

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

Издатель: Международная ассоциация «Сварка»

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор

Б.Е.ПАТОН

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

Адрес редакции

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

Институт электросварки
им.Е.О.Патона НАН Украины

Тел.: (044) 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
утвержденных ВАК Украины
изданий для публикации трудов
соискателей ученых степеней

При перепечатке материалов
ссылка на журнал обязательна

За содержание рекламных
материалов редакция журнала
ответственности не несет

Цена договорная

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА

<i>ГАРФ Э. Ф., ЮХИМЕЦ П. С., НЕХОТЯЩИЙ В. А., ЧЕПИЖЕНКО В. И.</i> Продление срока эксплуатации авиационных баллонов	3
<i>НЕДОСЕКА А. Я., ЯРЕМЕНКО М. А., ОВСИЕНКО М. А., ХАРЧЕНКО Л. Ф.</i> Определение координат развивающихся дефектов на цилиндрических поверхностях	11
<i>НАГОРНЫЙ В. М., ЧЕРЕВКО А. А.</i> Оценка технического состояния промышленного оборудования по косвенным данным	14
<i>ДОБРОВ В. Л., ИГУМЕНЦЕВ Е. А., МАРЧУК Я. С.</i> Комплекс защиты и мониторинга технического состояния газоперекачивающего агрегата ГПА-10 «SIMON»	18
<i>ГАМАЛИЙ В. Ф., СЕРЕБРЕННИКОВ С. В., ТРУШАКОВ Д. В.</i> Автоматизи- рованная система дефектоскопии ответственных деталей гидронасоса	27
<i>СТОРОЖЕНКО В. А., МЕШКОВ С. Н., МАСЛОВА В. А.</i> Тепловизионный контроль и диагностика энергетического оборудования	33

НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ

<i>ТРОИЦКИЙ В. А., КАРПАШ О. М., КРИНИЧНЫЙ П. Я.</i> Развитие ультразвукового контроля в нефтегазовой отрасли: Ивано-Франковская школа	38
<i>СКАЛЬСКИЙ В. Р., ОЛИЯРНИК Б. О., ПЛАХТИЙ Р. М., СУЛЫМ Р. И.</i> Концепция построения аналогового тракта прибора акустической эмиссии	43

ХРОНИКА И ИНФОРМАЦИЯ

Целевая комплексная программа «РЕСУРС»: заседание Бюро отделения ОФТПМ НАН Украины	49
4-й Международный промышленный форум-2005	50
4-а Науково-технічна конференція з неруйнівного контролю і технічної діагностики	51
НОВОСТИ. Новые технологии контроля ветровых турбин — проект КРАФТ РЕНЕВИТ	52
Поздравляем с юбилеем!	53
Календарь конференций и выставок по НК в 2006 г.	55
<i>ГОРДЕЛИЙ В. И., ЧАБАНОВ В. Е.</i> Электромагнитно-акустические преобразователи для неразрушающего контроля рельсов и других протяженных объектов	56
<i>БЕЗЛЮДЬКО Г. Я., ДОЛБНЯ В. Е., ПОПОВ Б. Е., СОЛОМАХА Р. Н.</i> Опе- ративный контроль напряженного и усталостного состояния сварных соединений неразрушающим методом по магнитной характеристике металла — коэрцитивной силе	58
<i>АРКАДОВ Г. В., ФИНКЕЛЬ Б. М., ПАВЕЛКО В. И., УСАНОВ А. И., ДАВИДЕНКО Н. Н., КОРНИЕНКО К. А., КОНОПЛЕВ Н. П.</i> Вопросы диаг- ностирования оборудования реакторных установок ВВЭР	60
Основные особенности ультразвукового толщиномера KRAUTKRAMER DMS2	63

ИЗДАНИЕ ЖУРНАЛА ПОДДЕРЖИВАЮТ:

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



Украинское общество неразрушающего контроля и технической диагностики

TECHNICAL DIAGNOSTICS and NON-DESTRUCTIVE TESTING

№ 1, 2006

Founded in January, 1989

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

Publisher: *International Association «Welding»*

EDITORIAL BOARD:

Editor-in-Chief
B. E. PATON

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

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

TECHNICAL DIAGNOSTICS

- GARF E. F., YUKHIMETS P. S., CHEPIZHENKO V. I.* Extension of the service life of aircraft tanks 3
- NEDOSEKA A. Ya., YAREMENKO M. A., OVSIENKO M. A., KARCHENKO L. F.* Determination of coordinates of propagating defects on cylindrical surfaces 11
- NAGORNII V. M., CHEREVKO A. A.* Evaluation of technical condition of industrial equipment by indirect data 14
- DOBROV V. L., IGUMENTSEV E. A., MARCHUK Ya. S.* A complex for protection and monitoring of technical condition of gas pumping unit GPA-10 «Simon» 18
- GAMALII V. F., SEREBRENNIKOV S. V., TRUSHAKOV D. V.* Automated system of flaw detection of critical parts of hydraulic pumps 27
- STOROZHENKO V. A., MESHKOV S. N., MASLOVA V. A.* Thermovision monitoring and diagnostics of power equipment 33

NON-DESTRUCTIVE TESTING

- TROITSKII V. A., KARPASH O. M., KRINICHNII P. Ya.* Development of ultrasonic testing in oil and gas industry: Ivano-Frankovsk school 38
- SKALSKII V. P., OLIARNIK B. O., PLAKHTII R. M., SULYM R. I.* Concept of construction of an analog circuit of acoustic emission instrument 43

NEWS AND INFORMATION

- Purpose-oriented program Ψ Resours Φ : Meeting of the Bureau of FTPMS Division of NASU 49
- 4th International Industry Forum-2005 50
- 4th Scientific-Technical Conference on NDT and TD 51
- NEWS. Advanced technologies for wind turbine monitoring — CRAFT RENEVIT PROJECT 52
- Congratulations on the jubilee! 53
- Calendar of Conferences and Exhibitions on NDT in 2006 55
- GORDELII V. I., CHABANOV V. E.* Electromagnetic-acoustic transducers for NDT of rails and other extended objects 56
- BEZLUDKO G. Ya., DOLBNYA B. E., POPOV B. E., SOLOMAKHA R. N.* In-service NDT inspection of the stressed and fatigue state of welded joints by the magnetic characteristic of the metal \perp the coercive force 58
- ARKADOV G. V., FINKEL B. M., PAVELKO V. I., USANOV A. I., DAVIDENKO N. N., KORNIENKO K. A., KONOPLEV N. P.* Issues of equipment diagnostics of WWER reactor units 60
- Main features of ultrasonic thickness gauge KRAUTKRAMER DMS2 63

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



ПРОДЛЕНИЕ СРОКА ЭКСПЛУАТАЦИИ АВИАЦИОННЫХ БАЛЛОНОВ

Э. Ф. ГАРФ, П. С. ЮХИМЕЦ, В. А. НЕХОТЯЩИЙ, В. И. ЧЕПИЖЕНКО

Представлены результаты испытаний 25 типов баллонов, используемых в течение определенного времени для жизнеобеспечения летательных аппаратов. Циклические испытания проведены на базе 10^4 циклов нагружения для двух баллонов каждого типа. Статические испытания проведены на трех баллонах каждого типа и баллонах, успешно выдержавших циклические испытания. Статистический анализ результатов испытаний подтверждает возможность перевода рассмотренных типов баллонов в категорию со сроком эксплуатации более 30 лет.

The paper gives the results of testing 25 types of cylinders used for a certain period to ensure the survival of flying vehicles. Cyclic testing was conducted at 10^4 loading cycles for two cylinders of each type. Static testing was conducted on three cylinders of each type, and cylinders, which successfully passed cyclic testing. Statistic analysis of testing results confirms the possibility of moving the considered cylinders into more than 30 year operation category.

Для поддержания необходимого уровня технической исправности авиационной техники необходимы как проведение регламентированных восстановительных работ, так и исследования с целью продления ресурса эксплуатации летательных аппаратов. Решая один из аспектов этой проблемы, Институт электросварки им. Е. О. Патона НАНУ совместно с ОКТБ Института и Государственным НИИ авиации исследовал возможность продолжения назначенного срока службы авиационных баллонов.

Как известно, на каждом летательном аппарате имеются баллоны высокого давления, обеспечивающие работу различных механизмов, агрегатов и систем обеспечения жизнедеятельности экипажа. Плановый срок эксплуатации баллонов, как правило, связан с проектным сроком службы летательного аппарата. Вместе с тем, есть все основания предполагать, что если и имеется такая взаимосвязь, она не является определяющей для назначения срока эксплуатации баллонов. Кроме того, продление ресурса эксплуатации летательных аппаратов требует обоснования возможности продления назначенного срока службы авиационных баллонов. В этой связи представляет интерес задача оценки технического состояния баллонов после определенного срока эксплуатации и прогнозирование остаточного ресурса их безопасной эксплуатации. Задача решалась применительно к 25 типам баллонов, отличающихся объемом, рабочим давлением, средой наполнения, конструкцией и материалами, из которых они изготовлены (табл. 1).

Методика проведения исследований включала отбор по каждому типу пяти баллонов со сроком эксплуатации, приближающимся или превышающим назначенный срок службы. При этом отобранные для испытаний баллоны одного типа могли иметь и разный срок эксплуатации. На испытание баллоны поступали после внешнего и внутреннего осмотра, а также неразрушающего контроля (НК) качества сварных соединений в сварных баллонах. Основным критерием оценки технического состо-

яния баллонов после их длительной эксплуатации являлись результаты их испытаний внутренним давлением.

