

НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ

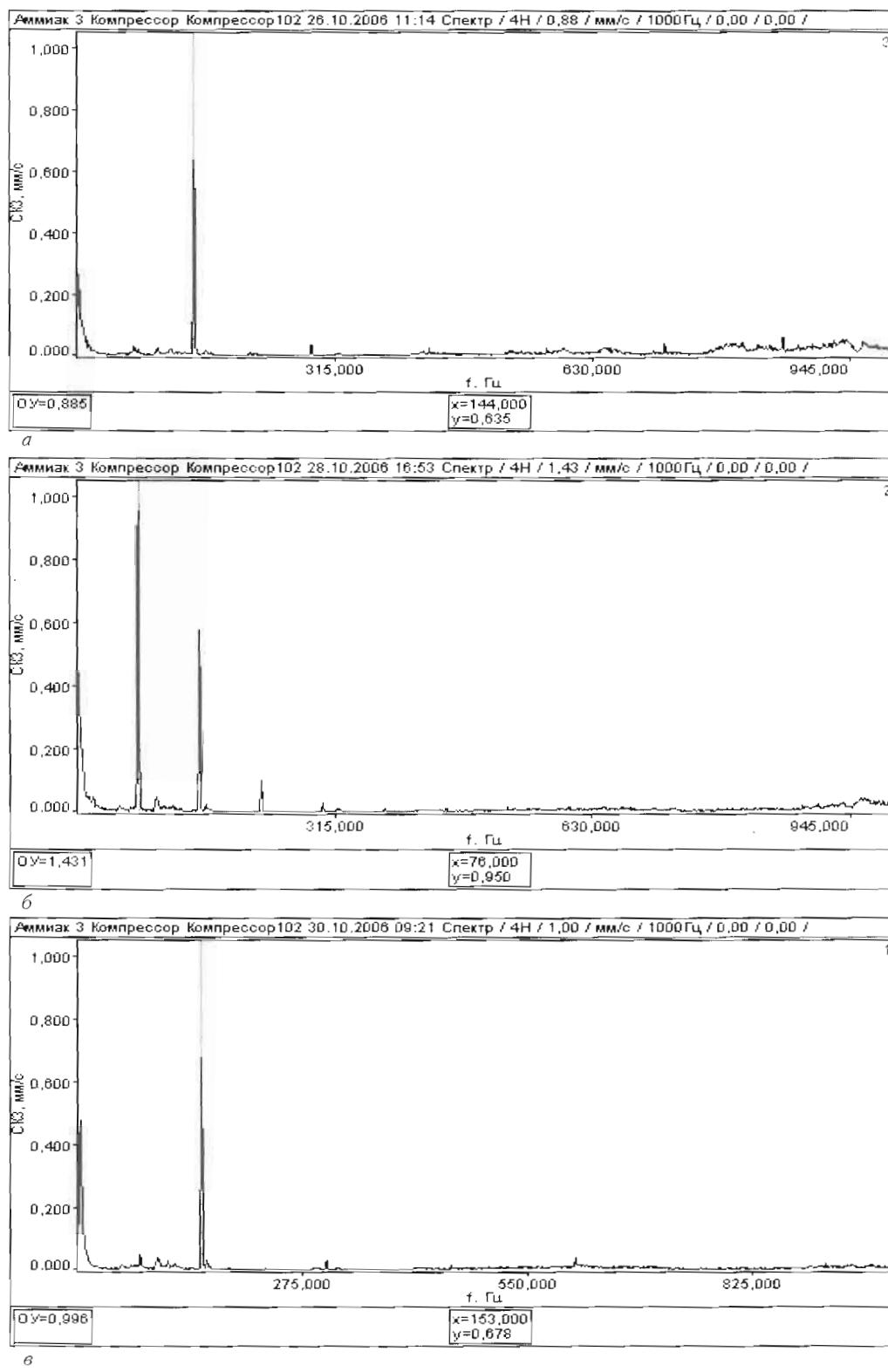


Рис. 9. Спектральные характеристики вибрации в точке 4 в горизонтальном направлении при различных скоростях вращения:
а — 8640; б — 9060; в — 9180 об/мин

Отстройка рабочего диапазона от резонансной зоны выполнена путем повышения собственной частоты Н-образной металлоконструкции между

стойками фундамента добавлением дополнительных ребер жесткости.

ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССА НАМАГНИЧИВАНИЯ ПОЛЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ СТЕРЖНЕЙ ИЗ МАГНИТОМЯГКИХ МАТЕРИАЛОВ В ОДНОРОДНОМ КВАЗИСТАТИЧЕСКОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ СОЛЕНОИДА. ОСНОВНАЯ КРИВАЯ НАМАГНИЧИВАНИЯ

В. Ф. МАТЮК, А. А. ОСИПОВ, А. В. СТРЕЛЮХИН

На основе арктангенсовой аппроксимации основной кривой намагничивания материала и выражения для центрального коэффициента размагничивания полых цилиндрических стержней из магнитомягких материалов предложена методика расчета основной кривой намагничивания этих стержней в однородном квазистатическом поле соленоида для разных значений их относительной длины и толщины стенки. Сравнение результатов расчета и эксперимента основных параметров основной кривой намагничивания для стержней с разной величиной коэффициента размагничивания показало их сопоставимость с приемлемой для практических целей точностью.

On the basis of arctangent approximation of the normal magnetization curve of a material and a formula for central demagnetization coefficient of hollow cylindrical rods made of m-metals the calculation of the normal magnetization curve of these rods in homogeneous quasistatic field of a solenoid has been carried out for different values of relative length and wall thickness of the rods. The calculation of fundamental parameters of the normal magnetization curve of hollow cylindrical rods with different values of demagnetization coefficient and their comparison with experimental data with acceptable for practical use accuracy has been carried out.

Для решения многих теоретических и практических задач неразрушающего контроля представляет интерес процесс намагничивания в однородном магнитном поле тел заданных размеров с известными магнитными свойствами их материала. При намагничивании в замкнутой магнитной цепи существует ряд аппроксимирующих выражений [1–4], используемых для расчета основной кривой намагничивания. Для образца, находящегося в разомкнутой магнитной цепи, при описании процесса намагничивания необходимо учитывать коэффициент размагничивания, который существенно влияет на ход основной кривой намагничивания [5]. Для учета этого влияния применяют разные подходы, наиболее последовательный из которых изложен в работе [5]. Его суть заключается в том, что для описания основной кривой намагничивания тела используется аппроксимирующее выражение, в которое вводится коэффициент размагничивания.

Целью настоящей работы является построение методики расчета основной кривой намагничивания полого цилиндрического стержня заданной геометрии с известными магнитными характеристиками его материала.

Методика расчета. Для описания основной кривой намагничивания материала воспользуемся выражением из работы [4]:

$$M = \pm \frac{M_s k_{ts} H^2 / \pi + k_1 k_3 H_c^2}{H^2 + k_2 H^{3/2} H_c^{1/2} + k_1 H_c^2} \times \left(\arctg \frac{H_c + H}{H'_0} - \arctg \frac{H_c - H}{H'_0} \right), \quad (1)$$

где H , M — соответственно напряженность магнитного поля и намагченность, соответствующие вершинам частных петель и основной кривой намагничивания одновременно; M_s — намагченность насыщения; H_c — коэрцитивная сила по предельной петле гистерезиса; H'_0 , k_{ts} , k_1 , k_2 ; k_3 — коэффициенты привязки кривой.

В соответствии с [6], для полого цилиндрического стержня с коэффициентом размагничивания $N_{\text{пп}}^D$ справедливо следующее выражение:

$$H = H_{\text{вн}} - N_{\text{пп}}^D M, \quad (2)$$

где $H_{\text{вн}}$ — напряженность внешнего магнитного поля.

С учетом (2) выражение (1) примет вид:

$$M = \pm \frac{M_s k_{ts} (H_{\text{вн}} - N_{\text{пп}}^D M)^2 / \pi + k_1 k_3 H_c^2}{(H_{\text{вн}} - N_{\text{пп}}^D M)^2 + k_2 (H_{\text{вн}} - N_{\text{пп}}^D M)^{3/2} H_c^{1/2} + k_1 H_c^2} \times \left(\arctg \frac{H_c + H_{\text{вн}} - N_{\text{пп}}^D M}{H'_0} - \arctg \frac{H_c - H_{\text{вн}} + N_{\text{пп}}^D M}{H'_0} \right). \quad (3)$$

НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ

Для определения коэффициента размагничивания $N_{\text{пп}}^p$ полого цилиндрического стержня можно воспользоваться выражением из работы [7], применимого в широком интервале изменения размеров стержня:

$$N_{\text{пп}}^p = \frac{1 - \rho}{2\pi\lambda^3} \int_0^{\lambda} \int_0^{2\pi} \times \left[\frac{\rho \bar{z}^2 (\gamma \lambda^2 + 2(1 - \gamma) \bar{z}^2)}{(\lambda + 1,7\rho)(\rho^2 - \rho(\rho + 1)\cos\phi + 0,25(\rho + 1)^2 + \bar{z}^2)^{3/2}} + \right. \\ \left. + \frac{\bar{z}^2 (\gamma \lambda^2 + 2(1 - \gamma) \bar{z}^2)}{(\lambda + 1,7)(1 - (\rho + 1)\cos\phi + 0,25(\rho + 1)^2 + \bar{z}^2)^{3/2}} \right] d\phi d\bar{z} + \\ + \frac{0,85\lambda}{\pi(\lambda + 1,7)} \int_0^{12\pi} \int_0^{\bar{r}} \frac{\bar{r} d\bar{r} d\bar{r}}{(\bar{r}^2 - \bar{r}(\rho + 1)\cos\phi + 0,25(\rho + 1)^2 + \lambda^2)^{3/2}}, \quad (4)$$

где $\lambda = L/(2R_2)$; $\rho = R_1/R_2$; $\bar{z} = z/R_2$; $\bar{r} = r/R_2$; L , R_1 , R_2 — соответственно длина, внутренний и внешний радиус цилиндрического стержня; z , r , ϕ — цилиндрические координаты; γ — постоянный коэффициент, равный 0,8.

Выражение (3) представляет собой трансцендентное уравнение относительно M . Для его решения использовался метод последовательных приближений: область изменения $H_{\text{вн}}$ разбивалась на определенное количество интервалов и для каждого $H_{\text{вн}}^i$ задавалось начальное значение M^i . Расчет прекращался, когда значения M^i соседних итераций отличались не более чем на 0,01 %.

Расчет и сравнение с экспериментом. Влияние коэффициента размагничивания полых цилиндрических стержней на вид и характер зависимости основной кривой намагничивания исследовали на образцах из стали 45 в состоянии поставки. Образцы имели внешний радиус 5 мм, длину 10, 20, 30, 50, 70, 100 и 150 мм, внутренний радиус от 1 до 4,5 мм.

Экспериментальную проверку результатов расчетов проводили посредством измерения магнитных характеристик этих же образцов при их перемагничивании в однородном квазистатическом магнитном поле соленоида [8]. Максимальное значение намагничающего поля $H_{\text{вн},m}$ при измерениях составляла 40 кА/м.

Размеры образцов, значения их коэффициентов размагничивания, рассчитанные по (4) и определенные экспериментально $N_{\text{пп}}^p$, приведены в таблице.

При расчетах использовали следующие магнитные характеристики материала образцов: M_r , H_c — соответственно остаточная намагченность и коэрцитивная сила по предельной петле гистерезиса; M_s — намагченность насыщения; M_c — намагченность материала при $H = H_c$; M_{2c} — намагченность материала при $H = 2H_c$.

Размеры полых цилиндрических стержней и значения их размагничающего фактора

| L , мм | R_1 , мм | R_2 , мм | λ | ρ | $N_{\text{пп}}^p$ | $N_{\text{пп}}^e$ |
|----------|------------|------------|-----------|--------|-------------------|-------------------|
| 10 | | | 1 | | 0,2509 | 0,2654 |
| 20 | | | 2 | | 0,1213 | 0,1345 |
| 30 | | | 3 | | 0,0741 | 0,0843 |
| 50 | 1 | 5 | 5 | 0,2 | 0,0389 | 0,0439 |
| 70 | | | 7 | | 0,0245 | 0,02755 |
| 100 | | | 10 | | 0,01455 | 0,01633 |
| 150 | | | 15 | | — | 0,00873 |
| 10 | | | 1 | | 0,2161 | 0,2252 |
| 20 | | | 2 | | 0,1053 | 0,1179 |
| 30 | | | 3 | | 0,0649 | 0,0745 |
| 50 | 2 | 5 | 5 | 0,4 | 0,0337 | 0,0389 |
| 70 | | | 7 | | 0,02133 | 0,02440 |
| 100 | | | 10 | | 0,01249 | 0,01444 |
| 150 | | | 15 | | — | 0,00771 |
| 10 | | | 1 | | 0,1726 | 0,1609 |
| 20 | | | 2 | | 0,0814 | 0,08576 |
| 30 | | | 3 | | 0,05 | 0,0549 |
| 50 | 3 | 5 | 5 | 0,6 | 0,02621 | 0,029 |
| 70 | | | 7 | | 0,01592 | 0,01828 |
| 100 | | | 10 | | 0,00943 | 0,01086 |
| 150 | | | 15 | | 0,005 | 0,00582 |
| 10 | | | 1 | | 0,1296 | 0,1239 |
| 20 | | | 2 | | 0,0633 | 0,0662 |
| 30 | | | 3 | | 0,0391 | 0,0427 |
| 50 | 3,5 | 5 | 5 | 0,7 | 0,02009 | 0,02269 |
| 70 | | | 7 | | 0,01235 | 0,01435 |
| 100 | | | 10 | | 0,00721 | 0,00855 |
| 150 | | | 15 | | 0,00375 | 0,00459 |
| 10 | | | 1 | | 0,0975 | 0,0845 |
| 20 | | | 2 | | 0,0451 | 0,0452 |
| 30 | | | 3 | | 0,02807 | 0,02926 |
| 50 | 4 | 5 | 5 | 0,8 | 0,01459 | 0,01568 |
| 70 | | | 7 | | 0,00837 | 0,00995 |
| 100 | | | 10 | | 0,00527 | 0,00595 |
| 150 | | | 15 | | 0,002499 | 0,00320 |
| 10 | | | 1 | | 0,0483 | 0,0431 |
| 20 | | | 2 | | 0,02416 | 0,02303 |
| 30 | | | 3 | | 0,01477 | 0,01498 |
| 50 | 4,5 | 5 | 5 | 0,9 | 0,00797 | 0,00808 |
| 70 | | | 7 | | 0,00462 | 0,00515 |
| 100 | | | 10 | | 0,002372 | 0,00309 |
| 150 | | | 15 | | — | 0,00167 |

χ_m — начальная магнитная восприимчивость; μ_m — максимальная магнитная проницаемость. Для исследуемых образцов эти характеристики имели следующие значения: $M_r = 0,66 \cdot 10^6$ А/м; $H_c =$

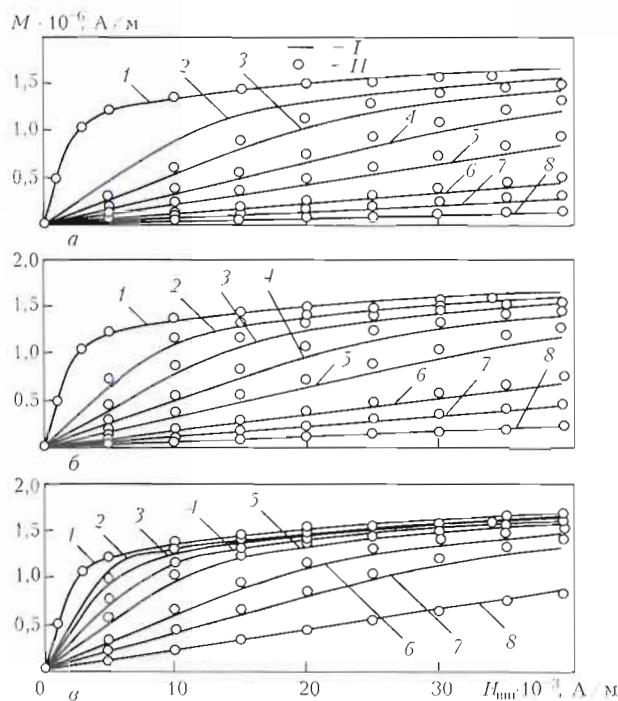


Рис. 1. Основные кривые намагничивания полых цилиндрических стержней (2-8) и их материала (I) при учете $N_{\text{пп}}^0$ для значений $\rho = 0,2$ (а); $0,6$ (б); $0,9$ (в); кривая I — $\pi = \infty$; 2 — 15; 3 — 10; 4 — 7; 5 — 5; 6 — 3; 7 — 2; 8 — 1 (расчетные (I) и экспериментальные (II) значения)

$= 700$ А/м; $M_s = 1,7 \cdot 10^6$ А/м; $M_c = 2,78 \cdot 10^5$ А/м; $M_{2c} = 0,65 \cdot 10^6$ А/м; $\chi_n = 90$; $\mu_m = 480$ Гн/м.

На рис. 1 приведены основные кривые намагничивания полых цилиндрических стержней разных размеров, рассчитанные по (3) и снятые экспериментально, и основная кривая намагничивания их материала. Из приведенных зависимостей видно, что практически для всех рассматриваемых случаев наблюдается удовлетворительное соответствие между расчетом и экспериментом. Как рассчитанные, так и экспериментально снятые зависимости показывают существенное влияние размеров исследуемых образцов на ход основной кривой намагничивания. Это влияние тем сильнее, чем больше толщина стенки полого цилиндрического стержня (рис. 1, а) и чем меньше его относительная длина. Причем даже для $\rho = 0,9$ и $\lambda = 15$ (длинный тонкостенный полый стержень) основная кривая намагничивания существенно отличается от аналогичной кривой материала, из которого этот стержень изготовлен.

При расчете зависимостей, приведенных на рис. 1, использовалось значение коэффициента размагничивания $N_{\text{пп}}^0$, определенного по выражению (4). Оно отличается от экспериментально измеренного коэффициента размагничивания $N_{\text{пп}}^0$ в среднем на 5 % (см. таблицу). На рис. 2 приведены основные кривые намагничивания полых цилиндрических стержней разных размеров, рассчитанные по (3) с учетом экспериментальных значений

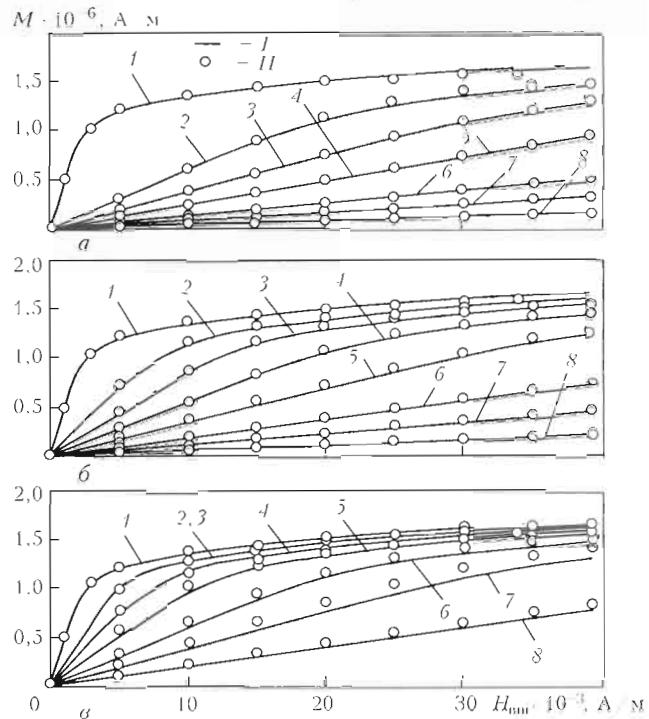


Рис. 2. Основные кривые намагничивания полых цилиндрических стержней (2-8) и их материала (I) при учете $N_{\text{пп}}^0$ для значений $\rho = 0,2$ (а); $0,6$ (б); $0,9$ (в); кривая I — $\pi = \infty$; 2 — 15; 3 — 10; 4 — 7; 5 — 5; 6 — 3; 7 — 2; 8 — 1 (расчетные (I) и экспериментальные (II) значения)

коэффициента размагничивания $N_{\text{пп}}^0$, в сравнении с экспериментально снятыми кривыми. Видно, что совпадение между экспериментальными и рассчитанными значениями в последнем случае несколько улучшилось.

Представляет практический интерес поведение таких параметров основной кривой намагничивания полых цилиндрических стержней, как намагниченность $M_{\text{пп}}^0$ при $H_{\text{вн}} = H_{\text{внит}}$, максимальная магнитная проницаемость $\mu_{\text{пп}}$, намагниченность $M_{\text{сп}}$ при $H_{\text{вн}} = H_{\text{сп}}$ и намагниченность $M_{2\text{сп}}$ при $H_{\text{вн}} = 2H_{\text{сп}}$ в сравнении с аналогичными параметрами основной кривой намагничивания их материала.

На рис. 3 показано влияние на максимальную намагниченность и максимальную магнитную проницаемость полых цилиндрических образцов их размеров. Из рисунка видно, что для тонкостенных полых цилиндрических стержней ($\rho = 0,9$) при относительной длине $\lambda = 10M_{\text{пп}} \approx M_s$. Для полых стержней с $\rho = 0,6$ величина $M_{\text{пп}}$ приближается к величине M_s материала при $\lambda = 15$. Максимальная магнитная проницаемость полых стержней $\mu_{\text{пп}}$ не достигает величины $\mu_m = 480$ их материала для всех размеров стержней в исследуемом диапазоне. Даже при $\rho = 0,9$ и $\lambda = 10$ ($N_{\text{пп}}^0 = 0,00309$) $\mu_{\text{пп}} = 230$. При этом $\mu_{\text{пп}}$ увеличивается с возрастанием λ в исследуемой об-

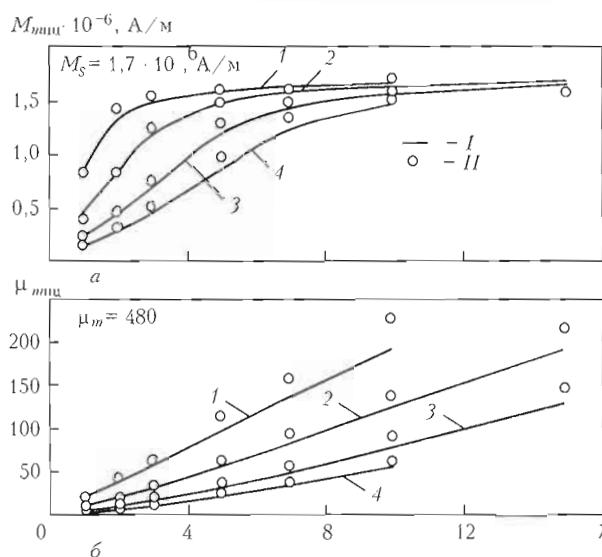


Рис. 3. Зависимость максимальной намагниченности M_{mpp} (а) и максимальной магнитной проницаемости μ_{mpp} (б) полых цилиндрических стержней от их относительной длины: кривая 1 — $\rho = 0,9$; 2 — 0,8; 3 — 0,6; 4 — 0,2 (расчетные (I) и экспериментальные (II) значения)

ласти изменения размеров стержней примерно по линейному закону.

Намагниченность полых цилиндрических стержней M_{cpc} при $H_{вш} = H_{cpc}$ и их намагниченность M_{2cpc} при $H_{вш} = 2H_{cpc}$ (рис. 4) в исследуемой области изменения размеров стержней также увеличиваются с возрастанием λ примерно по линейному закону и существенно меньше аналогичных параметров материала. Так, при $\rho = 0,9$ и $\lambda = 10$ ($N_{пц}^0 = 0,00309$) $M_{cpc} = 1 \cdot 10^5$ A/m по сравнению с $M_c = 2,78 \cdot 10^5$ A/m, а $M_{2cpc} = 2,9 \cdot 10^5$ A/m по сравнению с $M_{2c} = 6,5 \cdot 10^5$ A/m.

Выводы

Предложенная методика позволяет с приемлемой для практических задач точностью рассчитать основную кривую намагничивания полого цилиндрического стержня и ее параметры, такие как M_{mpp} , μ_{mpp} , M_{cpc} и M_{2cpc} , по параметрам основной кривой намагничивания, предельной петли магнитного гистерезиса материала стержней M_s , H_c , M_r , M_c и M_{2c} и по размерам стержня.

Величина M_{mpp} наименее чувствительна к изменению размеров полого цилиндрического стержня и достигает для тонкостенных стержней ($\rho = 0,9$) величины M_s материала при относительной длине стержня $\lambda = 10$.

Величины μ_{mpp} , M_{cpc} и M_{2cpc} в области изменения относительной длины λ полых цилиндри-

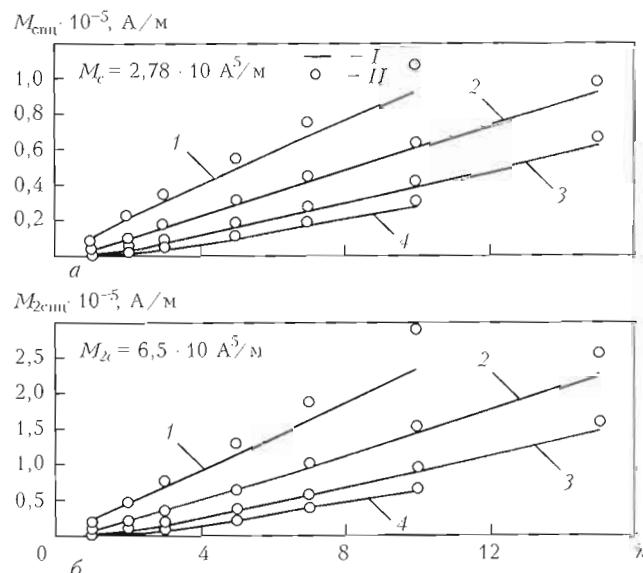


Рис. 4. Зависимость намагниченности M_{cpc} при $H_{вш} = H_{cpc}$ (а) и намагниченности M_{2cpc} при $H_{вш} = 2H_{cpc}$ (б) полых цилиндрических стержней от их относительной длины: кривая 1 — $\rho = 0,9$; 2 — 0,8; 3 — 0,6; 4 — 0,2 (расчетные (I) и экспериментальные (II) значения)

ческих стержней от 1 до 15 и соотношения внутреннего и внешнего радиусов ρ от 0,2 до 0,9 увеличиваются с возрастанием λ примерно по линейному закону и более чем в два раза меньше аналогичных параметров материала стержня.

1. Засецин Н. Н. Аналитическая функция, описывающая ход симметричной петли магнитного гистерезиса // Весці Акадэміі навук Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. наука. — 1973. — № 4. — С. 29–31.
2. Пономарев Ю. Ф. Гармонический анализ намагниченности ферромагнетиков, перемагничиваемых переменным полем, с учетом магнитного гистерезиса. I. Способ описания петель магнитного гистерезиса // Дефектоскопия. — 1985. — № 6. — С. 61–67.
3. Мельгуй М. А. Формула для описания нелинейных и гистерезисных свойств ферромагнетиков // Там же. — 1987. — № 11. — С. 3–10.
4. Матюк В. Ф., Осипов А. А. Математическая модель намагничивания ферромагнетиков // Доклады НАН Беларуси. — 2004. — Т. 48, № 5. — С. 43–45.
5. Пономарев Ю. Ф. Влияние размагничивающего фактора на гармонические составляющие намагниченности циклически перемагничиваемых ферромагнитных сердечников. I. Расчет // Дефектоскопия. — 1991. — № 5. — С. 61–69.
6. Аркадьев В. К. Электромагнитные процессы в металлах. Ч. 1. — М.-Л.: ОНТИ, 1934. — 230 с.
7. Матюк В. Ф., Осипов А. А., Стрелюхин А. В. Центральный коэффициент размагничивания полых цилиндрических стержней из магнитомягких материалов // Дефектоскопия. — 2007. — № 3. — С. 26–36.
8. Матюк В. Ф., Осипов А. А. Установка УИМХ для измерения магнитных характеристик магнитомягких материалов и изделий // Там же. — 2007. — № 3. — С. 12–25.

УЛЬТРАЗВУКОВОЕ ИЗМЕРЕНИЕ ТОЛЩИНЫ МНОГОСЛОЙНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ

Ю. В. КУЦ, Е. В. МОНЧЕНКО

Рассмотрен способ измерения толщины слоев многослойных сред с использованием фазовой обработки сигналов. Приведены результаты моделирования процесса обработки сигналов данным способом в системе Matlab.

The paper deals with the method of measurement of the thickness of layers in multilayered media using phase processing of signals. Given are the results of simulation of signal processing by this methods in MatLab system.

Одной из традиционных задач ультразвукового неразрушающего контроля (НК) является задача определения толщины объектов и изделий, стенок баллонов, работающих под высоким давлением, емкостей для хранения агрессивных жидкостей и т. п.

Эхо-импульсный метод УЗ толщинометрии предусматривает определение задержки τ , необходимой для прохождения ультразвукового зондирующего радиоимпульсного сигнала через исследуемый объект контроля (ОК) [1]. При условии известной скорости c распространения УЗ волны в двух направлениях между поверхностью и дном ОК задержка τ однозначно связана с толщиной h ОК:

$$h = ct/2. \quad (1)$$

Как правило, значение τ оценивают по временному положению огибающих зондирующего и донного ультразвуковых сигналов, которые определяются с помощью амплитудных детекторов. В этом случае измерение толщины возможно при условии выполнения неравенства $\tau > \tau_{ii}$, где τ_{ii} — длительность зондирующего импульса.

Измерение тонких ОК таким способом имеет некоторые ограничения, связанные с наличием мертвых зон — участка ОК, в пределах которого становится невозможным выделение отдельно огибающих донного и зондирующего сигналов в результате их наложения. Это ограничение становится еще более жестким во время измерения толщины слоев многослойных сред.

Известно несколько способов уменьшения мертвых зон [1, 2], среди которых можно назвать следующие:

повышение частоты заполнения радиоимпульсных ультразвуковых зондирующих сигналов;

использование ультразвуковых линий задержки (УЛЗ).

При практической реализации эти способы имеют определенные недостатки и ограничения.

© Ю. В. Куц, Е. В. Монченко, 2008

Первый способ предусматривает повышение частоты заполнения радиоимпульса, что приводит к сокращению длительности ультразвукового импульса τ_{ii} , а значит и уменьшению мертвых зон. Такой способ имеет следующее ограничение: с возрастанием частоты существенно увеличивается поглощение сигнала в материале ОК, соответственно ухудшается соотношение сигнал/шум. Суть второго способа объясняет рис. 1. На рисунке изображен электроакустический тракт УЗ

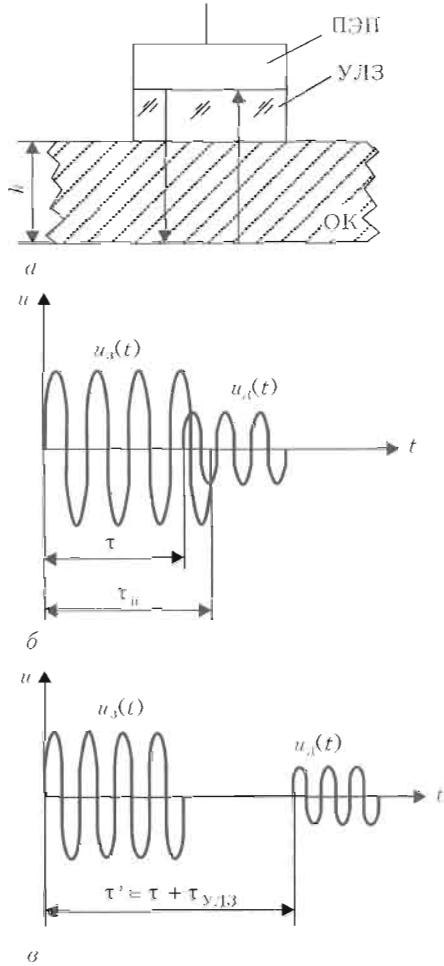


Рис. 1. Схема прозвучивания ОК с использованием УЛЗ (а); эпюры зондирующего и донного сигналов без УЛЗ (б) и с использованием УЛЗ (в)

НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ

толщинометра с УЛЗ (рис. 1, а), включающий пьезоэлектрический преобразователь (ПЭП), УЛЗ и ОК, а также эпюры зондирующего и донного импульсов при их наложении в случаях без УЛЗ (рис. 1, б) и с использованием УЛЗ (рис. 1, в).

ПЭП контактирует с ОК через акустический волновод. Его применение позволяет увеличить временной интервал τ' между зондирующими и донным импульсом и дает возможность избежать наложения во времени этих импульсов. Поскольку время задержки сигнала в УЛЗ $\tau_{\text{улз}}$ известно с высокой точностью, задержка определяется как $\tau = \tau' - \tau_{\text{улз}}$.

Такой способ позволяет убрать мертвые зоны при измерении толщин однослоиных ОК, но малоэффективен при измерении толщин многослойных сред, поскольку отраженные от разных слоев ОК сигналы накладываются независимо от наличия УЛЗ.

Решение задачи контроля многослойных сред путем анализа амплитудных характеристик сигналов не позволяет надежно выделить наличие отраженного сигнала, наложенного на зондирующий. В то же время возможности применения фазовых характеристик сигналов для решения этой задачи до конца не выяснены.

Целью статьи является исследование фазовых характеристик сигналов (ФХС) УЗ толщинометрии и их использование для выявления моментов наложения зондирующего и донного сигналов (в случае тонких ОК), или двух отраженных (в случае многослойных сред).

Постановка задачи. Проводится измерение толщины h ОК эхо-импульсным методом при условии одностороннего доступа и применениясовмещенного ПЭП. Зондирующий сигнал формируется в виде радиоимпульса

$$u_3(t) = \begin{cases} U_3 \cos 2\pi f t, & t \in [0, \tau_n], \\ 0 & t \notin [\tau_n, T_n], \end{cases} \quad (2)$$

где U_3, f — соответственно амплитуда и частота синусоидального сигнала заполнения радиоимпульса; T_n — период повторения зондирующих сигналов; $T_n >> f^{-1}$; τ_n — длительность радиоимпульса.

Значение τ_n больше значения задержки распространения сигнала в ОК, т. е. $\tau < \tau_n$. Необходимо исследовать ФХС при условии наложения донного и зондирующего сигналов и определения возможности измерения сигнала в ОК по временному положению момента искажения ФХС.

Решение поставленной задачи. При распространении сигнала в электроакустическом тракте толщинометра происходит затухание сигнала и изменение его огибающей вследствие потерь энергии, дисперсионности материала ОК, харак-

теристик преобразователя и других факторов. Поэтому донный сигнал после его преобразования в электрический в общем виде можно представить как

$$u_d(t) = \begin{cases} U_d(t) \cos 2\pi f(t - \tau), & t \in [\tau, \tau_n + \tau], \\ 0 & t \notin [\tau, \tau_n + \tau], \end{cases} \quad (3)$$

где $U_d(t)$ — огибающая донного сигнала.