Собственно испытания проводили в следующей последовательности. Вначале отбирали два баллона каждого типа для проведения циклических испытаний. Критерием отбора служили худшие показатели по результатам внутреннего и внешнего осмотра, а также по контролю качества сварных соединений. Перед началом циклических испытаний каждый баллон нагружали пробным давлением равным $1,5P_p$, где P_p — рабочее давление для данного типа баллона. После выдержки в течение 10 мин давление снижали до P_p , и осуществляли внешний осмотр баллона. Циклические испытания внутренним давлением проводили на базе 10^4 циклов нагружением $0...P_p$. Баллоны, успешно прошедшие циклические испытания, вместе с баллонами, не подвергавшимся циклическим нагружениям, подвергали статическим испытаниям внутренним давлением до разрушения. Статические испытания баллонов проводили в два этапа. На первом этапе баллон нагружали до пробного давления, составляющего $1,5P_p$, и выдерживали в течение 10 мин, после чего давление снижалось до P_p и проводили внешний осмотр баллона. Затем давление повышали до разрушения баллона.

Результаты испытаний. Циклические нагружения вызвали разрушение двух баллонов. В одном из цилиндрических сварных баллонов типа Л29 после 8×10^3 циклов нагружений усталостная трещина в шве сварки горловины проникла на всю толщину, в результате чего была нарушена герметичность и испытания прекращены.

Второе разрушение имело место в одном из шаровых сварных баллонов армированных стеклопластиком (тип УБШ-2). Усталостная трещина образовалась в основном металле днища на участке наибольшего утонения при штамповке при $8,25 \times 10^4$ циклах нагружения проникла на всю толщину, в результате чего нарушилась герметичность и испытания прекращены.



Таблица 1. Технические характеристики исследуемых баллонов

№ п/п	Тип баллона	Конструкция	Материал	Рабочее давление P_p , МПа	Среда	Назначенный срок службы, лет	Наружный диаметр, мм	Толщина стенки, мм
1	Ш-2А	Шаровой бесшов.	Сталь 45	15,0	Кислород	25	110	2,5
2	Ш-2	Шаровой бесшов.	Сталь 45	15,0	Воздух	25	110	2,5
3	МА-4	Цилиндрический бесшовный	Сталь 45	15,0	Кислород	25	140	3,8
4	Л-29	Шаровой сварной	30ХГСА	15,0	Фреон	20	160	2,4
5	КБ-2	Цилиндрический сварной	12Х18Н10ТПМ	3,0	Кислород	20	140	1,6
6	ОРИ-2-20-30	Цилиндрический сварной	АМГ	3,0	Хладон	25	90	2,0
7	УБЦ 8-1	Цилиндр. сварной, арм. стеклопластом	X16Н16	15,0	Углекислота	18	194	3,0
8	УБШ25/150	Шаровой сварной	07Х5Н6	15,0	Кислород	20	370	3,8
9	1-2-3-210	Шаровой сварной, арм. стеклопластом	X16Н6Ш	21,0	Фреон	18	193	3,0
10	ОСУ-5	Цилиндр. бесшов., арм. проволокой	30ХГСА	17,0	Углекислота	15	172	3,7
11	ОС-2	Шаровой сварной	30ХГСА	12,5	Фреон	24	160	2,5
12	КБШ-У	Шаровой бесшовный	X16Н6	15,0	Кислород	21	160	3,2
13	УБШ-4/1	Шаровой сварной, арм. стеклопластом	X16Н6	15,0	Фреон	Нет информации	210	2,0
14	1-2-3-150	Шаровой сварной, арм. стеклопластом	X16Н6	15,0	Фреон	18	190	2,0
15	155-6110.5250.5	Шаровой сварной	30ХГСА	32,0	Азот	20	210	4,5
16	УБШ-3	Шаровой сварной, арм. стеклопластом	X16Н6Ш	21,0	Воздух	18	190	2,0
17	УБШ-2	Шаровой сварной, арм. стеклопластом	X16Н6	15,0	Фреон	26	170	1,5
18	5.12.7802.1100.00	Цилиндр. бесшов., арм. стеклопластом	30ХГСА	25,0	Кислород	20	90	2,2
19	Б-4,5800.0	Цилиндрический сварной	2842НВМБР	29,0	Азот	15	90	3,2
20	УБЦ.16	Цилиндр. сварной, арм. стеклопластом	X16Н6	15,0	Азот	21	240	3,5
21	П-9350-500	Цилиндрический бесшовный	Д1	17,0	Углекислота	Нет информации	48	3,5
22	2-11-5305.8060.00	Цилиндрический сварной	30ХГСА	6,0	Воздух	20	103	1,6
23	5.12.7607.8000.00	Цилиндр. бесшов., арм. стеклопластом	30ХГСА	25,0	Воздух	20	90	2,0
24	2-2-8-210	Цилиндр. сварной, арм. стеклопластом	X16Н6	21,0	Воздух	21	190	2,2
25	ОУ-2	Цилиндрический бесшовный	Сталь 45	15,0	Углекислота	15	110	4,5

Все остальные баллоны (48 шт.) выдержали циклические испытания пульсирующей нагрузкой до расчетного давления на базе 10^4 циклов нагружения.

В результате статических испытаний для каждого баллона было установлено давление, при котором имело место разрушение, и предельные напряжения в наиболее нагруженных элементах бал-

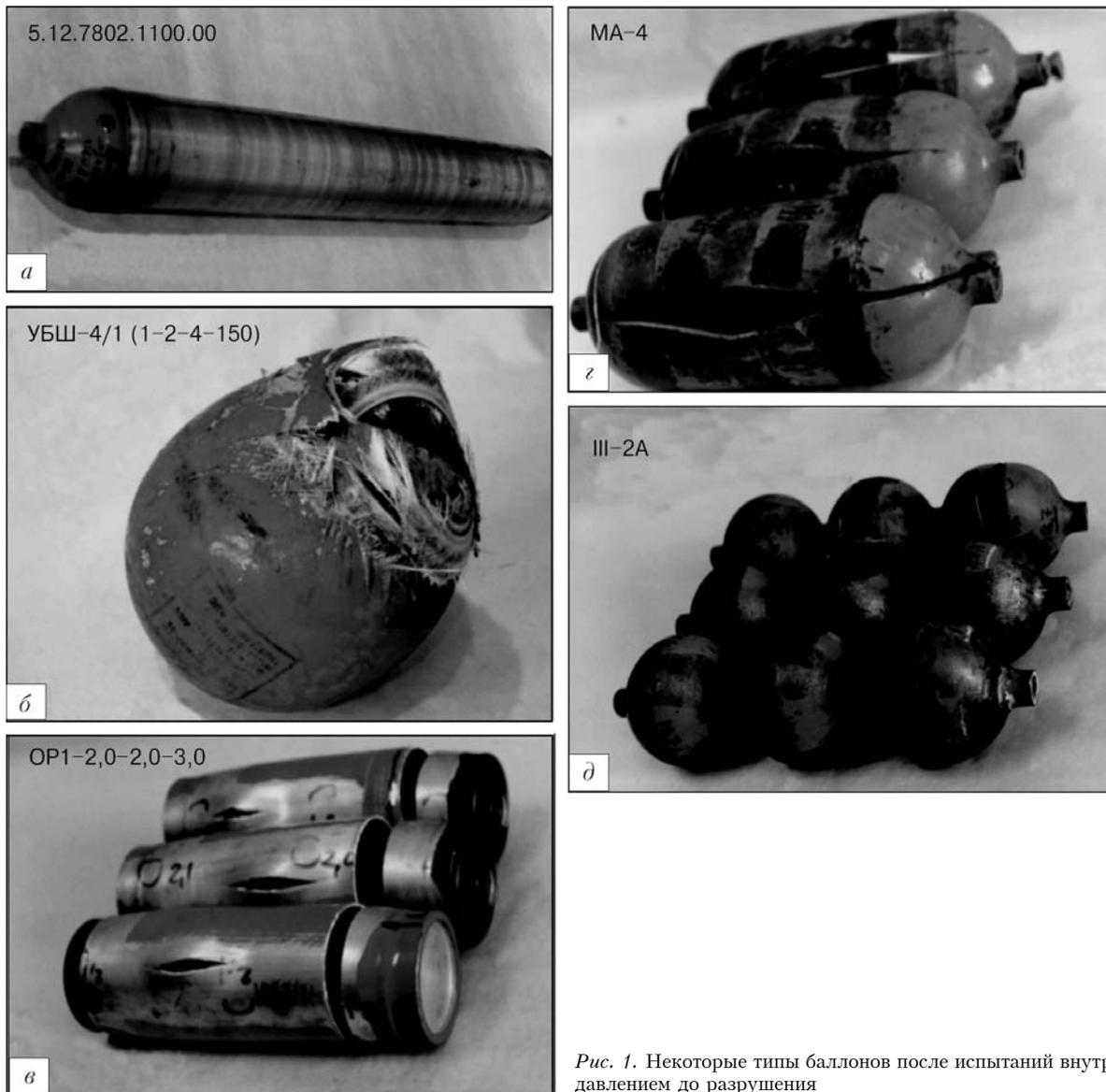


Рис. 1. Некоторые типы баллонов после испытаний внутренним давлением до разрушения

лонов [1]. Всего до разрушения испытано 123 баллона. На рис. 1 показаны ряд типов баллонов после гидравлических испытаний внутренним давлением до разрушения.

Анализ результатов испытаний. Результаты испытания пяти баллонов каждого типа, включая два баллона на циклические нагрузки, являются достаточно представительной выборкой, однако статистический анализ отдельно по каждому типу баллонов не позволяет прогнозировать их уровень безопасной эксплуатации. В этой связи необходимо при всем различии технических параметров баллонов установить критерий оценки прочности, который не будет зависеть от типа и технических параметров, что позволит рассматривать результаты испытаний всех типов баллонов как единую выборку.

Представляется, что таким критерием может являться запас прочности в каждом из баллонов, который характеризует отношение разрушающего давления к рабочему.