Принятый сигнал (без учета действия шумов измерительного канала) представляет собой аддитивную смесь зондирующего и донного сигналов:

$$u_n(t) = u_3(t) + u_d(t), \quad t \in [0, T_n]. \quad (4)$$

Поскольку из условий задачи частоты сигналов заполнения $u_3(t)$ и $u_d(t)$ совпадают, а $\tau < \tau_n$, это не позволяет применить методы временной или частотной селекции для выделения донного сигнала. Вместе с этим наложение сигналов $u_3(t)$ и $u_d(t)$ приводит к изменению ФХС $u_n(t)$ относительно ФХС зондирующего сигнала, которая представляется выражением

$$\Phi(t) = \begin{cases} 2\pi f t, & t \in [0, \tau_n], \\ 2\pi f \tau_n, & t \notin [\tau_n, T_n]. \end{cases} \quad (5)$$

Определим ФХС с помощью преобразования Гильберта [3]. Рассмотрим более детально понятие ФХС и особенности ее определения.

ФХС вводится на основе использования аналитического сигнала $\dot{z}(t)$, который представляет собой комплекснозначную функцию действительной переменной, действительная часть которой совпадает с $u(t)$, а мнимая является гильберт-образом этого сигнала [4]. Для действительной функции $u(t)$, $t \in (-\infty, \infty)$ имеем

$$\dot{z}(t) = u(t) + j\hat{u}(t), \quad (6)$$

$$\hat{u}(t) = \frac{1}{\pi} \int_0^\infty \frac{u(t+\tau) - u(t-\tau)}{\tau} d\tau. \quad (7)$$

Применение аналитического сигнала позволяет однозначно определить огибающую и ФХС $u(t)$:

$$U(t) = \sqrt{u^2(t) + \hat{u}^2(t)}, \quad (8)$$

$$\Phi(t) = \arctg \frac{\hat{u}(t)}{u(t)} + \mathbf{K}[u(t), \hat{u}(t)], \quad (9)$$

где \mathbf{K} — оператор, устраняющий скачки фазы в точках перехода через границы интервалов $\left[-\frac{\pi}{2}n, \frac{\pi}{2}\right]$; $n = 1, 2, \dots$. При наложении зондирующего и донного импульсов происходит искажение ФХС, которое заключается в отличии фаз-

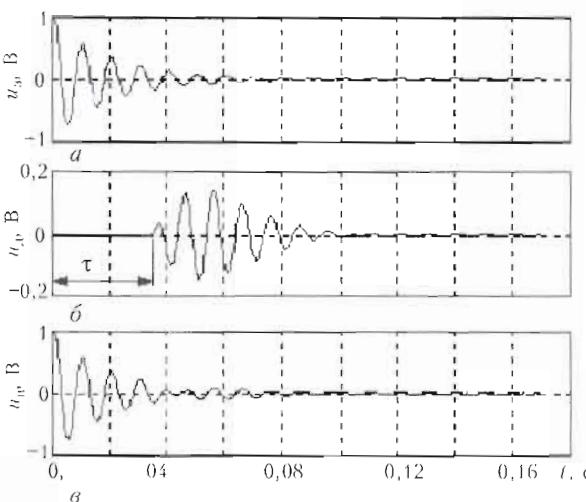


Рис. 2. Графики, иллюстрирующие формирование анализированного радиоимпульсного сигнала: а — зондирующий $u_z(t)$; б — донный $u_n(t)$: аддитивная смесь зондирующего и донного сигналов $u_n(t)$

зовой характеристики такого сигнала от фазовой характеристики зондирующего сигнала.

Сущность предложенного способа ультразвуковой толщинометрии [5] состоит в анализе ФХС и определении момента ее искажения. Если используется радиоимпульсный зондирующий сигнал с гармонической несущей, фазовая характеристика неискаженного сигнала является линейной функцией времени (на интервале $(0, \tau_u)$) вида (5). При совмещении во времени донного и зондирующего сигналов фазовая характеристика суммарного сигнала будет иметь скачок в пределах $\pm\pi$. Выявление этого скачка и определение его временного положения позволяет оценить задержку распространения ультразвукового сигнала в ОК. Скачок фазы оценивается по функции $\delta\Phi(t)$:

$$\delta\Phi(t) = \tilde{\Phi}(t) - \Phi(t). \quad (10)$$

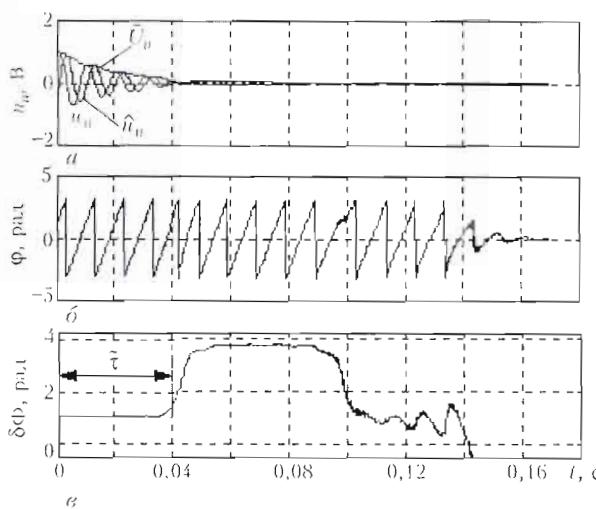


Рис. 3. Графики функций $U_n(t)$, $\hat{U}_n(t)$, $u_n(t)$ (а), $\phi(t)$ (б) и $\delta\Phi(t)$ (с)

Моделирование. С целью определения толщины слоев многослойных изделий и сред в условиях наложения излученных и отраженных импульсов данным способом было проведено моделирование в системе MATLAB.

Зондирующий сигнал формировался как радиоимпульс с экспоненциальной огибающей вида

$$u_z(t) = A_1 \exp\left(-\frac{t}{\tau_{\text{п.в.}}}\right) \cos(2\pi f t), \quad (11)$$

где $\tau_{\text{п.в.}} = 0,02$ с — постоянная времени; $t = lT_d$; $T_d = 100$ мкс — период дискретизации; $l = 1,1700$; $f = 100$ Гц; $A_1 = 1$ В.

Выборочные значения сигнала $u_z(t)$ изображены на рис. 2, а. На сигнал $u_z(t)$ накладывается отраженный сигнал $u_d(t)$, который имеет такую же частоту заполнения, но другую огибающую. Момент формирования $u_d(t)$ задержан во времени относительно $u_z(t)$ на величину τ :

$$u_d(t) = A' \exp\left(\frac{t-\tau}{\tau}\right) \cos[2\pi f(t-\tau)] \times \sin[14\pi(t-\tau)], \quad (12)$$

где $A' = 0,5$ В; $\tau = 0,035$ с.

График функции $u_d(t)$ изображен на рис. 2, б.

На рис. 2, в изображена суперпозиция сигналов $u_z(t)$ и $u_d(t)$, т. е. $u_n(t) = u_z(t) + u_d(t)$. Огибающая сигнала $u_n(t)$ мало отличается от огибающей зондирующего, что не позволяет использовать ее для толщинометрии.

Применим к сигналу $u_n(t)$ преобразование Гильберта. Результаты расчета гильберт-образа $\hat{U}_n(t)$ и его огибающей $\tilde{U}_n(t)$ изображены на рис. 3, а. Из графика видно, что ни огибающая, ни гильберт-образ $\hat{U}_n(t)$ не позволяют сделать вывод о наличии или отсутствии донного сигнала.

Проанализируем ФХС сигнала $u_n(t)$. На рис. 3, б изображена дробная часть ФХС, $\varphi(t) \in (-\pi, \pi)$. Полученные значения $\varphi(t)$ используются для определения функции $\Phi(t)$ по формуле (9) и вычисления скачка фазы $\delta\Phi(t)$ в соответствии с (10).

Результаты расчетов показаны на рис. 3, в. Из графика видно, что на интервале $t \in (0,035; 0,045)$ с фаза скачкообразно изменяется на величину $\sim 1,5$ рад. Временное положение скачка фазы соответствует моменту прихода донного импульса. Таким образом, определяя временное положение скачка фазы относительно зондирующего сигнала, можно определить $\tilde{\tau}$ — оценку времени распространения ультразвукового сигнала в ОК. Неизвестная толщина ОК рассчитывается по формуле (1).

Выводы

Рассмотрен способ определения толщины стенок тонкостенных ОК при одностороннем доступе.

НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ

Способ основан на анализе фазовых характеристик сигналов эхо-импульсной толщинометрии.

Предложенный способ позволяет исследовать многослойные объекты с плоско-параллельными слоями, поскольку каждый слой, отличающийся акустическими свойствами, порождает отраженный сигнал, который даже в случае наложения на донный или другой зондирующий сигналы будет искажать ФХС принятого сигнала. Временное положение момента искажения фазовой характеристики принятого сигнала позволяет определить задержку t_i , соответственно, толщину слоя h_i .

Представлены результаты моделирования сигналов эхо-импульсной толщинометрии для данной

задачи, которые подтверждают работоспособность предложенного способа.

1. Ермолов И. Н. Теория и практика ультразвукового контроля. — М.: Машиностроение, 1981. — 240 с.
2. Королев М. В. Безэталоные ультразвуковые толщиномеры. — М.: Машиностроение, 1985. — 80 с.
3. Куц Ю. В., Щербак Л. М. Застосування перетворення Гільберта у фазометрії // Технологические системы. — 2004. — № 2. — С. 50–55.
4. Бендат Дж., Пирсол А. Прикладной анализ случайных данных // Пер. с англ. — М.: Мир, 1989. — 540 с.
5. Пат. України на корисну модель № 18441. Спосіб ультразвукового вимірювання товщини багатошарових матеріалів та виробів / В. С. Сременюк, Ю. В. Куц, О. В. Монченко. — Опубл. 15.11.2006, Бюл. № 11, 2006.

Нац. авиац. ун-т Украины,
Киев

Поступила в редакцию
09.10.2007



Международная специализированная выставка
измерительной техники и автоматики "МЕРА-2008"
15 – 17 апреля 2008 года
ЦВК «Экспоцентр», павильон 7



МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ И АВТОМАТИКИ «МЕРА-2008»

15–17 апреля 2008 года ЦБК «Экспоцентр», Москва

Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии совместно с Международным научно-техническим обществом приборостроителей и метрологов и ЗАО «Евроэкспо» 15–17 апреля 2008 г. проводит 14-ю Международную выставку МЕРА-2008 в Экспоцентре на Красной Пресне, г. Москва.

Выставка МЕРА-2008 проводится как официальное мероприятие Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии по плану Министерства промышленности и энергетики Российской Федерации.

МЕРА-2008 проводится одновременно с выставкой «Трубопроводный транспорт» и состав ее экспозиции будет отражать интересы и особенности обеспечения этого промышленного комплекса современной измерительной техникой и автоматикой.

Тематика выставки:

1. Измерительные приборы и системы
2. Приборы и системы для испытания строительных материалов
3. Измерительные информационные системы и элементы

По вопросам участия и за дополнительной информацией обращаться:

тел.: +7495 925 6561/62, mera@meraexpo.ru;

тел.: +7495 202 6571, kavalarov@mail.ru

Сайт выставки: www.meraexpo.ru

УДК 621.19.24

НЕРАЗРУШАЮЩИЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕТАЛЛА ЭНЕРГООБОРУДОВАНИЯ В ПРОЦЕССЕ ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПО ТВЕРДОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ ПЕРЕНОСНЫХ ТВЕРДОМЕРОВ

Е. Я. ВЕКСЛЕР, И. В. ЗАМЕКУЛА, В. Ю. ТОЛСТОВ, Е. В. СЕМЕШКО

Рассмотрены неразрушающие методы определения механических свойств металла энергооборудования в процессе длительной эксплуатации. Описаны применяемые в практике неразрушающего контроля типы современных портативных твердометров. Представлены способы расчета механических свойств металла по твердости. На основе анализа многолетнего опыта применения технологии неразрушающего контроля механических свойств в энергосистеме Киевэнерго показана возможность и перспективность использования технологии при комплексной оценке ресурса надежной эксплуатации оборудования, отработавшего нормативные сроки.

The paper deals with non-destructive methods of determination of mechanical properties of metal of power generation equipment during long-term operation. Types of modern portable hardness meters applied in NDT practical work are described. Methods of calculation of metal mechanical properties with regard to hardness are given. The possibility and prospects for using the technology in comprehensive evaluation of safe residual operating life of equipment which has operated past its specified life, are demonstrated based on analysis of many years of experience of application of the technology of NDT of mechanical properties in Kievenergo power system.

Сложные проблемы обеспечения безаварийной работы металла энергооборудования связаны с его эксплуатацией при повышенных температурах (от 115 до 565 °C), повышенном рабочем давлении среды (от 0,07 МПа до неограниченного) и больших сроках службы (от 100 до 350 тыс. ч и более, или от 10 до 40 лет и более).

Наблюдение за металлом различных узлов энергооборудования в течение расчетных сроков службы и сроков, превышающих расчетные, показало, что используемые в теплоэнергетике стали в процессе эксплуатации претерпевают изменения микроструктуры, связанные с распадом основного твердого раствора, выделением избыточных фаз, их коагуляцией, перераспределением и накоплением микроповрежденности [1].

Развивающиеся в процессе эксплуатации структурные изменения закономерно приводят к изменению механических свойств стали. Таким образом, уровень механических свойств стали, оцененный после различных сроков эксплуатации, может считаться одним из критериев оценки ее работоспособности и остаточного ресурса.

Опыт эксплуатации энергооборудования высокого давления (котлов, турбин, паропроводов, тепломагистралей, сосудов) показывает, что особенности поведения каждой детали в процессе длительной работы во многом обусловлены ее исходным состоянием и условиями службы. Следовательно, для получения достоверных сведений о поведении металла в течение длительного време-

ни и, в особенности, при решении вопроса о надежности дальнейшей эксплуатации оборудования, срок службы которого приближается к расчетному или превышает его, исследование только одной детали из всего комплекса узла оказывается недостаточным.

Для осуществления программы систематических массовых исследований металла деталей действующего оборудования были применены неразрушающие методы контроля металла, позволяющие проводить исследования по месту без вырезки специальных образцов [2, 3]. К ним относится определение механических свойств металла по твердости с помощью переносных твердометров [4, 5].

На практике этот метод является наиболее доступным и распространенным в технологии контроля механических свойств и технической диагностики.

Механические свойства металла определяются, как известно, стандартными методами, требующими вырезки специальных образцов.

Особенно сложно определение механических свойств металла действующих паропроводов высокого давления. В этом случае проверка механических свойств связана с рядом громоздких, длительных и дорогостоящих операций. Кроме того, в результате такой проверки на паропроводе появляются дополнительные заварки и сварные швы, что безусловно снижает его эксплуатационную надежность.

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ РАЗДЕЛ

В связи с этим большой практический интерес представляют способы определения свойств металла без вырезки, позволяющие проводить массовую проверку металла каждой детали энергостановки в исходном состоянии и после длительных сроков службы. В основу неразрушающего метода определения твердости и механических свойств стали положен принцип определения «нового» числа твердости H_d , независящего от нагрузки и диаметра шарика в большом интервале нагрузок [5]. Новое число твердости или пластическая твердость представляет собой модуль упрочнения материала при вдавливании в него сферического наконечника, в отличие от чисел твердости по Бринеллю, характеризующих условное напряжение на поверхности отпечатка.

Новое число твердости определяется по глубине восстановленного отпечатка из соотношения:

$$H_d = \frac{P}{\pi D h}, \quad (1)$$

где P — «эффективная нагрузка»; D — диаметр шарика; h — глубина восстановленного отпечатка.

Поскольку при испытаниях по месту глубину отпечатка с необходимой точностью замерить невозможно, твердость H_d определяется по диаметру восстановленного отпечатка.

Установлена аналитическая зависимость между числом твердости H_d и твердостью по Бринеллю для $HB \leq 300$:

$$HB = 0,82 H_d. \quad (2)$$

Как показано в работах [2, 5], новое число твердости H_d связано с основными механическими характеристиками следующими эмпирическими зависимостями:

предел прочности

$$\sigma_b = 0,37 H_d (1 - 10^{-3} H_d), \text{ кгс}/\text{мм}^2; \quad (3)$$

предел текучести

$$\sigma_y = 0,185 H_d, \text{ кгс}/\text{мм}^2; \quad (4)$$

относительное сужение

$$\psi_k = 0,36 S_k (0,6 + \frac{170}{H_d}) 10^{-2}, \%. \quad (5)$$

Установленные зависимости использованы для косвенного определения механических свойств теплоустойчивых сталей по твердости.

Проведены сравнительные исследования точности определения прочностных и пластических свойств металла стандартными методами и по твердости. В качестве материала исследования выбраны вырезки из труб паропроводов, в исходном состоянии и после различных сроков эксплу-

атации. В общей сложности было проведено сравнительное определение твердости и свойств более 200 деталей из сталей марок 20, 12МХ, 12Х1МФ и 15Х1МФ. Механические свойства, рассчитанные по твердости, сравнивались с данными стандартных испытаний исследованного металла на растяжение по ГОСТ 1497.

Анализ полученных данных показал следующее.

Зависимости (3, 4) для расчета предела прочности и предела текучести по твердости имеют общий характер и справедливы для всех исследованных сталей. В интервале величин σ_b 50...55 кгс/мм² погрешность определения предела прочности составляет 15 %, а σ_b 55...65 кгс/мм² — 6 %. Погрешность определения предела текучести σ_y несколько выше и составляет в среднем 17 %.

Как показывают данные расчета величины относительного сужения ψ_k , зависимость (5) не может считаться справедливой для исследованной группы сталей. Определение ψ_k по описанной методике нецелесообразно.

Наиболее распространенными в практике неразрушающего контроля твердости металла энергооборудования являются портативные электронные приборы динамического действия.

К ним в первую очередь относятся приборы типа ТЭМП, ТДМ, ТД-003, работающие по принципу упругого отскока бойка (принцип Шора) [7].

Принцип действия отечественного твердомера ТД-003 (производство НПП «Машиностроение», г. Днепропетровск) основан на измерении скорости отскока твердосплавного шарика диаметром 2,5 мм, служащего ударным элементом, и скорости его падения (рис. 1).

Допустимый диапазон измерений на приборе в единицах HB 90...470, в единицах HRC 20...70. При этом абсолютная погрешность определения твердости по Бринеллю в диапазоне HB 90...150 составляет 10 % и HB 150...470 составляет 15 %.

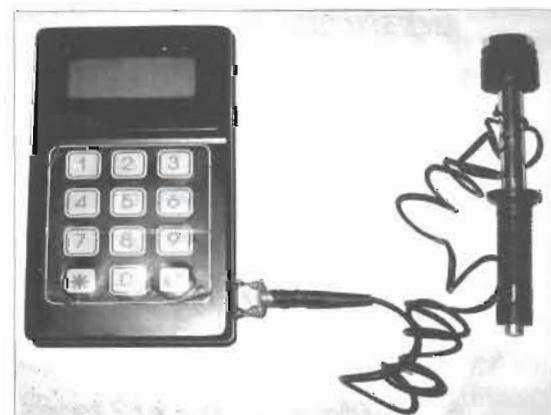


Рис. 1. Твердомер ТД-003 (датчик с индикатором в виде шарика и дисплей прибора)



Прибор позволяет измерять твердость подповерхностных слоев исследуемой детали глубиной до 1 мм.

Для измерения твердости более тонких подповерхностных слоев детали (глубиной до 0,5 мм) применяется динамический твердомер ТДУ-005М отечественного производства (НПП «Машиностроение», г. Днепропетровск), работающий по принципу качающегося индентора.

В качестве индентора в приборе используется алмазная пирамидка, которая под действием пьезопластины колеблется на резонансной ультразвуковой частоте.

Допустимый диапазон измерений на приборе в единицах HB 95...470, в единицах HRC 20...70. При этом абсолютная погрешность определения твердости по Бринеллю в диапазоне HB 95...150 составляет 10 % и HB 150...300 — 15 %, HB 300...470 — 20 %.

К преимуществам описанных приборов прежде всего относятся их мобильность, малогабаритность, портативность, что позволяет проводить измерения твердости на действующем оборудовании различных параметров в труднодоступных участках на большом количестве деталей.

Поскольку инденторы приборов достаточно малы и работают в динамических режимах, точность измерений в значительной степени влияют условия, при которых эти измерения проводятся. Достоверность результатов снижается при выполнении измерений в условиях тепловых цехов с естественной вибрацией работающего оборудования. При этом ошибка измерений проявляется при выполнении контроля тонкостенных труб пароперегревателей, экранов, гибов водопускных и пароперепускных труб с толщиной стенки менее 10 мм. Кроме того, недостоверные результаты могут быть получены при контроле твердости литых деталей оборудования (корпуса арматуры паропроводов, корпусные детали турбин и т. п.) за счет скрытых литейных дефектов типа пор и раковин.

В последние времена для повышения точности измерений твердости в различных производственных условиях получили распространение динамические ударные твердомеры, которые базируются на методе двойного ударного отпечатка [8].

К ним относится серия приборов ударного действия ВПИ Волгоградского политехнического института [5, 9].

Ударный твердомер ВПИ-1 (рис. 2) со сферическим индентором служит для определения твердости по HB методом ударного внедрения стального шарика диаметром 5 мм. Для проведения испытаний в окно бойка прибора вставляется эталон, твердость которого известна. При ударном нагружении под действием пружины происходит одновременное вдавливание шарика в поверхность

Рис. 2. Твердомер ВПИ-1 с индентором в виде шарика для двойного отпечатка с эталоном

эталона и испытуемого образца. Твердость определяют по отношению диаметров отпечатков на эталоне d_e и образце d_o .

Погрешность определения числа твердости HB по Бринеллю с помощью прибора ВПИ-1 не зависит от твердости эталона и не превышает 6 %.

Для оценки возможности определения, механических свойств стали стандартными методами и по твердости HB , определенной с помощью ВПИ-1, были проведены сравнительные испытания металла 20 труб.

Ошибка в определении предела прочности и текучести по числу HB , определенному с помощью ВПИ-1, составляет 12 и 10 % соответственно. В интервале величин σ_b 50...65 кгс/мм² погрешность определения предела прочности составляет только 6 %. Расчет величины относительного сужения по числу HB (ВПИ-1) не представляется возможным.

В мировой практике широкое применение получил переносной портативный ударный твердомер Польди-Хютте нового поколения, работающий по методу двойного отпечатка. В комплект прибора входят патентованные эталоны и оптическое устройство для измерения диаметров отпечатков.

Изложенные методы определения твердости и механических свойств теплоустойчивых сталей получили широкое распространение в энергосистеме Киевэнерго при проведении неразрушающего контроля свойств металла энергооборудования в процессе монтажа и длительной эксплуатации.

К объектам контроля в первую очередь относятся оборудование сверхвысокого, высокого, среднего и низкого давления, отработавшее расчетный или парковый ресурс, а также вспомогательное оборудование, отработавшее более 20 лет:

блоки мощностью 100 и 300 МВт с наработкой соответственно до 260 и 220 тыс. ч;

паровые и водогрейные котлы различной паропроизводительности с наработкой до 60 лет;

тепломагистральные трубопроводы с наработкой до 45 лет;

сосуды с наработкой до 50 лет.

Технология неразрушающего контроля включает массовые экспрессные измерения твердости деталей узла с помощью портативных электрон-

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ РАЗДЕЛ

ных твердомеров. В случаях, когда результаты измерений не удовлетворяют нормативному уровню, проводится контрольная проверка твердости приборами ВПИ или Польди-Хютте, что обеспечивает более высокую точность.

Многолетний опыт использования неразрушающих методов контроля твердости и механических свойств металла энергооборудования показывает перспективность метода и возможность его применения при комплексном решении задач оценки ресурса надежной эксплуатации энергооборудования, отработавшего нормативный срок.

Измерение твердости по месту с помощью портативных динамических твердомеров позволяет получать достоверные результаты определения прочностных свойств металла, что значительно сокращает, а в ряде случаев исключает объем трудоемких, дорогостоящих прямых испытаний образцов металла на вырезках.

1. Векслер Е. Я., Гинзбург Э. С. Изменение структуры и свойств в стали 12Х1МФ в процессе эксплуатации

Энергоналадка Киевэнерго,
Киев

энергооборудования // Электрические станции. — 1971. — № 4. — С. 28–31.

2. Векслер Е. Я., Славский Ю. И., Чайковский В. М. Оценка механических свойств металла энергооборудования неразрушающим методом // Энергетика и электрификация. — 1984, — № 4. — С. 8–11.
3. Векслер Е. Я., Славский Ю. И., Чайковский В. М. Оценка механических свойств металла энергооборудования неразрушающим методом // Там же. — 1984. — № 4. — С. 9–11.
4. ГОСТ 22761 — Металлы и сплавы. Метод измерения твердости по Бринеллю переносными твердомерами статического действия.
5. Гудков А. А., Славский Ю. И. Методы измерения твердости металлов и сплавов. — М.: Металлургиздат, 1982. — 164 с.
6. ГОСТ 18835 — Металл. Метод измерения пластической твердости.
7. ГОСТ 23273 — Металлы и сплавы. Измерение твердости методом упругого отскока бойка (по Шору).
8. ГОСТ 18661 — Сталь. Измерение твердости методом ударного отпечатка.
9. Векслер Е. Я., Чайковский В. М. Современные методы контроля структуры и свойств металла энергооборудования. — Издание Укр. республ. правления науч.-техн. обва энергетики и электротехнической пром-ти. — Киев, 1982. — С. 62.

Поступила в редакцию
28.01.2008



ГЕРВИКОН • 2008

9–12 сентября 2008 г. в г. Перемышль (Польша) состоится очередная
XII Международная научно-техническая конференция
«Герметичность, вибонадежность и экологическая безопасность насосного
и компрессорного оборудования» — «ГЕРВИКОН-2008»

Тематика конференции

Проблемы снижения стоимости жизненного оборудования

Вопросы динамики системы «ротор–опоры–уплотнения» центробежных машин

Снижение шума и вибрации насосов и компрессоров, вибродиагностика и прогнозирование остаточного ресурса

Повышение надежности и эффективности уплотнительных устройств насосов и компрессоров

Вопросы трибологии и метрологии опор и уплотнений

Экологически безопасная эксплуатация насосного и компрессорного оборудования, проблемы энерго- и ресурсосбережения

По инициативе фирмы «ТРИЗ» (г. Сумы, Украина) в рамках конференции состоится специализированный семинар «Проблемы безопасной эксплуатации компрессорного и насосного оборудования в химической промышленности» — «ЭККОН-08».

Организационный комитет конференции «ГЕРВИКОН-2008»

Сумський державний університет
ул. Римського-Корсакова, 2
г. Суми, 40007, Україна
тел./факс: +38 (0542) 33-35-94
E-mail: marts@omdm.sumdu.edu.ua

Politechnika Świetokrzyska
Al. 1000-lecia PP7 25-314, Kielce, Poland
тел./факс: +48(41) 342-45-16;
+48 (41) 344-86-98 в г. Кельце, Польща
E-mail: kundera@tu.kielce.pl

УДК 621.19.14

ОЦЕНКА НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ОБЕЧАЕК СОСУДОВ В ЗОНАХ УСТАНОВКИ ШТУЦЕРОВ

В. М. ДОЛИНСКИЙ, В. И. ЧЕРЕМСКАЯ

Предложена методика, позволяющая оценить несущую способность обечаек с учетом укрепления их штуцерами при условии коррозионного износа в процессе эксплуатации сосудов. Приведены примеры расчетов несущей способности обечаек на некоторых промышленных объектах.

A procedure is proposed which allows evaluation of the load-carrying capacity of shells taking into account their reinforcement by nozzles under the condition of corrosion wear in vessel service. Examples of calculations of the load-carrying capacity of shells in some industrial objects are given.

Завершающим этапом технического диагностирования является оценка технического состояния технологического оборудования [1]. При этом условия статической прочности в безмоментных зонах корпусов оцениваются по ГОСТ из [2] и определяются следующим образом:

$$S \geq S_p, \quad (1)$$

где S — вероятная (прогнозируемая) толщина стенки обечайки или днища в конце назначенного срока службы; S_p — расчетная толщина стенки обечайки,

$$S_p = pD/(2[\sigma] - p), \quad (2)$$

где p — расчетное давление; D — внутренний диаметр аппарата; $[\sigma]$ — допускаемые напряжения.

В области штуцерных соединений условия статической прочности определяются по ГОСТу [3] и РД [4]. Одним из возможных вариантов оценки прочности является условие

$$d \leq d_p, \quad (3)$$

где d — диаметр отверстия; d_p — расчетный диаметр отверстия, не требующего укрепления,

$$d_p = 2(S/S_p - 0,8) \sqrt{DS}. \quad (4)$$

Когда толщина стенки сосуда приближается к расчетному значению, то

$$d_p = 0,4 \sqrt{DS_p}. \quad (5)$$

Введем следующие обозначения:

$$\delta_p = d_p/D \text{ и } \gamma = D/(2S_p), \quad (6)$$

и запишем зависимость (5) в виде

$$\delta_p = 0,4 / \sqrt{2\gamma}. \quad (7)$$

Условность понятия «отверстие, не требующее укрепления» становится очевидной, поскольку

© В. М. Долинский, В. И. Черемская, 2008

буквальное толкование приведенного термина свидетельствует о равнопрочности царг обечайок, не содержащих отверстий, и царг, в которых имеется отверстие или ряд отверстий с интервалом $2\sqrt{DS_p}$. Поэтому подход к оценке работоспособности конструкций, содержащих дефекты, размеры которых помещаются в пределах окружности с диаметром d_p , представляется сомнительным [5].

Учитывая, что ГОСТ [4] был ориентирован на вновь проектируемое оборудование и любое отверстие реально укрепляется бонкой или патрубком штуцера при существующей технологии изготовления, понятие «диаметр отверстия, не требующего укрепления» является оправданным, поскольку применяемые бонки и штуцера укрепляли достаточно малые отверстия. В процессе износа и утонения патрубков условие укрепления отверстия (3) и (5) не всегда выполняется.

При диагностировании сосуда важно уметь определить отбраковочную толщину стенки патрубка штуцера. Имеющиеся нормативные материалы [6] базируются на технологических соображениях при изготовлении сосудов и не определяют несущую способность оборудования.

В данной работе определяется допускаемая толщина стенки патрубка штуцера по условию равнопрочности обечайки, ослабленной отверстием (рис. 1).

В соответствии с принципом компенсации площадей [7]

$$F_0 \leq F_1. \quad (8)$$

Здесь $F_0 = (0,5d - S_1)S_p$; $F_1 = (S_1 - S_{lp})l_1$; S_1 , S_{lp} , l_1 — исполнительная, расчетная толщина стенки и расчетная длина внешней части патрубка штуцера [3, 7] (см. рис. 1).

Выражение (8) сводится к условию

$$\eta \geq \eta_k, \quad (9)$$

где η_k — корень уравнения;

$$\eta = S_1/S_p; \quad (10)$$

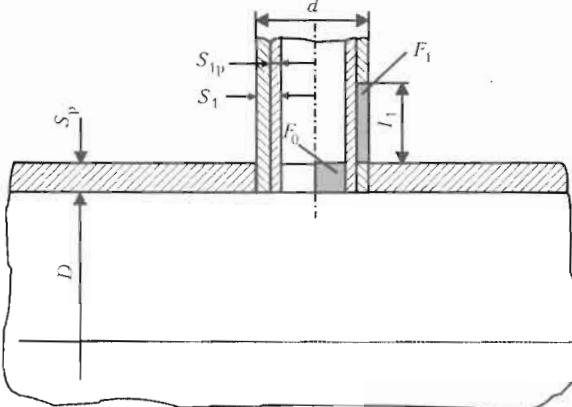


Рис. 1. Схематическое изображение штуцера

$$\gamma\eta^3 - 0,4\sqrt{2}\gamma(\eta^2 + 0,16\gamma) + 0,08\eta = 0. \quad (11)$$

Результаты решения уравнений (7) и (10) представлены на рис. 2, который позволяет по известному параметру обечайки определить две характеристики штуцера: диаметр отверстия, «не требующего укрепления» и толщину стенки патрубка штуцера, которая это отверстие укрепляет.

Пример 1. Исходные данные сепаратора поз.160-Ф, установленного на Одесском припортовом заводе: расчетное давление $P = 1,71$ МПа, расчетная температура $t = 65^\circ\text{C}$, материал — сталь SA516Gr55 (отечественный аналог — сталь 25), рабочая среда — воздух.

В соответствии с данными [2] допускаемые напряжения $[\sigma] = 154$ МПа, внутренний диаметр $D = 1800$ мм, наружный диаметр штуцера $d = 33,4$ мм, толщина стенки патрубка штуцера по результатам измерений $S_1 = 11,2$ мм.

Результаты расчета. Расчетная толщина стенки обечайки S_p по (2): $S_p = 17,0$ мм; параметр γ по (6): $\gamma = 100$; расчетный диаметр отверстия, не требующего укрепления d_p по (6): $d_p = 96,2$ мм, $\delta_p = 0,0283$ по (7).

Условия укрепления отверстия в стенке обечайки выполнены:

$$S_1 > \eta_k S_p; 11,2 \text{ мм} > 10,7 \text{ мм}.$$

Пример 2. Исходные данные сосуда поз.Е-346/1, установленного на ООО «Линос», г. Лисичанск: расчетное давление $P = 1,8$ МПа, расчетная температура $t = 50^\circ\text{C}$, материал — сталь 09Г2С, рабочая среда — сжиженный газ (пропан). В соответствии с [2] допускаемые напряжения $[\sigma] = 201$ МПа. Внутренний диаметр $D = 3400$ мм, наружный диаметр штуцера $d_1 = 64,4$ мм, толщина стенки патрубка штуцера по результатам измерений — $S_{11} = 18,2$ мм.

ОАО «УкрНИИхиммаш»,
Харьков

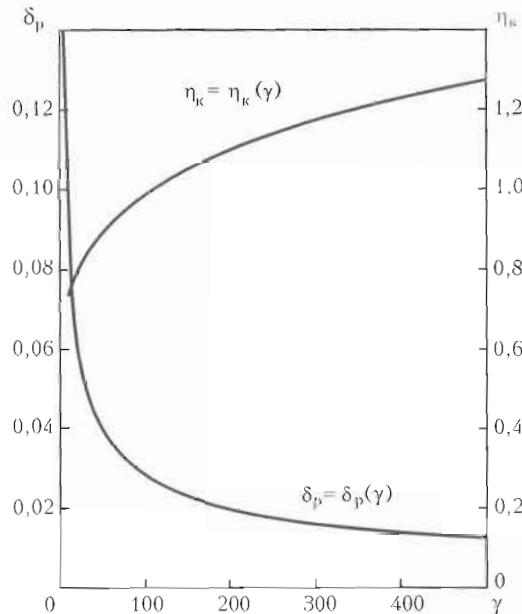


Рис. 2. Графические представления решений уравнений (7) и (10)

Результаты расчета. Расчетная толщина стенки обечайки S_p по (2): $S_p = 17,0$ мм; параметр γ по (6): $\gamma = 100$; расчетный диаметр отверстия, не требующего укрепления, d_p по (6): $d_p = 96,2$ мм, $\delta_p = 0,0283$ по (7).

Толщина стенки патрубка штуцера S_1 , которая укрепляет отверстие по (9), (10) $S_1 = 16,8$ мм, $\eta_k = 0,987$ (см. рис. 2).

Условия укрепления отверстия в стенке обечайки выполнены:

$$S_1 > \eta_k S_p; 18,2 \text{ мм} > 16,8 \text{ мм}.$$

Предложенная методика позволяет оценить несущую способность обечайек с учетом укрепления их штуцерами при условии коррозионного износа в процессе эксплуатации.