Анализ результатов из 123 значений коэффициентов запаса прочности свидетельствует о том,

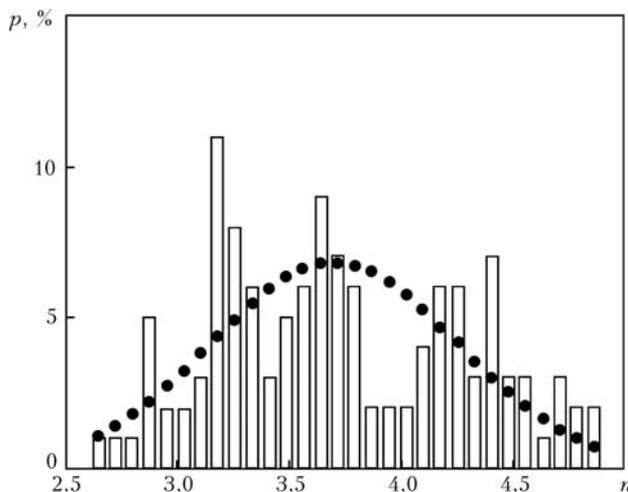


Рис. 2. Гистограмма и нормированное распределение коэффициента запаса прочности баллонов

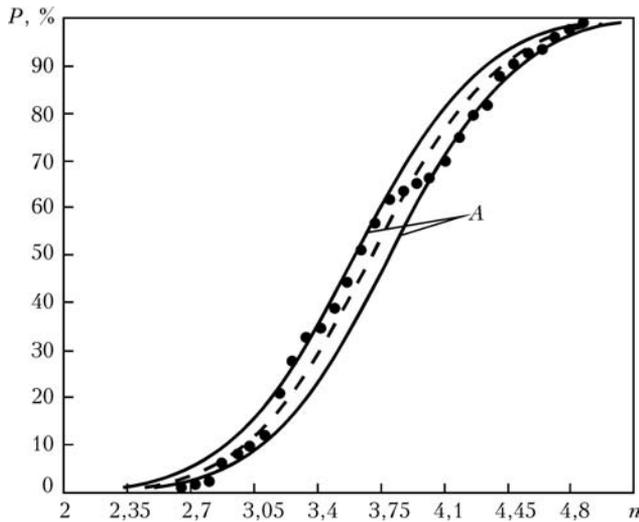


Рис. 3. Накопленная частота коэффициента запаса прочности баллонов (А – граница доверительного интервала)

что данная выборка соответствует нормальному закону распределения [2]. Об этом свидетельствует гистограмма и нормированное распределение коэффициента запаса прочности (рис. 2), а также накопленная частота полученных при испытаниях значений коэффициентов запаса прочности (рис. 3), отклонение которых от теоретической зависимости для нормального распределения укладывается в 95%-ный интервал вероятности. Статистическим анализом значений коэффициентов запаса прочности установлены параметры нормального распределения для выборки, которые составили: среднестатистическое значение коэффициента запаса прочности – $a = 3,695$; дисперсия – $s^2 = 0,305$; стандартное отклонение выборки – $s = 0,552$.

Диапазон значений коэффициента запаса прочности находится в пределах от 2,6 для баллонов типа 5.12.7607.8000.00 до 4,90 для баллонов типа КБ-2. Естественно, существует вероятность того, что в генеральной совокупности, включающей весь парк рассмотренных типов баллонов, эксплуатируемых в Вооруженных Силах Украины, нижняя граница коэффициента запаса может уменьшиться.

Для определения статистических параметров генеральной совокупности распределения использованы доверительные интервалы для среднестатистического значения коэффициентов запаса и среднеквадратичного отклонения [3]. Установлено, что при доверительной вероятности, равной 0,95, среднестатистическое значение коэффициента запаса прочности генеральной совокупности находится в пределах $a_H = 3,597$; $a_B = 3,794$, а доверительный интервал для стандартного отклонения: $\sigma_H = 0,502$; $\sigma_B = 0,61$.

На рис. 4 в координатах вероятность–коэффициент запаса прочности представлены нормальное распределение выборки из испытанных образцов и границы доверительного интервала с доверительной вероятностью для среднего и стандартного отклонения, равной 0,95, которые определяются зависимостями 2-2 и 3-3.

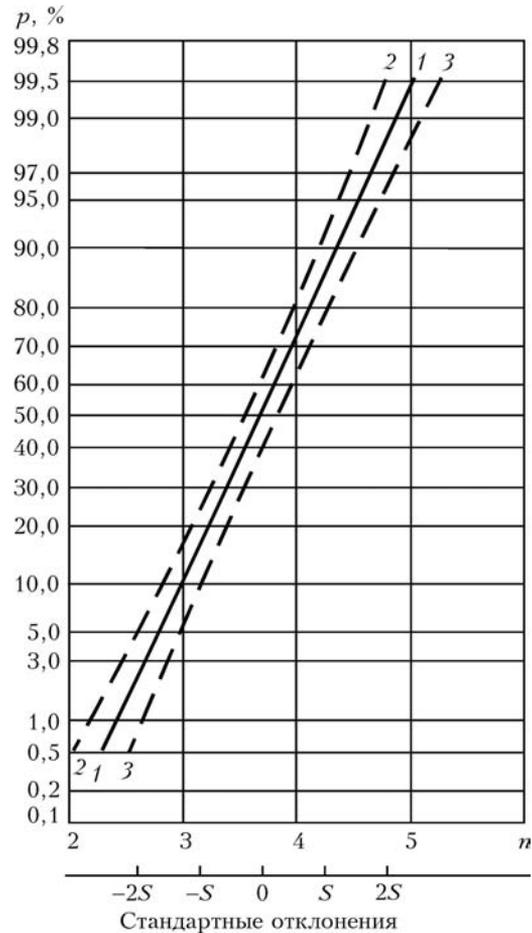


Рис. 4. Границы доверительного интервала нормального распределения запаса прочности баллонов: 1-1 – распределение $p-n$ для выборки; 2-2 и 3-3 – граница доверительного интервала

Полученные параметры границ доверительных интервалов позволяют оценить вероятность эксплуатации баллонов, запас прочности которых ниже некоторого наперед заданного коэффициента запаса. Представляет, по-видимому, интерес определение вероятности наличия баллонов, запас прочности которых будет меньше 2,6 (нормативные запасы прочности для новых баллонов), меньше 2,5; 2,25; 2,0 (нормативные запасы прочности баллонов с ограниченным сроком пребывания в эксплуатации [4]) и 1,5, что характеризует испытание пробным давлением.

В табл. 2 приведены вероятности того, что запасы прочности баллонов не превысят указанных выше величин.

Как видно из приведенных данных, практически отсутствует вероятность разрушения баллонов при их освидетельствовании пробным давлением. Вместе с тем, достаточно высокая вероятность того, что в эксплуатации пребывают типы баллонов, запас прочности которых ниже регламентированного нормами [4, 5].

Как указывалось выше, запасы прочности баллонов разных типов заметно отличаются. Этому способствует ряд моментов, среди которых важное место занимает отличие в технологическом процессе изготовления баллонов, связанное с конструкцией и материалами, разные предприятия-изготовители



Таблица 2. Вероятность пребывания в эксплуатации баллонов с разными запасами прочности

Коэффициенты запаса прочности баллонов	1,5	2,0	2,25	2,5	2,8
Квантиль стандартного отклонения	3,438	2,61	2,208	1,798	1,634
Вероятность пребывания в эксплуатации	0,0005	0,0045	0,015	0,036	0,053

и т. п. Это приводит к повышению рассеивания коэффициентов запаса прочности в выборке, расширению границ доверительных интервалов и, как следствие, тех показателей вероятности пребывания в эксплуатации, которые приведены в табл. 2. Вместе с тем в этих результатах не находят отражения вероятность пребывания в эксплуатации баллонов дифференцированно по каждому типу. Проведенные испытания показывают, что рассеяние коэффициента запаса прочности внутри каждого из типов баллонов заметно ниже, чем в целом по выборке.

Поэтому представляется, что данные табл. 2 можно рассматривать с позиций оценки прочности всего парка баллонов, эксплуатируемых в Вооруженных Силах Украины и изготовленных с единичными требованиями к проектированию, изготовлению и показателям прочности.

Чтобы оценить надежность эксплуатации рассмотренных (см. табл. 1) типов баллонов, необходимо исключить влияние рассеивания, связанного с типом баллонов на статистические характеристики выборки, полученной по результатам испытаний. Представляется, что достичь этого можно,

если выборку формировать не из коэффициентов запаса прочности испытанных баллонов, а из отношений запаса прочности каждого из баллонов данного типа n_{ji} к среднему значению коэффициента запаса прочности для данного типа баллона n_j . Выборка из результатов n_{ji}/n_j характеризует рассеяние результатов по параметру, который не зависит от типа баллона и может быть использован для анализа надежности эксплуатации любого из типов баллонов, которые прошли испытания.

Такая выборка из 123 результатов испытаний соответствует нормальному закону распределения со следующими параметрами: среднестатистическое значение отношений n_{ji}/n_j равно 1,0, согласно определению; дисперсия выборки $s^2 = 0,003055$; стандартное отклонение выборки $s = 0,05527$; доверительный интервал для среднего независимо от доверительной вероятности равен 1,0.

Для 95 %-ной доверительной вероятности границы стандартного отклонения генеральной совокупности будут иметь значение: $\sigma_{н} = 0,0494$, $\sigma_{в} = 0,0622$.

На рис. 5 в координатах вероятность–параметр n_{ji}/n_j представлено нормальное распределение выборки, составленной по результатам испытаний баллонов при статическом нагружении до разрушения, и границы доверительного интервала с доверительной вероятностью для стандартного отклонения, равной 0,95.