1. ДСТУ 4046-2001. Оборудование технологическое нефтеперерабатывающих, нефтехимических и химических производств. Техническое диагностирование. Общие технические условия.
2. ГОСТ 14249-89. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность.
3. ГОСТ 24755-89. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность укреплений отверстий.
4. РД 26.260.09-92. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность цилиндрических обечайек в местах присоединения штуцеров при внешних статических нагрузках.
5. Т. І. Смоляк, І. І. Капцов, В. І. Холодов та ін. Розрахунок міцності газопроводів з корозійними дефектами // Нафтова і газова пром-сть. — 2005. — № 4. — С. 31–33.
6. ИТН-93. Инструкция по техническому надзору, методам ревизии и отбраковке трубчатых печей, резервуаров, сосудов и аппаратов нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств. — Волгоград, 1975 г.
7. Сосуды и трубопроводы высокого давления. Справочник. — М.: Машиностроение, 1990. — 383 с.

Поступила в редакцию
13.05.2007

УДК 621.19.14

СИСТЕМА ПОДГОТОВКИ, АТТЕСТАЦИИ И СЕРТИФИКАЦИИ ПЕРСОНАЛА В ОБЛАСТИ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ В УКРАИНЕ

В. А. ТРОИЦКИЙ, А. И. БОНДАРЕНКО, Н. Г. БЕЛЫЙ, А. Л. ШЕКЕРО, Н. В. ТРОИЦКАЯ

Описаны особенности системы подготовки, аттестации и сертификации персонала в области неразрушающего контроля внешнедомоственного органа по сертификации персонала Центра сертификации при УО НКТД — аккредитованного Национальным агентством по аккредитации Украины.

The paper describes the features of the system of training, qualification and certification of personnel in NDT field of the independent Personnel Certification Body, TsS at US NDT TD accredited by the National Accreditation Agency of Ukraine.

Современный уровень развития физических и химических методов оценки качества технического состояния различных промышленных объектов, конструкций и сооружений без разрушения материалов, разнообразие технических средств и глубоких теоретических разработок позволяет говорить о неразрушающем контроле (НК) как о самостоятельной и чрезвычайно важной отрасли науки и техники. НК является неотъемлемой составляющей оценки качества продукции и главным источником информации о техническом состоянии различных объектов ответственного назначения, которые выработали свой ресурс. Поддержание высокой эксплуатационной надежности различных технических объектов требует не только совершенствования и более активного использования неразрушающих методов контроля, правильного выбора методов, методик и современных средств контроля, но и высокой профессиональной подготовки операторов-дефектоскопистов. Роль дефектоскопистов неизмеримо возрастает в связи с тем, что НК объектов в настоящее время в основном проводится вручную. Во всем мире большое внимание уделяется развитию процедуры сертификации персонала в области НК, с помощью которой определяют уровень квалификации персонала по одному или нескольким методам НК. Сертифицированные специалисты в области НК относятся к основным профессиональным работникам предприятий, выполняющим контроль и техническую диагностику промышленных объектов. Поэтому от квалификации специалистов, выполняющих контроль промышленных объектов, напрямую зависит их работоспособность и надежность.

Особую важность и актуальность сказанное выше представляет для Украины в связи с тем, что большинство промышленных объектов, тру-

ботранспортных систем различного назначения, другого промышленного оборудования, эксплуатируемого предприятиями страны, являются изношенными, устаревшими и выработавшими свой ресурс.

В настоящее время в мировой практике систему сертификации персонала в области НК определяют три основополагающих документа.

1. Американские нормы SNT-TC-1A, разработанные в конце 1960-х годов и в настоящее время широко используемые в США, Канаде, Южной Америке и азиатских странах. Последняя редакция SNT-TC-1A вышла в 2006 г. [1].

2. Международный стандарт ISO 9712. Работа над этим стандартом была начата в середине 1980-х годов, а первая редакция принята в 1991 г. В настоящее время действует новая редакция стандарта, которая вышла в 2005 г. [2].

3. Европейский стандарт EN 473, описывающий систему аттестации персонала в области НК, впервые принятый в 1991 г. Новая редакция стандарта EN 473, которая вышла в 2000 г., включила в себя большую часть стандарта ISO 9712 и его нормы в области подготовки и аттестации специалистов по НК являются обязательными для большинства стран Европы.

Европейский стандарт EN 473:2000 гармонизирован в Украине как ДСТУ EN 473:2001 [3]. На базе стандарта EN 473 осуществляется аттестация и сертификация персонала в области НК в России, которая выполняется в соответствии с «Правилами аттестации персонала в области неразрушающего контроля» [4] и которую проводят независимые органы по аттестации персонала в области НК. Эти правила гармонизированы с требованиями стандарта EN 473, но содержали принципиальные отличия по перечню промышленных секторов (объектов контроля), определяющих об-

СЕРТИФИКАЦИЯ И СТАНДАРТИЗАЦИЯ

льство аккредитации независимых органов в области НК в России [5].

В 2005 г. в России зарегистрирована «Система добровольной сертификации персонала в области неразрушающего контроля и технической диагностики РОНКТД», которая представляет актуализированный вариант ранее действующей системы с учетом обновленных версий EN 473:2000, ISO 9712:2005 и основных положений ПБ 03-440-02 [6]. Новая система имеет расширенную среду действия по видам сертификации, областям аккредитации и типам промышленных объектов и состоит из двух документов:

- правил функционирования системы добровольной сертификации персонала;
- правил сертификации персонала в области НК.

В Республике Беларусь нормативная база по сертификации персонала в области НК состоит из двух основополагающих технических нормативных актов [7]:

- стандарта СТБ ЕН 473:2005 «Квалификация и сертификация персонала в области неразрушающего контроля. Общие требования», который введен в действие с 1 августа 2005 г. и идентичен европейскому стандарту EN 473:2000;
- технического кодекса ТКП 5.1.06-2004 «Национальная система подтверждения соответствия Республики Беларусь. Порядок сертификации компетентности персонала. Основные положения».

Сравнительный анализ требований инструкции SNT-TC-1A, стандартов ISO 9712 и EN 473. Сравнительный анализ некоторых требований стандартов EN 473:2000 (ДСТУ EN 473:2001) и ISO 9712:2005 приведен в работе [8]. Между этими стандартами имеются некоторые отличия в трактовке отдельных требований, которые касаются производственного стажа, опыта практической работы на предприятии, системы оценки знаний кандидатов, проведения ресертификации и некоторых других требований. Важнейшие нормы американских норм SNT-TC-1A и стандартов ISO 9712 и EN 473 по сертификации персонала в области НК практически совпадают по требованиям к признакам и уровням квалификации персонала. Однако американские нормы SNT-TC-1A и стандарты ISO 9712 и EN 473 расходятся в определении сертифицирующей инстанции. Эти отличия заключаются в следующем.

Американские нормы SNT-TC-1A в качестве органа по сертификации персонала (ОСП) для лица (кандидата), подлежащего аттестации в области НК, определяют предприятие (работодателя). Нормы SNT-TC-1A содержат ряд указаний, пред назначенных для того, чтобы позволить работодателям создать в своей компании программу сертификации, согласно которой они могли бы обу

чать, аттестовывать и сертифицировать свой собственный персонал в области НК. Согласно SNT-TC-1A право проводить сертификацию имеет работодатель. В то же время методика SNT-TC-1A разрешает работодателю уполномочивать независимый орган проводить обучение и экзамены. При этом работодатель должен быть уверен, что услуги предоставляются в соответствии с требованиями SNT-TC-1A и, в частности, теми организациями, которые описаны в разделах 7 и 8 норм SNT-TC-1A соответственно. Аттестация и сертификация персонала в области НК по американским нормам широко распространена в мире и соглашения по ней осуществляются между изготовителем продукции и заказчиком во многих отраслях промышленности, что обусловлено следующими причинами:

- для предприятий, у которых заказчик требует сертификаты на персонал, проще и дешевле осуществить его аттестацию непосредственно на предприятии;
- аттестация на предприятии тесно связана с практической работой специалиста на конкретном рабочем месте. Например, если работа специалиста связана только с использованием рентгеновской техники, то нет необходимости обучать его работе с гамма-дефектоскопами.

Согласно инструкции SNT-TC-1A предприятие (работодатель) в качестве сертифицирующей инстанции обязано:

- письменно изложить свою программу сертификации, т. е. составить так называемое written practice;
- располагать квалифицированным персоналом для проведения сертификации, т. е. иметь, по крайней мере, одного экзаменатора с 3 уровнем квалификации по соответствующему методу НК.

Европейские нормы EN 473 и международный стандарт ISO 9712 в качестве ОСП определяют внепроизводственный независимый орган. Согласно европейскому стандарту EN 473, орган по сертификации должен иметь руководителя и компетентный персонал для выполнения задач по сертификации персонала в области НК. ОСП должен представить систему аттестации и сертификации персонала в области НК согласно действующего стандарта (вместо «written practice»), располагать документированной системой обеспечения качества, изложенной в руководстве по обеспечению качества. Согласно EN 473 работодатель не исключается из процесса сертификации. В процессе сертификации специалиста ОСП сотрудничает с работодателем, который, по меньшей мере, утверждает документы о профессиональном опыте и физической пригодности кандидата. Кроме того, сертификат, полученный вне предприятия, автоматически не дает права использовать специалиста по соответствующему профилю, что имеет мест-

Таблица 1. Минимальные требования к продолжительности практической работы по конкретному методу НК для специалистов 1 и 2 уровней квалификации

| Метод контроля | Условное обозначение | Уровень 1 | | | Уровень 2 | | |
|---------------------------------------|----------------------|-------------------------------|---------------|--------------|-------------|---------------|--------------|
| | | В соответствии с требованиями | | | | | |
| | | EN 473, мес | ISO 9712, мес | SNT-TC-1A, ч | EN 473, мес | ISO 9712, мес | SNT-TC-1A, ч |
| Ультразвуковой | UT | 3 | 3 | 210 (0,9) | 9 | 9 | 630 |
| Радиографический | RT | 3 | 3 | 210 | 9 | 9 | 630 |
| Магнитный | MT | 1 | 1 | 70 | 3 | 3 | 210 |
| Капиллярный | PT | 1 | 1 | 70 | 3 | 3 | 140 |
| Визуальный | VT | 1 | 1 | 70 | 3 | 3 | 140 |
| Вихревоковый | ET | 3 | 3 | 210 | 9 | 9 | 630 |
| Контроль герметичности | LT | 3 | 3 | 210 | 9 | 9 | 560 |
| Контроль методом акустической эмиссии | AT | 6 | 3 | 210 | 12 | 9 | 630 |
| Тепловой | IR | — | 3 | 210 | — | 9 | 1260 |
| Вибродиагностический | VA | — | — | 420 | — | — | 1260 |

Примечания. Здесь под продолжительностью практической работы понимается работа под руководством специалиста с более высоким уровнем квалификации. Непосредственный допуск к сертификации на 2 уровень требует опыта работы в объеме суммарного количества месяцев для 1 и 2 уровней.

то при сертификации работодателем. При необходимости предприятие должно «специализировать» специалиста для проведения им конкретного вида деятельности, связанного со спецификой НК заданного объекта контроля. Поэтому для европейского стандарта EN 473 характерно тесное сотрудничество между сертифицирующей инстанцией и работодателем.

Согласно EN 473, органу по сертификации в принципе нужно только провести завершающий процесс сертификации, а все остальные виды деятельности она может делегировать аттестационным и экзаменационным центрам. Эти центры могут находиться непосредственно у работодателя. Однако в этих случаях орган по сертификации остается ответственным за все аттестационные мероприятия, проводимые в центрах: он должен разрешать их деятельность, следить за надлежащим выполнением делегированных им видов деятельности, вести подшивку документов по проходящим сертификацию кандидатам и т. д.

Некоторые особенности структур схем сертификации персонала в области НК, ориентированных на работодателя согласно американским нормам SNT-NC-1A, их преимущества и недостатки по сравнению со схемами сертификации согласно европейской концепции независимых Национальных аккредитованных органов по сертификации персонала в соответствии с ДСТУ EN 473-2001 приведены в работе [9].

Сравнительный анализ квалификационных требований инструкции SNT-NC-1A, ISO 9712 и EN 473. Все три основополагающих документа по сертификации персонала в области НК устанавливают минимальные требования к продолжи-

тельности работы (в месяцах, часах) кандидата по конкретному методу НК, которые для 1 и 2 уровней квалификации приведены в табл. 1.

Минимальные требования к продолжительности обучения (в часах) кандидата по конкретному методу НК для 1 и 2 уровней квалификации согласно инструкции SNT-NC-1A, стандартов ISO 9712 и EN 473 приведены в табл. 2.

В соответствии с инструкцией SNT-NC-1A, стандартами ISO 9712 и EN 473 квалификационный экзамен состоит из общего, специального и практического в одном или нескольких промышленных секторах. Общие и специальные экзамены сдаются в письменном виде. Минимальное количество вопросов общего и специального экзаменов в соответствии с требованиями инструкции SNT-NC-1A, стандартов ISO 9712 и EN 473 приведены в табл. 3. Общий экзамен включает вопросы, отобранные по случайному принципу из актуальных задач. Оценки общего экзамена распространяются на все промышленные секторы. Специальный экзамен включает вопросы на знание оборудования, действующих методик НК, с которыми может встретиться специалист при работе в данном промышленном секторе. Вопросы общего и специального экзаменов утверждает сертификационный орган, а проводятся они в признанных экзаменационных центрах. Практический экзамен по своей продолжительности, степени сложности и объему должен выявить способность кандидата применить на практике свои знания, умения и навыки в проведении НК конкретным методом.

Анализ ситуации по сертификации персонала в области НК в Украине. Как было отмечено

СЕРТИФИКАЦИЯ И СТАНДАРТИЗАЦИЯ

Таблица 2. Минимальные требования к продолжительности обучения специалистов 1 и 2 уровней

| Метод контроля | Условное обозначение | Уровень 1 | | | Уровень 2 | | |
|---------------------------------------|----------------------|-------------------------------|-----------------------|------------------------|---------------------|-----------------------|------------------------|
| | | В соответствии с требованиями | | | | | |
| | | EN 473 ¹ | ISO 9712 ¹ | SNT-TC-1A ² | EN 473 ¹ | ISO 9712 ¹ | SNT-TC-1A ² |
| Ультразвуковой | UT | 40 | 16 | 40 | 80 | 24 | 40 |
| Радиографический | RT | 40 | 16 | 40 | 80 | 24 | 40 |
| Магнитопорошковый | MT | 16 | 16 | 12 | 24 | 24 | 8 |
| Капиллярный | PT | 24 | 40 | 4 | 24 | 80 | 8 |
| Визуальный | VT | 24 | 40 | 8 | 24 | 80 | 16 |
| Вихревоковый | ET | 40 | 40 | 40 | 80 | 64 | 40 |
| Контроль герметичности | LT | 40 | 32 | 36 | 80 | 67 | 24 |
| Контроль методом акустической эмиссии | AT | 40 | 40 | 40 | 64 | 64 | 40 |
| Тепловой | IR | — | 40 | 32 | — | 80 | 34 |
| Вибродиагностический | VA | — | — | 24 | — | — | 72 |

Примечания. 1. Программа подготовки должна соответствовать требованиям независимого органа по сертификации.
2. Программа подготовки должна соответствовать требованиям работодателя. Непосредственный допуск к сертификации на 2 уровень требует подготовки в объеме суммарного количества часов для 1 и 2 уровней.

выше, требования европейского стандарта EN 473 определяют в качестве организации по сертификации независимый внепроизводственный орган. В течение длительного времени в Украине функционировали два органа по сертификации персонала (ОСП) в области НК — ОСП «Промбезопасность» и ОСП НАКУНК. Основополагающим нормативным документом для ОСП «Промбезопасность» является документ Госгорпромнадзора Украины — ДНАОП 0.00-1.27-97 [10]. Этот документ разработан на основе межгосударственного стандарта стран СНГ ГОСТ 30489-97, который в настоящее время не действует в Украине в связи с введением стандарта ДСТУ EN 473:2001.

Нормативным документом для ОСП НАКУНК служил стандарт СТТУ УТНКТД 01-2000 [11] Украинского общества неразрушающего контроля и технической диагностики. В основу стандарта СТТУ УТНКТД 01-2000 был положен проект стандарта EN 473 версии 2000 г. Оба этих нормативных документа содержат некоторые отступления от своих основообразующих стандартов. Несмотря на то, что национальный стандарт Украины ДСТУ EN 473 вышел в 2001 г., оба органа сертификации персонала в области НК — ОСП «Промбезопасность» и ОСП НАКУНК — не были аккредитованы в Украине как независимые органы по сертификации персонала в области НК, что предусмотрено этим стандартом, хотя в своей работе они постоянно используют его положения. Это было связано с неготовностью этих организаций пройти процедуру аккредитации на соответствие требованиям международного стандарта ISO/IEC 17024:2003 [12]. Требования этого стандарта к органам по сертификации персонала, в частности, к системе управления качеством явля-

лись сдерживающим фактором для существующих в Украине систем сертификации персонала. Аккредитацию органов по сертификации персонала в области НК на соответствие стандарта ISO/IEC 17024:2003 уполномочено проводить Национальное агентство по аккредитации Украины (НААУ) как независимый национальный орган по аккредитации. Пройдя аккредитацию в НААУ на соответствие требованиям стандарта ISO/IEC 17024:2003 с правом проведения процедуры сертификации персонала в области НК согласно стандарту ДСТУ EN 473:2001, орган по сертификации поднимается на новый уровень в национальном масштабе по сравнению с другими системами сертификации персонала в области НК, действующими в Украине. Это значит, что, например, результаты экзаменов, сданные кандидатом согласно процедуры ДСТУ EN 473:2001 в аккредитованном органе по сертификации персонала на соответствие ISO/IEC 17024:2003, должны признаваться всеми существующими в Украине системами сертификации персонала.