Приведенные выше данные позволяют дифференцированно по каждому типу баллонов и с учетом фактических результатов испытаний оценить вероятность для заданного коэффициента запаса, либо оценить коэффициент запаса для заданной вероятности разрушения любого типа баллонов, прошедших испытания.

Так, исходя из среднего значения параметра n_{ji}/n_j и верхней границы стандартного отклонения генеральной совокупности $\sigma_{в} = 0,0622$, в табл. 3 для шести типов баллонов определена вероятность того, что прочность этих баллонов будет ниже нормативных требований. Пять из рассмотренных типов баллонов имеют наименьшие коэффициенты запаса прочности, а баллон УБЦ-10 имеет коэффициент запаса, близкий к среднему по выборке.

Нормативные требования к запасу прочности баллонов рассматриваются на уровне 2,5 и 2,6.

Аналогично могут быть определены вероятности того, что коэффициент запаса прочности будет не ниже нормативного, или некоторого заданного значения для других типов баллонов, которые прошли испытания. Приведенные данные свидетельствуют, что даже для типов баллонов с наиболее низким коэффициентом запаса прочности вероятность присутствия баллона с запасом прочности ниже нормативного значения весьма невысокая. Если оце-

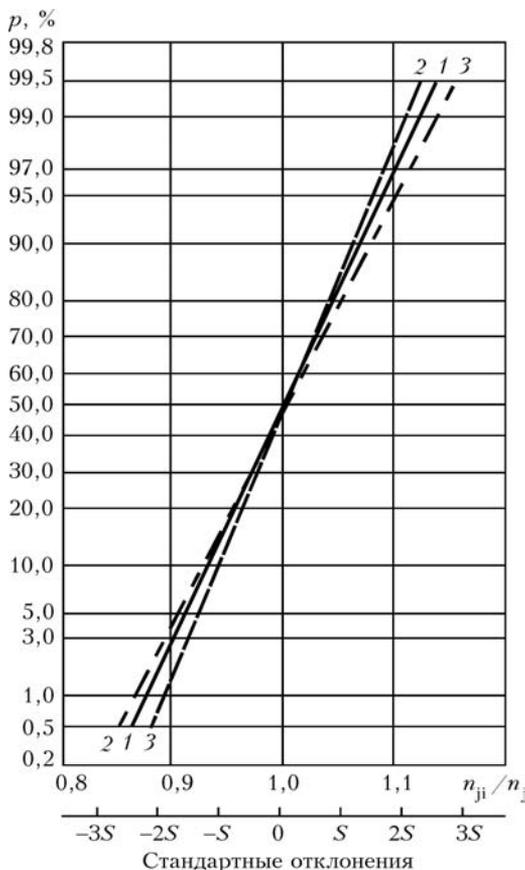


Рис. 5. Граница доверительного интервала нормального распределения параметра n_{ji}/n_j



Таблица 3. Вероятность коэффициента запаса прочности не ниже нормативного уровня для отдельных типов баллонов

Тип баллона	n_j	$2,6/n_j$	$2,5/n_j$	Вероятность того, что		Вероятность того, что	
				$2,6/n_j$	$2,5/n_j$	$n \geq 2,6$	$n \geq 2,5$
155-6110-5250.5	2,975	0,8739	0,8403	2,027	2,568	0,978	0,995
ОП-20-20-30	2,987	0,8704	0,8370	2,080	2,621	0,981	0,996
5.12.7607.8000.00	3,000	0,8667	0,8333	2,144	2,680	0,983	0,996
5.12.7802.1100.00	3,028	0,8586	0,8256	2,272	2,803	0,988	0,997
УБШ 25/150	3,049	0,8527	0,8199	2,318	2,895	0,991	0,998
УБЦ-16	3,667	0,7090	0,6818	4,678	5,115	$\sim 0,9^6$	$\sim 0,9^7$

нить вероятность разрушения баллонов типа 155-6110.5250.5 при пробных испытаниях ($n = 1,5$), то она определяется цифрой с более чем девятью нолями после запятой. Конечно, это относится к изделиям, не имеющим дефектов и прошедшим соответствующий контроль [5]. Исходя из этого, для рассмотренных 25 типов баллонов могут быть пересмотрены сроки плановых освидетельствований и они могут быть приведены в соответствие с существующими для летательных аппаратов или их агрегатов.

Представляется, что полученные результаты могут быть использованы для оценки надежности других типов баллонов, которые в рамках данных исследований не проходили испытания. При этом испытания новых типов баллонов необходимо проводить в тех же объемах по той же методике и этими результатами должна быть дополнена настоящая выборка.

Срок эксплуатации баллонов и величина коэффициента запаса прочности. Наличие достаточного большого количества баллонов, прошедших испытания и разный срок их эксплуатации на момент исследований, в том числе и по отдельным типам баллонов, позволяет оценить влияние срока эксплуатации на величину коэффициента запаса прочности. Другими словами, осуществить попытку выявить деградацию свойств материала под влиянием среды и срока эксплуатации баллонов.

Исследования проводились в трех направлениях.

Во-первых, устанавливали наличие корреляционной связи между сроком фактического пребывания в эксплуатации и значением коэффициента запаса прочности дифференцированно по каждому типу баллонов. Естественно, рассматривали только те типы, в которых баллоны имели различный срок эксплуатации. Результаты корреляционного анализа показали, что в абсолютном большинстве типов баллонов отсутствует корреляционная связь между сроком эксплуатации баллонов и коэффициентом запаса прочности. Принято считать, что корреляционная связь между исследуемыми параметрами надежная, если коэффициент корреляции r по абсолютной величине более 0,7, а его надежность m_r , определяемая отношением коэффициента корреляции к мере индивидуального рассеяния, превышает по абсолютной величине 3,0. Исходя из этого, достаточно надежная связь между

фактическим сроком эксплуатации и коэффициентом запаса прочности установлена для баллона типа 2.11.5303, для которого коэффициент корреляции равен 0,811, а надежность коэффициента корреляции равна 4,75.

Для других типов баллонов корреляционная связь либо ненадежная, либо вообще отсутствует. На рис. 6 приведены результаты испытаний по отдельным типам баллонов и линии регрессии, которые подтверждают или исключают наличие связи между указанными параметрами.

Характерно, что для баллонов типа 2.11.5305 с увеличением срока эксплуатации коэффициент запаса прочности несколько возрастает, что по-видимому, можно объяснить процессом старения стали 30ХМА. В баллонах типа Ш-2 и КБШ-4 прослеживается тенденция снижения коэффициента запаса прочности. Заметим, что как повышение, так и снижение коэффициента запаса прочности является несущественным, поэтому в целом, исходя из полученных результатов следует считать, что изменение механических свойств и толщины стенки изделий за исследованный промежуток времени практически не выявлено.

Во-вторых, исследована корреляционная связь между фактическим сроком эксплуатации баллонов и соответствующим значением коэффициента запаса прочности для всей партии баллонов, которые прошли статические испытания. Результаты этих исследований показали, что коэффициент корреляции равен 0,38. Это свидетельствует о практическом отсутствии влияния срока эксплуатации на служебные свойства исследованных баллонов.

В-третьих, исследовано существование корреляционной связи между фактическим сроком эксплуатации баллонов и относительным значением коэффициента запаса прочности (n_{ji}/n_j) для всей партии баллонов. Результаты этих исследований показали, что коэффициент корреляции $r = -0,03$. Это свидетельствует о полном отсутствии связи между рассматриваемыми параметрами.

Суммируя приведенные выше результаты, есть все основания утверждать, что в рамках исследованных сроков эксплуатации не установлено их влияние на значение коэффициента запаса прочности рассмотренных типов баллонов, а следовательно, на их служебные свойства.