Внедомственный независимый орган по сертификации персонала в области НК в Украине. Для сертификации персонала в области НК на соответствие требованиям стандарта ДСТУ EN 473:2001 при Украинском обществе неразрушающего контроля и технической диагностики в 2003 г. создан орган по сертификации персонала в области НК — Центр сертификации при УО НКТД (ЦС при УО НКТД). В течение 2005–2006 гг. ЦС при УО НКТД проходил в НААУ процедуру оценивания его технической компетентности на соответствие требованиям международного стандарта ISO/IEC 17024:2003 как внедомственного органа по сертификации персонала в

СЕРТИФИКАЦИЯ И СТАНДАРТИЗАЦИЯ

Таблица 3. Минимальное количество вопросов на общем и специальном экзаменах к специалистам 1 и 2 уровней квалификации

| Метод контроля | Условное обозначение | Уровень 1 | | | Уровень 2 | | |
|--|----------------------|-------------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|
| | | В соответствии с требованиями | | | | | |
| | | EN473* | ISO 9712* | SNT-TC-IA | EN473 | ISO 9712 | SNT-TC-IA |
| Общий экзамен | | | | | | | |
| Ультразвуковой | UT | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 |
| Радиографический | RT | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 |
| Магнитопорошковый | MT | 30 | 30 | 40 | 30 | 30 | 40 |
| Капиллярный | PT | 30 | 30 | 40 | 30 | 30 | 40 |
| Визуальный | VT | 30 | 30 | 40 | 30 | 30 | 40 |
| Вихревоковый | ET | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 |
| Контроль герметичности | LT | 30 | 30 | 20 | 30 | 30 | 20 |
| Контроль методом акустической эмиссии | AT | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 |
| Тепловой | IR | — | 40 | 40 | — | 40 | 40 |
| Вибродиагностический | VA | — | — | 40 | — | — | 40 |
| Специальный экзамен (в одном секторе) | | | | | | | |
| Ультразвуковой | UT | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Радиографический | RT | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Магнитопорошковый | MT | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Капиллярный | PT | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Визуальный | VT | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Вихревоковый | ET | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Контроль герметичности | LT | 20 | 20 | 30 | 20 | 20 | 30 |
| Контроль методом акустической эмиссии | AT | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Тепловой | IR | — | 20 | 20 | — | 20 | 20 |
| Вибродиагностический | VA | — | — | 20 | — | — | 20 |

* Если специальный экзамен охватывает два или более производственных секторов, минимальное количество вопросов должно быть не менее 30, равномерно распределенных между соответствующими секторами.

области НК. В августе 2007 г. НААУ засвидетельствовало компетентность ЦС при УО НКТД в проведении процедуры сертификации персонала в области НК в соответствии с требованиями стандарта EN 473:2001. Область аккредитации ЦС при УО НКТД схематически приведена на рис. 1 и охватывает все методы НК и промышленные секторы, которые определены в приложении А стандарта EN 473:2001 для 1–3 уровней квалификации специалистов по НК. Дополнительно в область аккредитации ЦС при УО НКТД включены тепловой и вибродиагностический методы НК, получившие широкое распространение в последнее время в разных отраслях промышленности, а также промышленный сектор, относящийся к контролю продукции судостроения ультразвуковым методом.

Основное требование, которое предъявляет стандарт ISO/IEC 17024:2003 к органам по сертификации персонала — создание эффективной организационной структуры ОСП, обеспечиваю-

щей выполнение политики и процедуры сертификации персонала, в том числе и в области НК.

Организационная структура ЦС при УО НКТД приведена на рис. 2. В структуру ЦС при УО НКТД входят основные структурные подразделения: научно-методический сектор, сектор обеспечения процесса сертификации и архив. Значительная роль в структуре ЦС при УО НКТД отводится Процедурному комитету [13], который является ключевым элементом в организационной структуре ЦС при УО НКТД. В соответствии с требованиями стандарта ISO/IEC 17024:2003 орган по сертификации персонала назначает Процедурный комитет, который несет ответственность за разработку, развитие и поддержание в рабочем состоянии сертификационной схемы и процедуры сертификации персонала в области НК. Процедурный комитет должен объективно и беспристрастно представлять интересы всех сторон, которые имеют отношение к схеме сертификации, без доминирования какого-либо определенного интереса. Процедурный комитет ЦС при УО НКТД со-

СЕРТИФИКАЦИЯ И СТАНДАРТИЗАЦИЯ

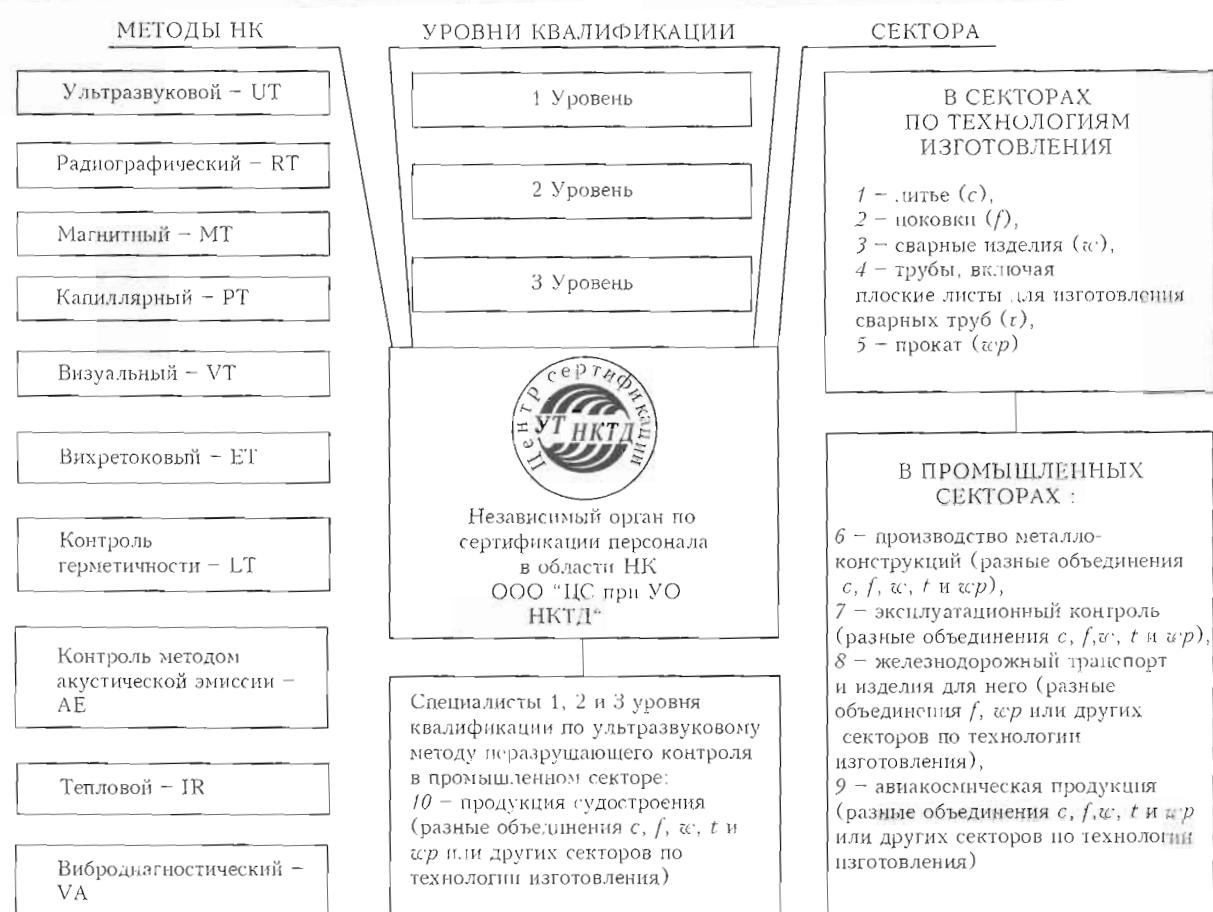


Рис. 1. Область аккредитации независимого органа по сертификации персонала НК ООО «Центр сертификации при УО НКТД»

тоит из 10 человек, из которых 9 — с правом решающего голоса. В комитете представлены специалисты НАН Украины, высших учебных заведений, промышленности, производителей приборов для НК. Основные обязанности Процедурного комитета приведены на схеме (рис. 2). О любых изменениях в процедурах сертификации персонала в области НК ЦС при УО НКТД должен ставить в известность представителей Процедурного комитета, и в свою очередь его рекомендации должны учитываться ЦС при УО НКТД при корректировке и изменении процедур сертификации. В соответствии с Положением Процедурный комитет может создавать временные или постоянно действующие рабочие группы, которые будут заниматься, например, разработкой и актуализацией программ обучения и экзаменационных вопросов в направлении изучения новых технологий и оборудования (например, технология TOFD).

В соответствии со стандартом ISO/IEC 17024:2003 целью сертификации является гарантия соответствия специалиста схеме сертификации ОСП.

Схема сертификации персонала в области НК ЦС при УО НКТД приведена на рис. 3. Она отражает порядок сертификации персонала в области НК, начиная с допуска специалиста к квали-

фикационным экзаменам и заканчивая выдачей сертификата компетентности.

Процедура сертификации начинается с первичной подготовки, приобретения кандидатами на сертификацию необходимого производственного стажа по соответствующему методу НК и подачи заявки на сертификацию вместе с первичными документами в ЦС при УО НКТД. Специалисты, которые претендуют на присвоение 1, 2 или 3 уровней квалификации, проходят курс специальной подготовки в специализированных учебных центрах по подготовке персонала в области НК. Программы подготовки по различным методам утверждаются ЦС при УО НКТД. Теория метода излагается по мере нарастания сложности с 1 по 3 уровень квалификации. Подготовка для 1 уровня охватывает теорию и практику по определенному методу НК, способствует укреплению знаний, полученных во время первичной подготовки.

Специалисты 2 уровня квалификации по методу НК должны иметь более глубокие знания для оценки результатов контроля, составлении письменных инструкций по НК, документировании результатов НК и т. д.

Специалисты 3 уровня квалификации должны полностью понимать физические принципы метода, по которому они сертифицируются, а также

СЕРТИФИКАЦИЯ И СТАНДАРТИЗАЦИЯ



Рис. 2. Организационная структура независимого органа по сертификации персонала в области НК ООО «Центр сертификации при УО НКТД»

отличаться компетентностью в других общепринятых методах НК. Они должны иметь достаточный производственный опыт работы с используемыми в современном производстве материалами и технологиями изготовления изделий с тем, чтобы правильно выбрать метод НК, совершенствовать технику и технологию контроля, содействовать выбору критериев годности продукции.

Существенным при сертификации персонала в области НК всех уровней является приобретение практического опыта по проведению НК. Поэтому программы обучения для конкретных методов и промышленных секторов имеют свои принципиальные особенности, связанные с использованием банка учебных и экзаменационных образцов с дефектами, отнесенными к определенному производственному сектору. Для обеспечения тесной связи между уровнем знаний фактического материала по методу НК и умением применять эти знания на практике определенная часть времени при подготовке используется для закрепления навыков контроля, приобретенных на производстве или в процессе обучения.

Таким образом, приведенная на рис. 3 схема сертификации персонала достаточно полно учитывает требования международных и национальных стандартов по сертификации персонала в области НК, которые определяют квалификацию персонала по пяти признакам: 1) профессиональное обучение; 2) практический опыт работы в НК; 3) физическая пригодность; 4) специальная под-

готовка; 5) квалификационные экзамены. Схема сертификации валидирована решением Процедурного комитета. Кроме того, Процедурный комитет системы сертификации ЦС при УО НКТД принял такие решения:

1. В отличие от требований ДСТУ EN 473:2001 срок действия сертификации специалистов 1 и 2 уровней квалификации установлен на три года (аналогично требованиям Американской инструкции SNT-TC-1A). При повторной сертификации специалисты 1 и 2 уровней квалификации должны сдавать специальный и практический экзамены по соответствующему методу контроля.

2. Повторная сертификация специалистов по НК на 3 уровень квалификации должна проводиться один раз в 5 лет в соответствии с требованиями стандарта ДСТУ EN 473:2001.

Структурная схема системы сертификации персонала в области НК независимого органа Центр сертификации при УО НКТД приведена на рис. 4. В системе сертификации персонала в области НК ЦС при УО НКТД аккредитовано шесть специализированных учебных центров по подготовке персонала и три региональных и отраслевых экзаменационных центра. Область аккредитации экзаменационных центров определяется методами контроля и производственными секторами, по которым ЦС при УО НКТД уполномочил их проводить аттестацию персонала в области НК на 1 и 2 уровни квалификации. Функции главного экзаменационного центра выполняет ГП АЦНК при

СЕРТИФИКАЦИЯ И СТАНДАРТИЗАЦИЯ

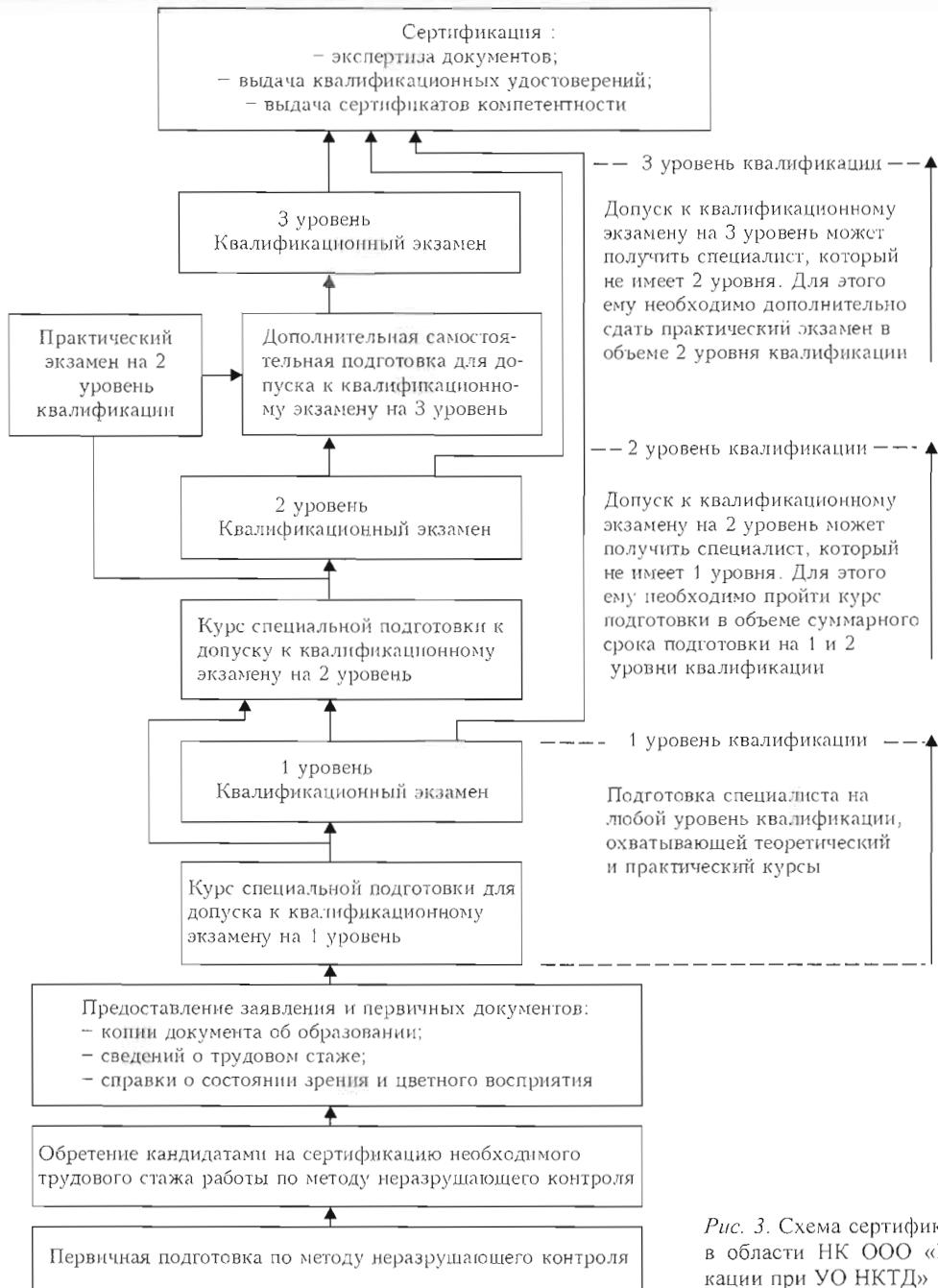


Рис. 3. Схема сертификации персонала в области НК ООО «Центр сертификации при УО НКТД»

ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины. Его область аккредитации включает все методы НК и производственные сектора согласно ДСТУ EN 473:2001 по аттестации специалистов 1, 2 и 3 уровней квалификации. Кандидаты, которые сдают экзамены в АЦНК при ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины получают возможность наблюдать и проводить оценку параметров несплошностей различными методами в лабораториях неразрушающих методов контроля ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины. Эти лаборатории являются частью системы сертификации персонала в области НК ЦС при УО НКТД.

Для обеспечения качества подготовки персонала в области НК независимым органом по сертификации ЦС при УО НКТД и входящие в его

структуре учебные и экзаменационные центры располагают квалифицированными кадрами, оборудованием, приборами и необходимыми средствами и документированными процедурами, позволяющими проводить обучение, аттестацию и сертификацию персонала в соответствии с требованиями ДСТУ EN 473:2001. Кроме того, ЦС при УО НКТД активно привлекает научный и инженерно-технический потенциал НИИ, вузов, промышленных предприятий, производителей средств НК и специалистов, занимающихся их эксплуатацией при контроле реальных объектов. В задачу ЦС при УО НКТД входит ознакомление специалистов по НК, которые проходят сертификацию в ЦС при УО НКТД с новыми разработками приборов и средств для НК, а также с но-

СЕРТИФИКАЦИЯ И СТАНДАРТИЗАЦИЯ

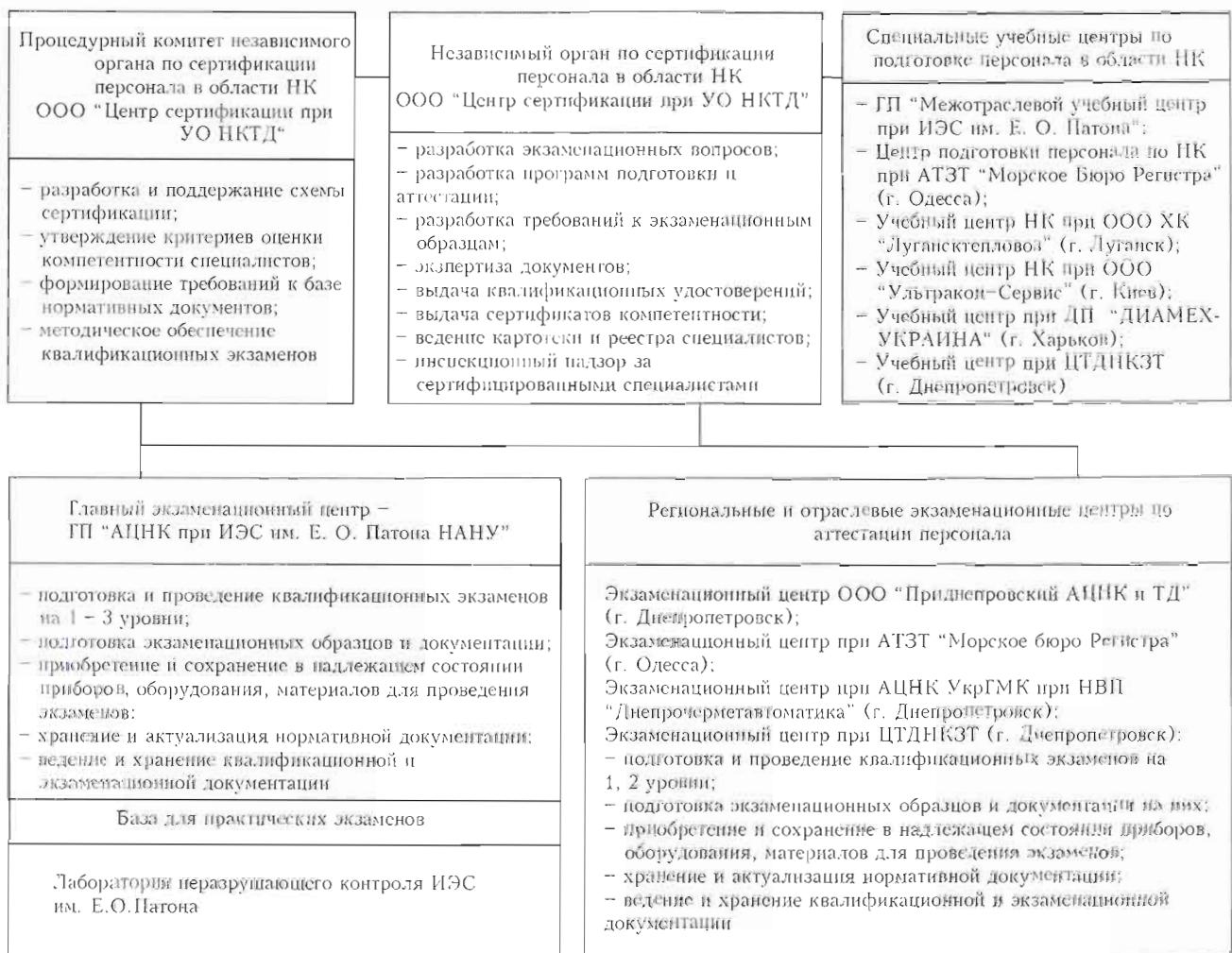


Рис. 4. Структурная схема системы сертификации персонала в области НК ООО «Центр сертификации при УО НКТД»

выми технологиями путем посещения семинаров, выставок и конференций, которые организовываются ИЭС им. Е. О. Патона и УО НКТД, а также участия в таких мероприятиях, проводимых другими организациями. Эффективность функционирования системы сертификации персонала независимого органа ЦС при УО НКТД обеспечивается кадровой политикой, а также системой управления. В структуре ЦС при УО НКТД сформирована система подготовки кадров и повышения квалификации персонала.

2 августа 2007 г. независимый орган по сертификации персонала в области НК ЦС при УО НКТД получил от НААУ Аттестат аккредитации № 60001.

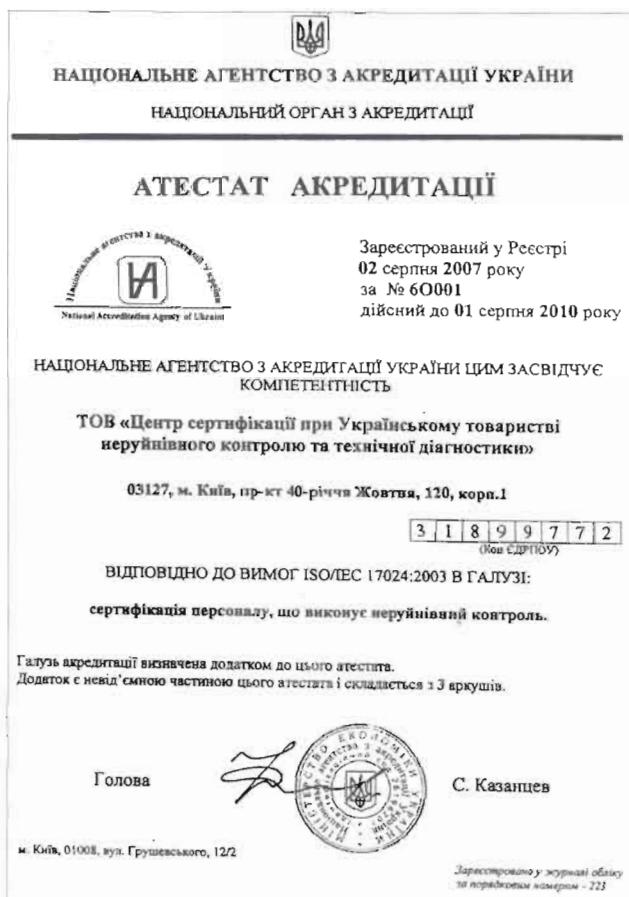
Задачи, стоящие перед ЦС при УО НКТД. Современные технологии НК стали высокоинтеллектуальными и базируются на широком применении приборов на основе цифровой техники и средств автоматизации процессов НК. С учетом таких тенденций задачи, стоящие перед ЦС при УО НКТД в области сертификации персонала, требуют постоянной корректировки процессов обучения, аттестации и сертификации персонала.

Эти задачи можно сформулировать следующим образом:

1. Совершенствование тематических планов и учебных программ специальной подготовки персонала в области НК в соответствии с требованиями ДСТУ EN 473:2001 и с учетом рекомендаций ISNT WH 16-85 до 21-85, выданных Международным комитетом по неразрушающему контролю. Пример разработки усовершенствованной программы для магнитопорошкового метода контроля с учетом рекомендаций этих нормативных документов приведен в работе [14].

2. Введение в существующие программы подготовки персонала в области НК, например, по ультразвуковому методу контроля, новых разделов, связанных с компьютерным моделированием процессов (например, распространение упругих волн), многих новейших методов, методик и оборудования, в частности, использования широкочастотных направленных волн при УЗК трубопроводов, применения фазированных решеток, техники и технологии TOFD при контроле сварных швов. Так, в английской программе повышения квалификации специалистов по УЗК [15] уже отведены четыре курса (по 4 дня) технике фазированных

СЕРТИФИКАЦИЯ И СТАНДАРТИЗАЦИЯ



решеток и примерно такое же время отведено для технологии TOFD.

3. Разработка программы для подготовки, аттестации и сертификации персонала для новых отраслей промышленности, например, по контролю строительных конструкций. Такие программы подготовлены в университете Шербрука (Канада) [16] для обучения специалистов по контролю бетона.

4. Разработка программ подготовки персонала для определения напряженно-деформированного состояния (НДС) строящихся и эксплуатируемых конструкций. В настоящее время для определения НДС используют различные методы НК. Контроль проводят специалисты, сертифицированные по соответствующему методу НК. Специалисты, осуществляющие комплексную оценку НДС конструкций, в Украине сертификацию не проходят. В то же время метод определения НДС конструкций как один из основных методов НК, по которому специалисты проходят сертификацию, введен в международный стандарт ISO 9712:2005. В России этот метод введен в «Правила сертификации персонала в области неразрушающего контроля и диагностики РОНКТД» и разработана «Программа подготовки специалистов по определению напряженно-деформированного состояния и оценки остаточного ресурса технических уст-

ройств и сооружений» [17]. Подготовку и сертификацию специалистов планировалось начать в 2007 г.

5. С учетом потребности украинской промышленности в применении теплового метода НК различных объектов содействовать разработке программы обучения и аттестации специалистов, создать учебный и экзаменационный центры по тепловому методу контроля в системе ЦС при УО НКТД.

6. Организовать подготовку по каждому методу контроля учебных пособий, которые наиболее доступно отражали бы физические основы метода и особенности его практического применения в соответствии с программами обучения и аттестации специалистов в области НК.

7. Постоянно наращивать базы данных по зарубежным пособиям для подготовки персонала в области НК, справочникам и нормативным документам, а также широко внедрять в практику обучения и аттестации возможности Интернета, проведение общих и специальных экзаменов на основе набора тестовых экзаменов с многовариантными ответами.

Выводы

Аkkредитация независимого органа по сертификации персонала по НК Центр сертификации при УО НКТД в соответствии с требованиями международного стандарта ISO/IEC 17024:2003 позволяет:

развивать и постоянно совершенствовать систему сертификации персонала в области НК в Украине путем обязательного обучения и аттестации с учетом специализации по методам и средствам в объеме типовой программы;

повышать ответственность и уверенность в результатах контроля, а также уровень профессионализма отечественных специалистов в области НК через углубление знаний по техническим средствам контроля и совершенствование практических навыков и умений в зависимости от методов и промышленных секторов;

повысить качество и надежность эксплуатации промышленного оборудования, конструкций, сооружений и объектов повышенной опасности, в том числе выработавших свой ресурс, за счет своевременного проведения эксплуатационного контроля и постоянного мониторинга их технического состояния высококвалифицированными специалистами в области НК;

обеспечить конкурентоспособность различной продукции промышленных предприятий Украины на внутреннем и внешнем рынках.

1. Рекомендованные нормы SNT-TC-1A:2006. Квалификация и сертификация персонала по неразрушающему контролю.

СЕРТИФИКАЦИЯ И СТАНДАРТИЗАЦИЯ

2. ISO 0712:2005 «Неразрушающий контроль. Квалификация и сертификация персонала по неразрушающему контролю».
3. ДСТУ EN 473:2001 «Неруйнівний контроль. Кваліфікація і сертифікація персоналу в галузі неруйнівного контролю. Основні вимоги».
4. ПБ 03-440-02. Правила аттестации персонала в области неразрушающего контроля / Система неразрушающего контроля. Аттестация персонала (сборник документов). Сер. 28. Вып. 3. — М.: ГУП «НТЦ «Промышленная безопасность». — 2002. — С. 30–80.
5. Подготовка и аттестация персонала по неразрушающему контролю в ЗАО «МНПО «Спектр» / Ф. Р. Соснин, О. Ю. Дегтярев, Д. Э. Дзындюжик, В. Г. Фирстов // Контроль. Диагностика. — 2004. — № 2. — С. 64–68.
6. Бирюкова Н. П., Лисицын В. И. Основные положения и требования системы сертификации персонала РОНКТД. Гармонизация с ПБ 03-440-02, ISO 17024, EN 473, ISO 9712 // Материалы 6-й Междунар. выставки и конф. «Неразрушающий контроль и техническая диагностика в промышленности», г. Москва, 15–17 мая 2007 г. — С. 76–77.
7. Попаудина С. А. Развитие системы сертификации персонала в области НК в Республике Беларусь // В мире НК. — 2005. — № 4. — С. 54–55.
8. Радъко В. И. Сравнительный анализ требований стандартов EN 473:2000 (ДСТУ EN 473:2001) и ISO 9712 // Материалы 5-й Национальной научно-техн. конф. и выставки, Киев, 10–14 апреля 2006 г. — С. 396–401.
9. Харисон Р. Централизованная сертификация или сертификация, ориентированная на работодателя. Что лучше? // В мире НК. — 2005. — № 4. — С. 32–35.
10. ДНАОП 0.00-1.27-97. «Правила атестації фахівців з неруйнівного контролю».
11. СТТУ УТНКТД 01–2000. «Система сертифікації персоналу з неруйнівного контролю. Основні положення».
12. ISO/IEC 17024:2003. «Оценка соответствия. Общие требования к органам по сертификации персонала».
13. Хорло Н. Ф. Роль Процедурного комитета в создании эффективной системы сертификации персонала по неразрушающему контролю // Диагностические приборы. — 2006. — № 1. — С. 47–50.
14. Стороженко С. В., Сергеев Н. А. Разработка учебной программы для специальной подготовки кандидатов на сертификацию по процедуре ДСТУ EN 473:2001 с учетом рекомендаций ICNT WH 85 rev.1 / Там же. — 2007. — № 1. — С. 54–56, 58.
15. Specialised NDT Courses from Lavender International / Insight. — 2005. — № 2. — Р. 69.
16. Rhei J. NDT and Instrumentation of Civil Engineering Structures: From Research to Education // Materials Evaluation. — 2005. — № 63, № 8. — Р. 808–811.
17. Бирюкова Н. П., Батов Г. П., Котова И. Н. Программа подготовки и сертификации специалистов по определению напряженно-деформированного состояния и оценки остаточного ресурса технических устройств и сооружений // В мире НК. — 2006. — № 4. — С. 24–25.

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

Поступила в редакцию
26.11.2007

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «ПРИБОРОСТРОЕНИЕ: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ»

22–23 апреля 2008 р. в Национальном техническом университете Украины «Киевский политехнический институт» состоится VII научно-техническая конференция «Приборостроение: состояние и перспективы».

Кафедра приборов и систем неразрушающего контроля Приборостроительного факультета НТУУ «КПИ» приглашает ученых, производителей и сервисные компании, которые работают в области приборостроения, взять участие в работе конференции. Цель конференции — общение специалистов по вопросам перспективных разработок, прецизионных технологий, новых решений в приборостроении, встречи с руководителями ведущих предприятий, формирование общих проектов, поиск партнеров для сотрудничества.

Конференция будет проводиться по следующим направлениям:

1. Теория и практика навигационных приборов и систем
2. Оптические оптико-электронные приборы и системы
3. Процессы изготовления приборов, методы и способы их контроля
4. Теория и проектирование наноприборов и систем измерения механических величин и наноприменений
5. Научно-аналитическое и экологическое приборостроение
6. Медицинское приборостроение
7. Неразрушающий контроль, техническая и медицинская диагностика
8. Приборы и системы учета затрат энергоносителей

Адрес оргкомитета:

Кафедра «Приборы и системы неразрушающего контроля»
приборостроительного факультета НТУУ «КПИ»
03056, Киев, пр. Победы 37, Приборостроительный ф-т
тел.: (8-044) 454-95-47; e-mail: psnk@ntu-kpi.kiev.ua

СОВЕЩАНИЕ УЧАСТНИКОВ ЕВРОПЕЙСКОГО ПРОЕКТА «МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТОВ ПОСРЕДСТВОМ ДАЛЬНОДЕЙСТВУЮЩЕГО УЛЬТРАЗВУКА» (LRUCM)

15–16 октября 2007 г. в Афинах (Греция) состоялось рабочее совещание участников Европейского проекта «Long-Range Ultrasonic Testing Condition Monitoring» (LRUCM), посвященное итогам работ на протяжении 24-х месяцев. Проект посвящен разработке технологий и аппаратуры дальнодействующего ультразвукового контроля протяженных объектов с ограниченным доступом к поверхности и внедрению их в практику неразрушающего контроля.

В совещании принимали участие *Peter Madge* — координатор проекта, *Chiraz Ennaceur* (TWI, Англия), *Giuseppe Nardoni* (I&T Nardoni Institute, Италия), *Sergio Ghia* (AIPnD — Итальянское общество по НК), *Hannetloren Wessel* (DGZfP — Немецкое общество по НК), *Rodolfo Rodriguez* (AEND — Испанское общество по НК), *Matt Gallaher* (EFNDT — Европейская федерация по НК), *Patrick Karlsson* (Компания «Zenon», Греция), *Hildas Mazeika, Rymantas Kazys* (Каунасский технический университет, а также представители компаний ISQ (Португалия), Nexus (Болгария), Coaxial Power Systems Ltd (Великобритания), RARI (Португалия), ATG (Чехия), KCC (Великобритания), Isofest (Италия).

Первый день совещания посвящен деятельности по продвижению дальнодействующего ультразвукового контроля (LRUT) в практику применения при выполнении эксплуатационного контроля и диагностики длинномерных объектов.

Активное участие приняли в обсуждении последней редакции плана по внедрению технологии LRUN все присутствующие. Отмечено, что с этой целью общества по НК, участвующие в проекте, уже провели для специалистов своих стран семинары по применению технологии LRUT и ее преимуществам сравнительно с традиционными методами НК длинномерных объектов и объектов с ограниченным доступом. Так, в Украине уже проведен ряд научно-технических и практических семинаров, два из которых — с участием специалистов Британского института сварки TWI — основного исполнителя и координатора работ по проекту. Были обсуждены даты проведения очередных подобных семинаров.

Отмечена важная роль научных публикаций и обзорных статей, посвященных теоретическим основам и перспективам применения технологии LRUT. Последнему была посвящена публикация в журнале «Техническая диагностика и неразрушающий контроль» (№ 1 за 2007 г., с. 17–24).