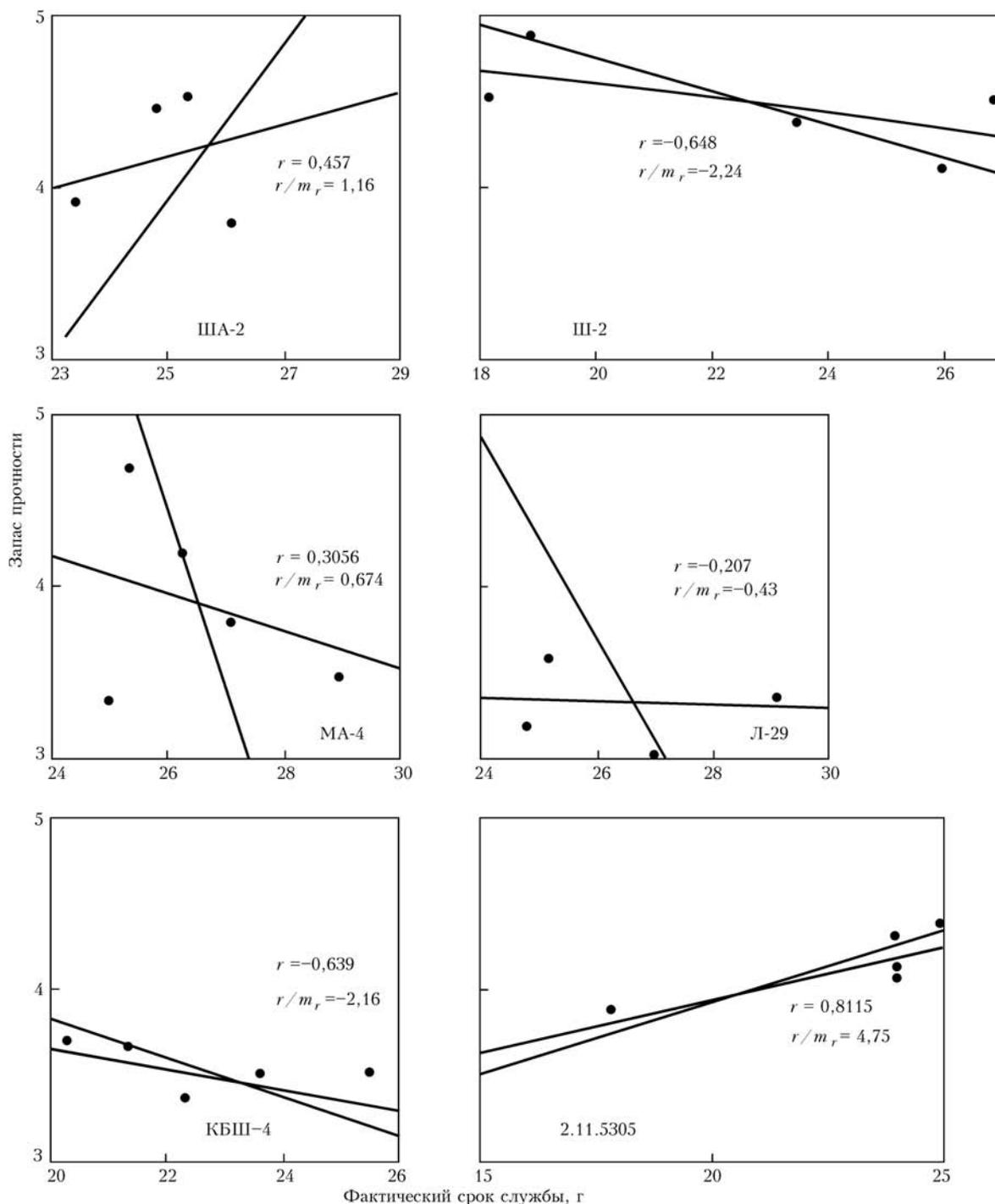


Рис. 6. Корреляционная связь и линии регрессии для отдельных типов баллонов

Выводы

Испытания 25 типов баллонов (по два каждого типа) циклической нагрузкой в режиме $0 - P_{\text{раб}}$ на базе 10^4 циклов показали, что за исключением одного баллона типов Л-29.8121-08 и УБШ-2 все остальные выдержали данный вид испытаний. До появления сквозной трещины усталости баллон Л-29.8121-08 выдержал 8000 циклов нагружений, а баллон УБШ-2 8250 циклов нагружений. Наличие трещин усталости требует уточнения эксплуатационной нагрузки данных типов баллонов и, исходя из этого, следует назначать срок безопасной их эксплуатации.

Результаты испытаний 123 баллонов статической нагрузкой внутренним давлением до разрушения свидетельствуют, что запас прочности колеблется в границах 2,6:4,9. Наиболее низкий запас прочности имеют баллоны типа 155-5110.5250.5 (2,719:3,156, с средним значением по пяти испытаниям, равным 2,975), а наиболее высокий — баллоны типа КБ-2 (4,233... 4,900, с средним значением 4,589).

По показателю запаса прочности в одну выборку могут быть объединены результаты испытаний баллонов, отличающихся рабочим давлением, конструкцией, объемом, материалом и рабочей средой.



Выборка соответствует нормальному закону распределения со средним 3,695 и стандартным отклонением 0,552.

Показано, что выборка, сформированная как отношение запаса прочности данного конкретного баллона n_j к среднему показателю запаса прочности соответствующего типа баллонов n_j , соответствует нормальному закону распределения с параметрами для среднего 1,00 и стандартным отклонением 0,05527. Установлена вероятность того, что запас прочности отдельных типов баллонов будет не ниже нормативных требований.

Результаты испытаний внутренним давлением до разрушения баллонов, которые предварительно прошли циклические испытания, не дают оснований утверждать, что их прочность отличается от

прочности баллонов, которые не подвергались циклической нагрузке.

Результаты испытаний подтверждают возможность перевода типов баллонов, которые прошли испытания, в категорию со сроком эксплуатации более, чем 30 лет.

1. Куркин С. А. Прочность сварных тонкостенных сосудов, работающих под давлением. — М.: Машиностроение, 1976. — 184 с.
2. Смирнов Н. В., Дунин-Барковский И. В. Краткий курс математической статистики для технических приложений. — М.: Физматгиз, 1959. — 436 с.
3. Хальд А. Математическая статистика с техническими приложениями. — М.: Изд-во иностранной литературы, 1956. — 664 с.
4. ГОСТ 15586-93. Системы пневматических летательных аппаратов. — Введен в Украине 01.07.99.
5. ДНАОП 0.00-1.07-94. Правила будови та безпечної експлуатації посудин, що працюють під тиском. — Київ, 1998. — 190 с.

Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины,
Гос. НИИ авиации МО Украины,
Киев

Поступила в редакцию
25.11.2005

НОВЫЕ КНИГИ

Троицкий В. А. Краткое пособие по контролю качества сварных соединений. — К.: Феникс, 2006. — 320 с.



В пособии рассмотрены методы неразрушающего контроля (НК) и их классификация, изложены основные понятия и физические основы, приведены технические характеристики основных видов оборудования и вспомогательных средств для визуальной, ультразвуковой, радиационной, магнитной, капиллярной дефектоскопии и контроля герметичности. Классифицированы основные типы дефектов сварных соединений, выполненных дуговыми, контактными и другими видами сварки. Изложены вопросы статистической обработки результатов контроля, управления качеством сварки, примеры ведомственных норм на дефектность сварных соединений.

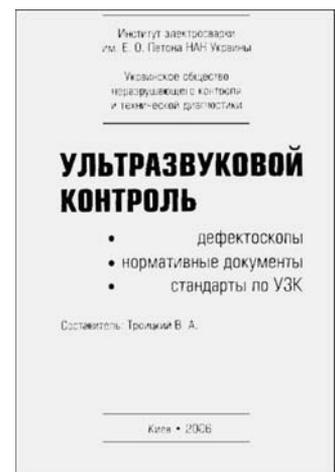
Приведены примеры использования средств НК в трубопроводном транспорте, в нефтегазовой и строительной промышленности, при производстве труб магистральных трубопроводов.

Методические рекомендации рассчитаны на инженерно-технических работников, дефектоскопистов и могут быть полезны студентам вузов. Издание третье, дополненное.

Ультразвуковой контроль: дефектоскопы, нормативные документы, стандарты по УЗК / Составитель В. А. Троицкий. — К.: Феникс, 2006. — С. 240.

Справочное пособие, содержащее сравнительный анализ современных ультразвуковых дефектоскопов, нормативные документы и стандарты по этому виду неразрушающего контроля качества.

Предназначено для инженеров, занимающихся контролем качества, диагностикой энергетического и другого ответственного оборудования. Дополняет учебно-методический материал, изложенный в книге В. А. Троицкого «Краткое пособие по контролю качества сварных соединений», издание третье, 2006 г.





ОПРЕДЕЛЕНИЕ КООРДИНАТ РАЗВИВАЮЩИХСЯ ДЕФЕКТОВ НА ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЯХ

А. Я. НЕДОСЕКА, М. А. ЯРЕМЕНКО, М. А. ОВСИЕНКО, Л. Ф. ХАРЧЕНКО

Рассматривается вариант определения координат развивающихся дефектов на цилиндрических поверхностях с использованием приближенных формул, что позволяет при проведении акустэмиссионного (АЭ) контроля трубооболочечных конструкций в условиях производства определять источники АЭ с удовлетворительной точностью.

The paper deals with a variant of determination of co-ordinates of propagating defects on cylindrical surfaces, using approximate formulas, this allowing determination of AE sources with a sufficient accuracy during acoustic emission (AE) monitoring of pipe-shell structures under the production conditions.

Сущность метода АЭ состоит в регистрации упругих импульсных колебаний, возникающих в объекте контроля при нагружении. Источниками этих импульсов являются локальные области объекта, в которых происходит динамическая перестройка структуры материала в виде пластической деформации, фазовых превращений, роста трещин, различных видов физико-химических процессов. Для оперативного принятия решения о необходимости и объеме проведения ремонтных работ в ходе контроля следует определить координаты дефектных мест и указать их на чертеже изделия.

Контролируемое с использованием метода АЭ оборудование имеет, как правило, сложную конструкцию, большую массу, содержит многочисленные сварные швы, различные типы соединений. Поэтому проведение технического диагностирования таких объектов представляет определенную сложность. Наиболее перспективным в данном вопросе является проведение постоянного мониторингового контроля оборудования. Однако там, где нет возможности установления непрерывного или периодического мониторинга технического состояния оборудования, проводится техническое диагностирование при проведении текущего или капитального ремонта. С целью сокращения времени простоя производства и сокращения экономических потерь техническое диагностирование проводится в сжатые сроки и в основном выборочное. Представляет интерес контроль максимального объема оборудования минимальным количеством датчиков. Количество датчиков, необходимых для проведения 100%-ного контроля изделия, определяется степенью затухания УЗ волны, особенностями конструкции оборудования и режимом эксплуатации. Для контроля изделий цилиндрической формы удобно использовать плоскостные антенны из четырех датчиков или линейные антенны, состоящие из двух датчиков, расположенных во взаимно перпендикулярных сечениях, а затем пересчитывать координаты источника АЭ на плоскостной вариант или рассматривать в качестве координат источника пересечение данных линейных антенн. В последнем варианте координаты источников определяются приблизительно. С учетом наличия различных фак-

торов, влияющих на точность измерения временных задержек прихода сигналов АЭ на разнесенные приемные преобразователи, и наличия особенностей при использовании точных формул, удобно использовать приближенные формулы расчета.

Рассмотрим один из вариантов определения местоположения источников АЭ на изделии цилиндрической формы. Контролируемую поверхность удобно разделить на четыре зоны, а результаты контроля представить на развертке изделия (рис. 1).

Образующие, проходящие через места установки приемников, расположены под углом 90° . Датчик 2 расположен на 180° по часовой стрелке от датчика 1, 3 — на образующей, отстоящей от образующей, на которой находится датчик 1, на 90° по часовой стрелке; 4 расположен по образующей, отстоящей от образующей, на которой находится датчик 1, на 270° по часовой стрелке. Таким образом, первая (I) зона локации расположена между образующими датчиков 1 и 3, вторая (II) — 3 и 2, третья (III) — 2 и 4, четвертая (IV) — 4 и 1.

Выбор зоны нахождения источника АЭ осуществляем в зависимости от порядка срабатывания датчиков. В каждой зоне расчет координат источников АЭ проводится по приближенным фор-

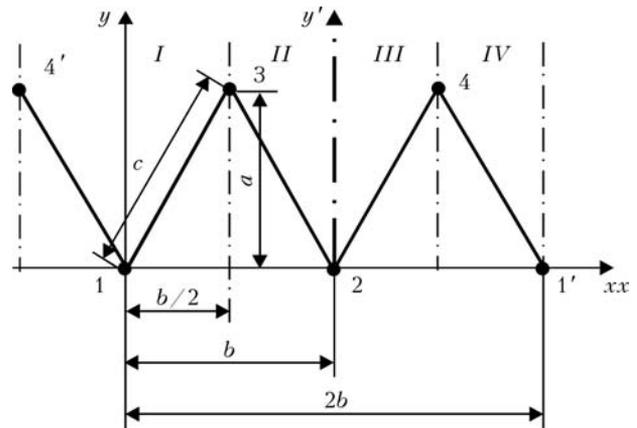


Рис. 1. Расположение датчиков АЭ на развертке обечайки изделия

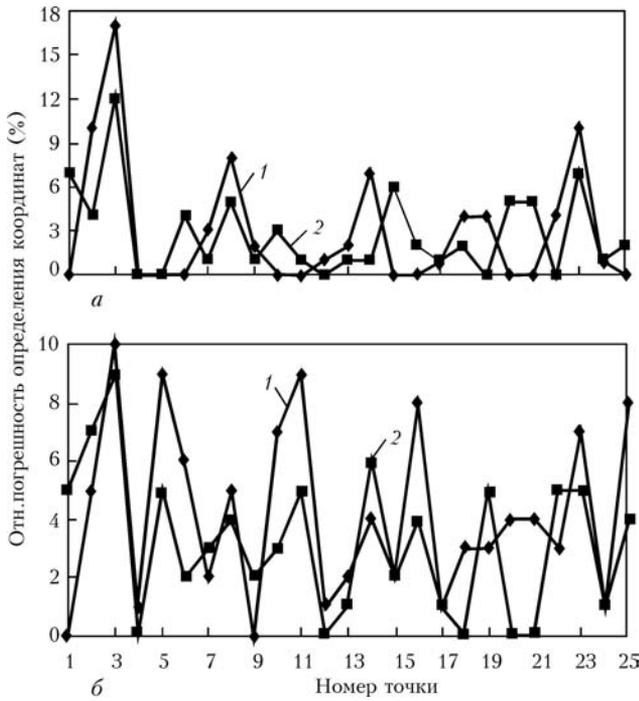


Рис. 2. Относительная погрешность определения координат x (а) и y (б) источников АЭ при $k = 1$ (1, 2); $k = 1,15$ (1, 2)

мулам. Для определения координаты x используются либо датчики 1 (1') и 2, либо датчики 3 и 4 (4') в зависимости от местоположения источника АЭ относительно этих пар датчиков. Сра-

батывание последнего из четырех датчиков не обязательно.

Таким образом, если источник АЭ находится в локационной зоне I, то для определения его координат используются следующие формулы:

$$x = \frac{b}{2} - k \frac{\Delta T_{21} V}{2}, \quad (1)$$

или

$$x = k \frac{\Delta T_{43} V}{2}, \quad (1')$$

$$y = \frac{a}{c} \left(\frac{c}{2} - k \frac{\Delta T_{31} V}{2} \right) - \frac{b}{2a} \left[x - \frac{b}{2c} \left(\frac{c}{2} - k \frac{\Delta T_{31} V}{2} \right) \right]. \quad (2)$$

Если источник АЭ находится в локационной зоне II, то для определения его координат используются формулы:

$$x = \frac{b}{2} - k \frac{\Delta T_{21} V}{2}, \quad (3)$$

или

$$x = b - k \frac{\Delta T_{43} V}{2}, \quad (3')$$

$$y = \frac{a}{c} \left(\frac{c}{2} - k \frac{\Delta T_{32} V}{2} \right) + \frac{b}{2a} \left[x - b + \frac{b}{2c} \left(\frac{c}{2} - k \frac{\Delta T_{32} V}{2} \right) \right]. \quad (4)$$

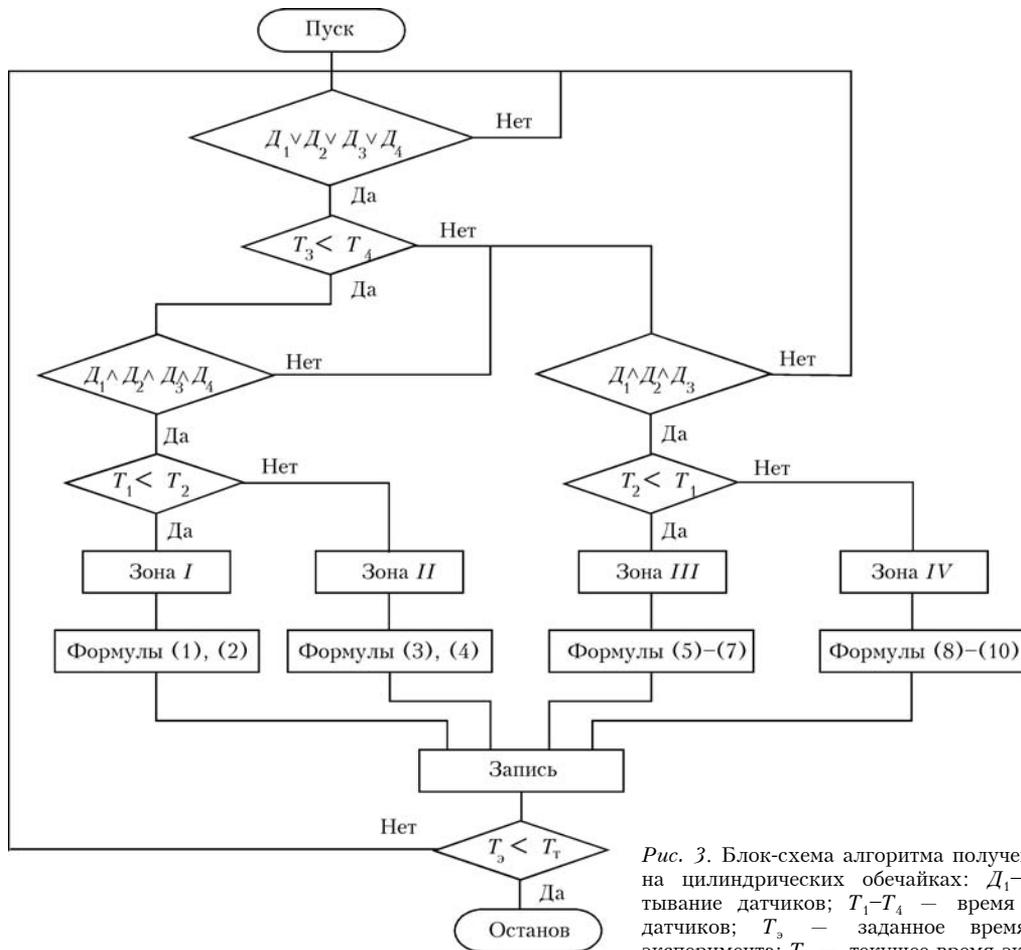


Рис. 3. Блок-схема алгоритма получения координат на цилиндрических обечайках: D_1 – D_4 – срабатывание датчиков; T_1 – T_4 – время срабатывания датчиков; T_3 – заданное время проведения эксперимента; T_τ – текущее время эксперимента



Для определения координат источника АЭ в локационной зоне III используются следующие формулы:

$$x' = \frac{b}{2} - k \frac{\Delta T_{12} V}{2}, \quad (5)$$

или

$$x' = k \frac{\Delta T_{34} V}{2}, \quad (5')$$

$$x = b + x', \quad (6)$$

$$y = \frac{a}{c} \left(\frac{c}{2} - k \frac{\Delta T_{42} V}{2} \right) - \frac{b}{2a} \left[x' - \frac{b}{2c} \left(\frac{c}{2} - k \frac{\Delta T_{42} V}{2} \right) \right]. \quad (7)$$

Для определения координат источника АЭ в локационной зоне IV используются формулы:

$$x' = \frac{b}{2} - k \frac{\Delta T_{12} V}{2}, \quad (8)$$

или

$$x' = b - k \frac{\Delta T_{34} V}{2}, \quad (8')$$

$$x = b + x', \quad (9)$$

$$y = \frac{a}{c} \left(\frac{c}{2} - k \frac{\Delta T_{41} V}{2} \right) + \frac{b}{2a} \left[x' - b + \frac{b}{2c} \left(\frac{c}{2} - k \frac{\Delta T_{41} V}{2} \right) \right]. \quad (10)$$

В формулах (1)–(10) под $\Delta T_{ij} = T_i - T_j$ подразумевается разница времен прихода сигнала АЭ на датчики D_i и D_j ; k — поправочный коэффициент.

Значение коэффициента k определяется после проведения предварительного тестового прозвучивания исходя из геометрических размеров изделия с целью обеспечения относительной погрешности определения координат, не превышающей 15 %.

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

Таким образом значение данного коэффициента находится между 1 и 1,15.

В качестве примера использования предлагаемых формул определим координаты источников АЭ на осушителе воздуха ($a = 3000$ мм, $b = 3500$ мм).