Обсуждалась деятельность по созданию программ подготовки и сертификации: решено образовать рабочую группу, задачами которой будут разработка руководства по технологии LRUT; пересмотр существующих учебных и экзаменационных материалов.

Далее была представлена программа выполнения раздела проекта, посвященного обучению персонала и подготовке преподавателей «train the trainer», которые по завершении проекта будут готовить персонал, работающий с системами дальнодействующего ультразвукового контроля. Партнерам по проекту поручено предложить сроки проведения таких подготовительных курсов в своих странах. Предполагается, что в Украине такой семинар состоится в начале октября 2008 г. в рамках традиционной осенней конференции по НК в Ялте.

Большая роль в проведении курсов «train the trainer» принадлежит TWI как организации, уже имеющей опыт практической эксплуатации систем LRUT. *Peter Madge* пообещал предоставить соответствующее оборудование для проведения таких курсов.

Giuseppe Nardoni обратил внимание на необходимость подготовки стандарта по сертификации персонала, занимающегося методом LRUT и сказал, что Итальянский институт стандартов (UNI) уже одобрил идею создания такого стандарта. *Hannetloren Wessel* сообщила, что она собирается встретиться с представителем Европейской организации по стандартизации (CEN), чтобы обсудить вопрос подготовки проекта соответствующего евростандарта. *Giuseppe Nardoni* также отметил, что программу сертификаций по технологии LRUT важно подготовить к Всемирной конференции в Шанхае, т. к. роль этого события в продвижении технологии LRUT в мире трудно переоценить.





Небольшая дискуссия состоялась по вопросу считать ли метод направленных волн самостоятельным методом НК, либо частью ультразвукового метода контроля. С точки зрения немецкого партнера, метод LRUT должен рассматриваться как часть ультразвукового метода. Однако, большинство участников совещания были склонны считать данную технологию как отдельный метод в части, которая касается сертификации персонала.

На совещании с презентацией работ, выполняемых УО НКТД и ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины в области создания антенн для возбуждения направленных волн и популяризации данной технологии среди специалистов из Украины и стран СНГ, выступил проф. В. А. Троицкий.

На второй день совещания были доложены результаты выполнения теоретических и экспериментальных исследований, выполненных за последние полгода.

Chiraz Ennaceur (TWI) сообщила о состоянии технологических разработок в каждой из областей применения технологии LRUT, на которые направлен проект — труб теплообменников, канатов вантовых мостов, рельсов, плоских свай для береговых укреплений и др.)

Далее с докладами о выполненных работах выступили представители компаний-участников проекта — КСС, TWI, RARI, KTU, ISQ, NEXUS.

Участники совещания договорились о месте и дате следующей встречи. Она состоится в апреле 2008 г. в Италии и будет организована компанией «ISOTEST».

Подписан договор о сотрудничестве между Сертификационным центром персонала по неразрушающему

контролю (СЦП КБР) Национального научно-технического общества неразрушающего контроля Болгарии (ННТДД) и Центром сертификации при Украинском обществе неразрушающего контроля и технической диагностики (ЦС при УО НКТД). Договор направлен на установление сотрудничества между сертификационными органами двух обществ в области организации и совершенствования процесса сертификации специалистов неразрушающего контроля в рамках требований Европейской федерации неразрушающего контроля (EFNDT) и национальных нормативных документов по сертификации персонала.

Стороны обязались обмениваться информацией о новых программах и курсах обучения, новых стандартах и нормативных документах, о конференциях и семинарах в области сертификации, проводимых в Украине и Болгарии, и льготном участии в них представителей двух органов по сертификации.

В договоре предусмотрена возможность допуска к экзамену в аттестационном центре специалистов одного общества, прошедших обучение в центрах подготовки, признанных другим обществом в своей стране, а также возможность обмена экзаменаторами для участия в квалификационных экзаменах.

Договор подписали проф. М. Миховски, проф. В. Троицкий и руководитель СЦП КБР д-р Ал. Скорбев.

*Информационное сообщение подготовлено А. Л. Шекеро,
ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины*

ООО «ДОНБАССКИЙ РЕГИОНАЛЬНЫЙ ЭКСПЕРТНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЦЕНТР»

ООО «Донбасский региональный экспертно-технический центр» осуществляет работы повышенной опасности на предприятиях, организациях, учреждениях всех форм собственности и видов деятельности.

1. Неразрушающий контроль: визуально-оптический (VT), ультразвуковой (UT), магнитопорошковый (МТ), разрушающий контроль: измерение твердости; техническое диагностирование (экспертное обследование); техническое освидетельствование оборудования: котлов паровых и водогрейных; сосудов, работающих под давлением; трубопроводов пара и горячей воды; грузоподъемных кранов, лифтов; подъемников самоходных и прицепных.

2. Проведение технического освидетельствования грузоподъемных машин: кранов стеловых самоходных, мостовых, козловых, башенных; кран-балок, электротельферов, талей.

Испытательная лаборатория ООО «ДРЭТЦ» оснащена современным оборудованием и измерительными приборами. Здесь работают специалисты, имеющие большой опыт работы на предприятиях различных отраслей промышленности, обученные и аттестованные как технические эксперты и специалисты в области неразрушающего контроля.

ООО «Донбасский региональный экспертно-технический центр» в декабре 2007 г. награжден Дипломом победителя национального бизнес-рейтинга с присвоением звания «Лидер отрасли» по основному виду деятельности «Техническое испытание и исследование» с вручением золотой медали «Лидер-отрасли-2007».

Всеукраинский фонд содействия международному общению «Украинское народное посольство» наградил в декабре 2007 г. ООО «Донбасский региональный экспертно-технический центр» Орденом «За высокий профессионализм».

Тел.: (062) 345-34-99.
Для писем: 83076, г. Донецк, ул. Герцена, 40.



НОВЫЙ ПОДХОД К УПРАВЛЕНИЮ КАЧЕСТВОМ

В. Ф. Тарабрин, председатель Совета директоров групп компаний «ТВЕМА»



Стратегической программой развития железнодорожного транспорта России предусмотрено решение основных задач по увеличению масштаба транспортного бизнеса, повышению производственно-экономической эффективности, качества работы и безопасности перевозок. Решение этих задач в огромной степени зависит от качества предоставляемых услуг, эффективности технологий и используемой техники, подвижного состава, ремонтной базы, средств диагностики, устройств пути, связи, энергетики и т. д.

С принятием и вступлением в силу в 2003 г. Федерального закона «О техническом регулировании» в России наступил новый, переходный этап развития системы технического нормирования, который характеризуется изменением статуса стандартов и процедуры установления обязательных требований. Федеральный закон «О техническом регулировании» основным принципом стандартизации установил добровольность применения стандартов. Для некоторых организаций словосочетание «добровольность стандартов» практически означает, что данные стандарты становятся не нужными, вследствие чего значительно повышается свобода их действий. Это не совсем так. Во-первых, принцип добровольности применения стандартов направлен на гармонизацию положений отечественной системы стандартизации с международной, что требуется для ликвидации дополнительных технических барьеров при вступлении России во Всемирную торговую организацию. Во-вторых, сами стандарты не отменяются, а меняется только

порядок их использования. Если ранее все производители должны были в обязательном порядке соблюдать обязательные требования стандартов, то в новых условиях контролирующий орган не вправе наложить штрафные санкции на организацию в случае не соблюдения ею требований стандартов. В соответствии с реформой технического регулирования обязательные для соблюдения всеми организациями и предприятиями требования устанавливаются только в технических регламентах и касаются только вопросов безопасности (в том числе и на железнодорожном транспорте), а нормы качества, ресурсосбережения, повышения

конкурентоспособности, эффективности и т. п. устанавливаются в «добровольных стандартах».

Подлежит сертификации как получаемая (поставляемая) для железнодорожного транспорта продукция, так и собственная продукция и услуги ОАО «РЖД». Группа компаний «ТВЕМА» со дня своего образования ведет работы по сертификации своей продукции. Продукция компании различного назначения проходит обязательную сертификацию в соответствующих органах Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии, Федерального агентства железнодорожного транспорта (Регистр сертификации на федеральном железнодорожном транспорте), Министерства транспорта РФ (орган сертификации на автомобильном транспорте ДС АТ), ВНИИ метрологической службы Госстандарта России. Все средства измерения, выпускаемые компанией и допущенные к применению в ОАО «РЖД» зарегистрированы в Реестре средств измерений ОАО «РЖД». Эта работа в компании ведется постоянно и непрерывно службой по сертификации.

Мировой опыт показывает, что в условиях конкуренции достижение успеха организацией возможно лишь при внедрении системы менеджмента качества, разработанной на основе стандартов Международной организации по стандартизации (ИСО). На сегодняшний день стандарты ИСО серии 9000-2000 являются не только наиболее проработанным предложением по повышению качества, но и единственным общепризнанным стандартом системного управления предприятием.

Поэтому создание системы менеджмента качества (СМК), соответствующей требованиям стандартов серии ИСО 9000-2000 в группе компаний «ТВЕМА» изначально рассматривалось руководством компании как прекрасная возможность повысить уровень менеджмента и привести его в соответствие с мировой практикой. Сертификат в таком случае становится лишь дополнительным подтверждением достигнутого уровня управления и способности компании гарантированно поставлять продукцию и услуги высокого качества для своих заказчиков.

Решение о внедрении системы менеджмента качества в организации руководством группы компаний «ТВЕМА» было принято в 2005 г. За это время в компании была создана и начала свою работу служба качества, от-



вечающая за результативность и эффективность системы. Специалистами службы был проведен системный анализ и контроль технической документации и обследовано состояние производства. С точки зрения сертификации политика качества связана главным образом с совершенствованием внутренних процессов в организации, но ее результаты также позволяют улучшать и конечный продукт, получаемый клиентом. И в этом мы убедились на собственном опыте. К 2007 г. качество нашей продукции изменилось к лучшему и довольно значительно. Меньше стало претензий по качеству изделий от заказчиков как в России, так и в странах СНГ. За этот период значительно увеличились производственные мощности, улучшилась организация производства.

Стратегической целью нашей компании в области качества является обеспечение своевременных разработок и производства конкурентоспособной высокотехнологической продукции, оказание услуг, удовлетворяющих самым высоким требованиям и ожиданиям потребителей (заказчиков), снижение риска для них при выполнении контракта (заказа).

Главной целью нашей компании в области качества является определение и удовлетворение потребностей и ожиданий своих потребителей (заказчиков) путем выполнения их требований; постоянное улучшение деятельности компании в области качества и завоевание на этой основе доверия потребителей (заказчиков).

На сегодняшний день компания успешно прошла проверку органом по сертификации соответствия требованиям международных стандартов ИСО серии 9001-2000 и получила сертификат качества. Мы считаем, что внедрение СМК позволит компании принимать участие в новых международных проектах, тендерах, конкурсах, федеральных заказах и т.п.; привлекать инвестиции; внедрять современную модель бизнеса; снижать затраты на исправление брака и т. д. Это значительно расширяет пути развития компании на ближайшее будущее в связи с перспективой вступления России в Евросоюз (ЕС), когда для российских предприятий и организаций станут обязательными все законодательные инструменты ЕС.

КАЛЕНДАРЬ КОНФЕРЕНЦИЙ И ВЫСТАВОК ПО НЕРАЗРУШАЮЩЕМУ КОНТРОЛЮ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКЕ на I полугодие 2008 г.

Март

11.03–13.03: 7-я Международная выставка и конференция «**Неразрушающий контроль и техническая диагностика в промышленности – NDT Russia**», СК «Олимпийский», Москва, Россия. *Организаторы:* Российское общество НК и ТД, ООО «Примэкспо» (Санкт-Петербург), Компания ITE Group PLC (Лондон). *Информация:* ndt@primexpo.ru, www.primexpo.ru/ndt

Апрель

07.04–09.04: Промышленные выставки с павильоном «**Сварка. Родственные технологии – 2008**». *Организаторы* — ВЦ «КиевЭкспоПлаза». *Информация:* тел./факс: +380442008089(91), www.paton.expo.kiev.ua

В рамках выставки 10-я конференция-выставка «**Неразрушающий контроль-2008**». *Основной организатор:* Ассоциация «ОКО». *Информация:* тел./факс: (+38044) 531-37-27, ndt@ln.ua www.ndt.com.ua

20.04–27.04: 6-я Научно-практическая конференция «**Организация неразрушающего контроля качества продукции в промышленности**». *Организатор:* НПФ «Диагностические приборы». *Информация:* тел./факс: (044) 492-88-29, kosin@udt-ua.com

22.04–23.04: Научно-техническая конференция «**Приладобудування: стан і перспективи**», Киев, Украина. *Организатор:* НТУУ «Киевский политехнический институт». *Информация:* тел.: (+38044) 454-95-47, psnk@ntu-kpi.kiev.ua

Май

25.05–30.05: 9-я Международная конференция «**ART-2008**» Израильского национального общества по НК, Иерусалим, Израиль. *Информация:* тел.: (+9722) 652-05-74, факс: (+9722) 652-05-78, meeting@isas.co.il, www.isas.co.il/art2008

27.05–30.05: 4-я Международная конференция «**Математическое моделирование и информационные технологии в сварке и родственных технологиях**», Кацивели, Крым. *Организатор:* ИЭС им. Е. О. Патона. *Информация:* тел./факс: (+044) 529-26-23, тел.: 271-26-33, факс: 287-46-770, e-mail: journal@paton.kiev.ua

Июнь

09.06–13.06: 23-я Национальная конференция с международным участием «**Дефектоскопия'08**» и другие мероприятия в рамках «**NDT Days 2008**», Созополь, Болгария. *Организаторы* — Болгарское общество по НК, Институт механики. *Информация:* nntdd@imbm.bas.bg, nntdd@abv.bg, www.ndt-bg.org



Журнал был основан по инициативе академика Е. О. Патона в марте 1948 г. С 1953 г. по настоящее время главным редактором журнала является академик Б. Е. Патон. За этот период в нем было опубликовано свыше 12000 статей по различным проблемам сварочного производства. Довольно быстро и на многие годы журнал завоевал широкую читательскую аудиторию. Этому способствовало прежде всего то, что в нем впервые освещались многие выдающиеся разработки и затем прослеживалось их развитие. Среди них: дуговая сварка с принудительным формированием металла шва, электрошлаковая сварка, технология изготовления листовых конструкций методом рулонирования, дуговая сварка по бескислородному флюсу, многослойные конструкции, сварнокованые и сварнолитые конструкции, сварка в углекислом газе проволокой малого диаметра, сварка по активированному флюсу, импульсно-дуговая сварка плавящимся электродом, многоэлектродная дуговая сварка в общую ванну, контактная сварка непрерывным оплавлением рельсов и труб, электронно-лучевая сварка, парофазные технологии, микроплазменная сварка, механизированная мокрая сварка под

водой, плазменная резка, сварка и резка взрывом, технология изготовления криогенной техники, сварка и напыление в космосе, сварка композитов, плазменное и газотермическое напыление, прогнозирование остаточного ресурса конструкций, создание технологий для оценки технического состояния и продления терминов эксплуатации техногенно и экологически опасных объектов и многое другое.

По ширине охвата и глубине освещение опубликованных материалов подшивки журнала часто называют сварочной энциклопедией. Он помог становлению не одного поколения сварщиков, для которых являлся настольным пособием. Журнал «Автоматическая сварка» популярен в среде ученых, преподавателей, руководителей и специалистов различных рангов многих предприятий и фирм Украины, стран СНГ и дальнего зарубежья.

В последние годы журнал претерпел изменения — он имеет современный облик, в нем представлен широкий спектр разнообразной информации не только научно-технического, но и производственного характера, а также реклама.

— ♦ — ♦ — ♦ —

ИЗДАТЕЛЬСТВО ИЭС им. Е. О. ПАТОНА НАНУ

ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины ♦ Международная ассоциация «Сварка»
тел.: (38044) 528-34-84, 287-63-02, 529-26-03; факс: 528-34-84, 529-26-23

Уважаемые коллеги!

Предлагаем Вам разместить рекламные материалы на Вашу продукцию в журнале «Техническая диагностика и неразрушающий контроль» в 2008 г. и заключить договор на оказание рекламных услуг в 2008 г. с резервированием рекламной площади. Журнал «ТД и НК» издается ежеквартально с 1989 г. Основные рубрики журнала: вопросы теории и практики технической диагностики и неразрушающего контроля; дефектоскопия; остаточный ресурс сооружений. В каждом номере: научные статьи, производственный опыт, обзоры, выставки, конференции; реклама.

Журнал — постоянный участник крупнейших выставок и конференций, проводимых в России, Украине и за рубежом и свободно распространяется среди участников и посетителей. Сфера распространения журнала «ТД и НК» по подписке охватывает Россию, Украину и др. страны СНГ. Тиражи журнала для распространения на выставках/конференциях составляют 1200 экз. Ниже приводится перечень важнейших выставок и конференций 2008 г. с указанием номера журнала, распространяемого среди посетителей и участников соответствующего мероприятия.

| Время проведения | Город, страна | Название | Номер журнала |
|------------------|----------------|---|---------------|
| 11.03–13.03 | Москва, Россия | 7-я Международная выставка и конференция «Неразрушающий контроль и техническая диагностика в промышленности — NDT Russia» | № 1 |
| 07.04–09.04 | Киев, Украина | 10-я конференция и выставка «Неразрушающий контроль-2008» | |
| 01.10–05.10 | Ялта, Украина | 16-я Международная конференция и выставка «Современные методы и средства неразрушающего контроля и технической диагностики» | |
| 24.11–26.11 | Киев, Украина | Международная конференция «Сварка и родственные технологии — в третье тысячелетие» | № 4 |
| 25.11–28.11 | Киев, Украина | 7-й Международный промышленный форум «МПФ-2008». Выставка «Образцы, стандарты, эталоны, приборы» | |