Для оценки точности предложенных формул задавались координаты источников АЭ, проводился расчет координат по формулам (1)–(4) и рассчитывалась относительная погрешность определения координат при значениях коэффициента $k = 1$ и $k = 1,15$. На рис. 2 представлены результаты оценки погрешности в точках, расположенных в зонах I, II, при прохождении данных областей с шагом 750 мм по осям x и y .

Выводы

Представленные формулы расчета и алгоритм определения координат источников АЭ на замкнутой цилиндрической поверхности позволяет получить координаты развивающихся дефектов с заданной точностью (погрешность определения до 15 %), избежав при этом неоднозначности при их представлении.

1. Красильников Д. П., Ниссельсон А. Л., Шемякин В. В. Локализация источников акустической эмиссии // Диагностика и прогнозирование разрушения сварных конструкций. — 1985. — № 1. — С. 47–52.
2. Недосека А. Я., Бойчук О. И., Овсиенко М. А. Отбраковка ложных сигналов при проведении АЭ испытаний образцов или линейных объектов // Техн. диагностика и неразруш. контроль. — 1999. — № 1. — С. 3–6.
3. Антешенко Е. И., Вислювский Н. Г., Кельрих М. Б. Оценка эффективности метода акустической эмиссии при техническом диагностировании объектов // Там же. — 2004. — № 4. — С. 11–14.
4. О применении метода акустической эмиссии для контроля промышленных конструкций / А. Я. Недосека, М. А. Овсиенко, Л. Ф. Харченко, М. А. Яременко // Там же. — 2003. — № 3. — С. 3–6.

*Поступила в редакцию
24.09.2005*

КОРОЗИЯ-2006 МІЖНАРОДНА ВИСТАВКА

6-8 червня
Львівський Будинок вчених
вул. Листопадового Чину, 6
м. Львів



Європейська корозійна федерація
Національна академія наук України
Міністерство освіти і науки України
Міністерство промислової політики України
Українська асоціація корозіоністів
Фізико-механічний інститут ім. Г.В.Карпенка НАН
України

Адреса оргкомітету:
Україна, 79601, м. Львів-МСП, вул. Наукова, 5
тел.: (0322) 63-15-77, (032) 229-62-53
факс: (0322) 63-15-77
E-mail: pokhmurs@ipm.lviv.ua, kornii@ipm.lviv.ua
Web: <http://www.ipm.lviv.ua/corrosion>



ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПО КОСВЕННЫМ ДАННЫМ

В. М. НАГОРНЫЙ, А. А. ЧЕРЕВКО

Рассмотрено два примера оценки технического состояния роторных машин: в первом рассмотрена возможность использования сигнала, получаемого с датчика, находящегося в штатной системе контроля компрессора, а во втором в качестве диагностической информации использовались данные вибрации стенки водогонной трубы, вызванные потоком протекающей по ней жидкости.

Two examples of evaluation of the technical condition of rotary machines are presented. In the first example the possibility of using the signal from a transducer located in the compressor standard monitoring system is considered, and in the second case data on vibration of the water supply pipe wall, created by the running liquid flow, were used as diagnostic information.

Виброакустическая диагностика (вибродиагностика), которую еще называют безразборной дефектацией, определяет техническое состояние машины по косвенным параметрам, к которым относятся чаще всего параметры паразитных вибраций, неминуемо сопровождающих работу машины.

Однако понятие вибродиагностика следует понимать не буквально, а как наименование научного направления технической диагностики, для которого источником информации о состоянии машины является собирательное понятие — вибропараметр. Под этим термином следует понимать волновые процессы, содержащие информацию обо всех колебательных и периодических процессах, возникающих при функционировании машины. Эта информация может содержать сведения об относительных и абсолютных смещениях узлов и деталей, о пульсации скоростей и давлений в рабочих средах, о полях силовых воздействий, акустической эмиссии в узлах трения и т. п. В связи с этим частотный диапазон виброакустических параметров простирается от долей герца до сотен килогерц.

Практически все виды дефектов изменяют характеристики вибропараметров, что делает их незаменимыми при использовании в целях диагностирования.

До сих пор большое внимание уделялось определению и анализу параметров механических колебаний. Для этого разработан широкий спектр датчиков, регистрирующей и анализирующей аппаратуры.

Немаловажна также достаточная простота преобразования вибрационного сигнала в электрический и возможность дальнейшей его обработки и логического анализа с помощью современной микропроцессорной техники.

Однако введение виброконтроля приводит к увеличению себестоимости производимой продукции за счет включения в нее стоимости диагностической аппаратуры, дополнительной для штатной системы контроля, что не выгодно производителю. Это выгодно заказчику, так как диагностическая аппаратура за время эксплуатации

машины себя неоднократно окупит. Однако он, как правило, в момент покупки не желает платить за новую и поэтому исправную машину большую цену, полагая, что она будет исправной всегда.

Поэтому имеется компромиссный путь — использовать в качестве диагностической информацию, поступающую от штатной системы контроля за состоянием машины.

В данной статье приводятся два примера использования в диагностических целях подобной косвенной информации.

В качестве первого примера рассмотрим возможность использования сигнала, получаемого с датчика давления, находящегося в штатной системе контроля компрессора. Предметом виброобследования был компрессор, в системе управления которого применяется датчик давления.

Экспериментальная часть исследований заключалась в определении уровня виброскорости A в мм/с на основных узлах компрессорного агрегата, а также запись сигнала с датчика давления. Виброизмерения осуществлялись с помощью прибора «Вибропорт» с одновременной регистрацией измеряемых сигналов на магнитофон. Сигнал с датчика давления регистрировался непосредственно на магнитофон. Измерения проводили в рабочем режиме компрессора.

Обработку зарегистрированных сигналов проводили на компьютере (рис. 1) с помощью специально разработанной для этого программы. В результате этой обработки определялся частотный состав (спектр) вибрации компрессора в точках

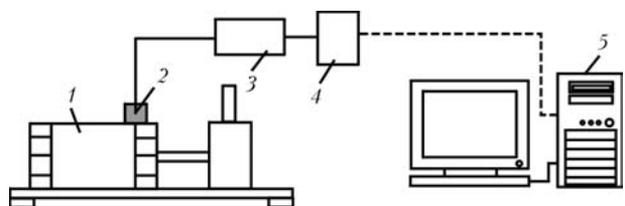


Рис. 1. Схема регистрации и дальнейшей обработки вибросигнала: 1 — диагностируемая установка; 2 — датчик; 3 — вибропорт; 4 — магнитофон; 5 — ЭВМ

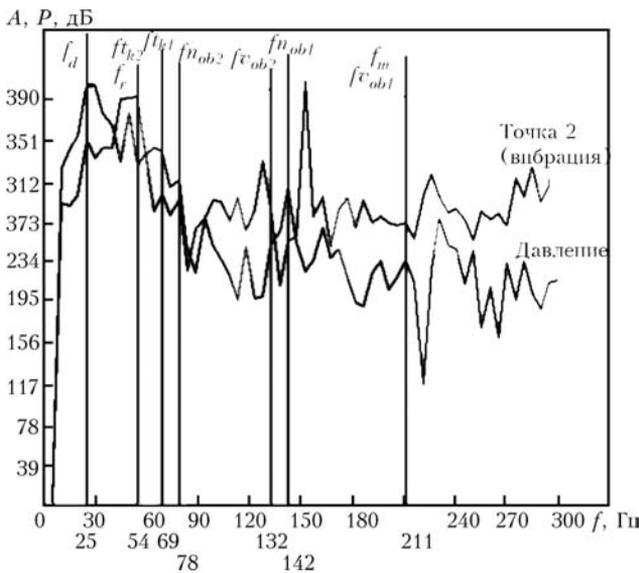


Рис. 2. Сравнение спектров давления и вибрации компрессора в точке 2

контроля и спектр сигнала, зарегистрированного по датчику давления.

Далее спектры вибраций сравнивались со спектром давления с целью определения информативности последнего, т. е. наличия в спектре давления тех же информативных гармоник, что и в спектре вибраций.

Пример подобного сравнения приведен на рис. 2 и 3. Спектры вибрации и давления представлены в логарифмическом масштабе в децибелах, что существенно повышает информативность анализируемых данных. На рис. 2 спектры ограничены 300 Гц, а на рис. 3 — 2000 Гц. Сравнение показывает, что информативность спектра давления и вибросигнала одинакова. Вертикальными линиями на графиках отмечены информационные гармоники, проявляющиеся в равной степени как в традиционном для вибродиагностики источнике информации — спектре вибрации, так и в источнике косвенной информации — спектре давления. На указанных рисунках использованы следующие условные обозначения: f_d — оборотная гармоника, реагирующая на появление и развития дисбаланса ротора; f_r — вторая оборотная гармоника, реагирующая на появление и развитие расцентровки роторов привода и компрессора; ft_{k1} , ft_{k2} — гармоники, реагирующие на дефект тел качения соответственно переднего и заднего подшипников привода; fn_{ob1} , fn_{ob2} — гармоники, реагирующие на дефект наружной обоймы соответственно переднего и заднего подшипников привода; fc_{ob1} , fc_{ob2} — гармоники, реагирующие на дефект внутренней обоймы соответственно переднего и заднего подшипников привода; f_m — гармоники, реагирующие на дефект муфты, соединяющей привод с компрессором.

Информативность спектра давления наглядно демонстрирует спектр на рис. 3, свидетельствующий о том, что спектр давления не менее широкополосен, чем спектр вибраций. В обоих спектрах в равной степени четко проявляется гармоника

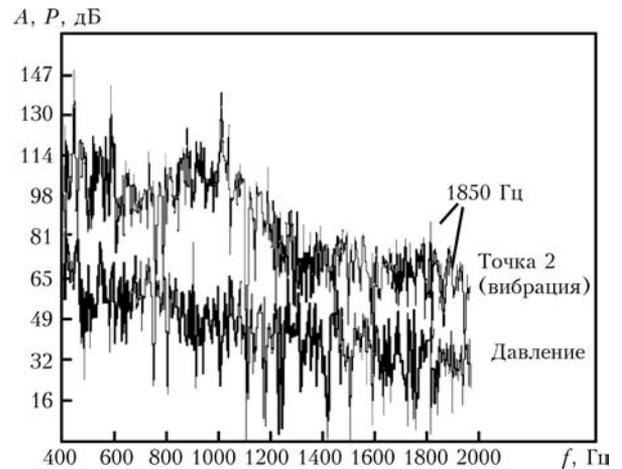


Рис. 3. Сравнение спектров давления и вибрации компрессора в точке 2 в полосе частот до 2000 Гц

на частоте 1850 Гц, генерируемая шестернями мультипликатора. На рис. 4 приведен только спектр давления в естественных единицах давления (атмосфера избыточная — ати), где также достаточно наглядно проявляются все указанные выше информационные гармоники.

Таким образом, сравнение спектров вибрации и давления показывает, что информация, получаемая со штатных датчиков давления, вполне приемлема для диагностики технического состояния компрессора. Этот вывод относится и к другим по конструкции компрессорам.

В качестве второго примера рассмотрим оценку технического состояния погружного оборудования артезианской скважины, проведенную по косвенным данным — вибрации стенки водогонной трубы, вызванной потоком протекающей по ней жидкости.

Оборудование артезианской скважины, основу которого составляют центробежный электронасос ЭЦВ14-210-300Х, в рассматриваемом случае находилось на глубине 260 м (рис. 5) и было недоступно для непосредственного инструментального контроля. Оценка его состояния традиционно

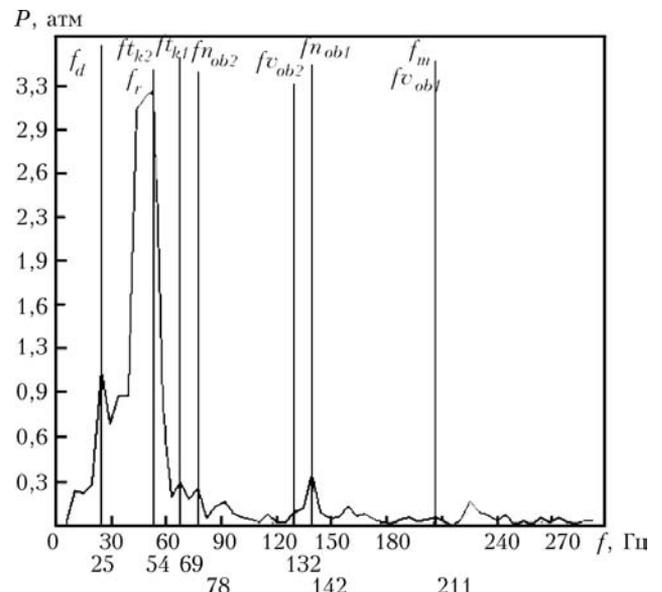


Рис. 4. Спектр давления «рабочего тела», создаваемого компрессором

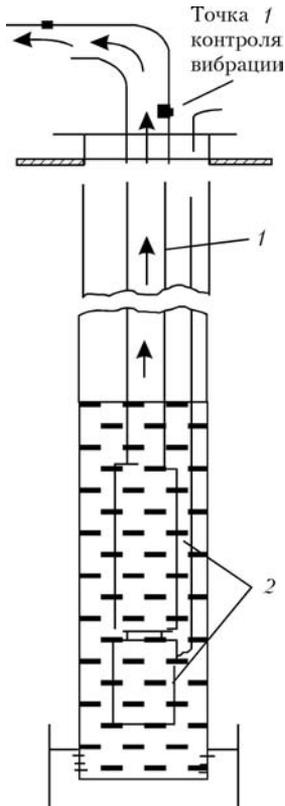


Рис. 5. Схема артезианской скважины с указанием точки контроля вибрации стенки водогонной трубы: 1 — погружной электронасос; 2 — водогонная труба

из скважины (рис. 5).

Анализ спектра показал, что он содержит гармонические составляющие, соответствующие кинематической схеме агрегата, т. е. содержит гармоники на частотах, совпадающих с оборотной частотой ($f_{ob} = 50$ Гц); второй оборотной частотой ($F_{ras} = 2 \times f_{ob}$); подшипниковой частотой насоса ($F_{pnas} = f_{ob} \times 8$); подшипниковой частотой двигателя ($F_{dv} = f_{ob} \times 12$); частотой роликовой муфты ($F_m =$

проводится на основе анализа интегральных данных — давлению, расходу перекачиваемой жидкости и силе тока, подаваемого на привод.

Методика измерения вибраций и дальнейшая обработка информации аналогична рассмотренной выше с тем отличием, что измерения проводились не однократно, а еженедельно в течение 9-ти месяцев. Регулярность измерений позволяла оценивать после каждого из них текущее состояние оборудования и прогнозировать его наработку до выхода из строя (отказа).

Исходными для диагностирования данными являлись спектры вибраций стенки водогонной трубы (рис. 6), получаемые по результатам анализа косвенных для погружного оборудования, находящегося на глубине 260 м, измерений вибраций стенки водогонной трубы в месте выхода ее

$= f_{ob} \times 12$); лопаточной частотой насоса ($F_{kol} = f_{ob} \times 7$); лопаточной частотой двигателя ($F_{kdv} = f_{ob} \times 8$).

Алгоритм диагностирования построен на анализе особенностей изменения во времени уровня информационных гармоник. При этом временной тренд уровня информационной гармоник рассматривается как сумма двух трендов, первый из которых обусловлен развитием усталостной трещины, а второй износом трущихся пар. Первый тренд описывается аналитической зависимостью, отражающей физику развития трещины, а второй — физику износа. Ресурс оборудования является параметром этих зависимостей.

Пример подобного суммарного тренда и его составляющих трендов для лопаточной гармоники, реагирующей на дефект рабочего колеса насоса, приведен на рис. 7.

Для данных, приведенных на рис. 7, вклад износа в состояние колеса составлял 75 %, а развитие трещины — 25 %.

Алгоритм диагностирования построен по индуктивному принципу — от частного к общему. Диагностирование начинается с оценки степени развития дефектов, далее ставится локальный (точечный) диагноз в точке контроля (в отличие от рассматриваемого примера их может быть несколько), а затем ставится диагноз оборудования в целом. Этот диагноз излагается в кратком резюме протокола, а локальные диагнозы и оценка степени развития дефектов излагается в приложениях к резюме.

Оценка степени развития подконтрольных дефектов осуществляется путем расчета величины классифицирующей функции (называемой разными авторами дискриминантной, решающей и т. п.). Аргументами функции являются безразмерные параметры, описывающие степень изменения и скорость изменения уровня информационной гармоник, соответствующей данному дефекту. Эти параметры приведены к безразмерному виду. Фактическое значение классифицирующей функции сравнивается с ее эталонными значениями и в за-

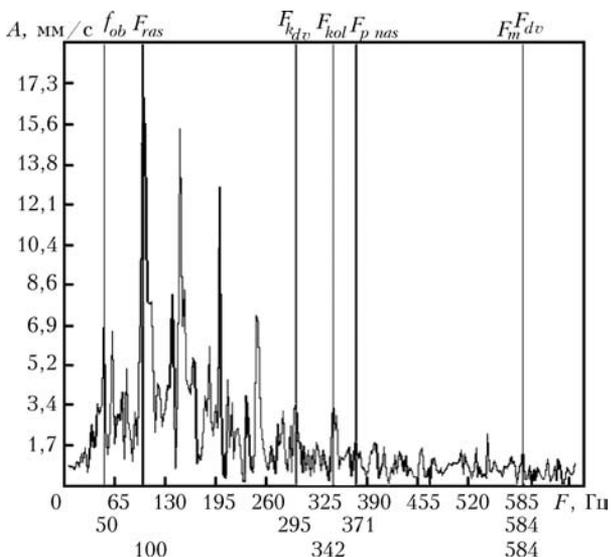


Рис. 6. Типичный спектр вибрации стенки водогонной трубы

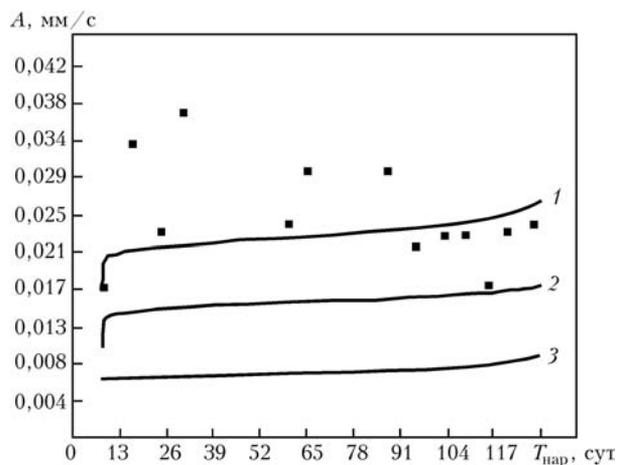


Рис. 7. Изменение за время эксплуатации скважинного оборудования лопаточной гармоники, реагирующей на дефект рабочего колеса насоса: 1 — A_{sum} ; 2 — A_{vib} ; 3 — A_{tr} ($T_{нар}$ — время наработки)



висимости от того, в какой эталонный интервал попадает фактическое значение функции, выдается одно из следующих сообщений: дефект отсутствует; степень развития дефекта ниже средней; степень развития дефекта средняя; степень развития дефекта выше средней; степень развития дефекта недопустимая.

Эти сообщения дополняются указанием наработки до оптимальной остановки на ремонт и до предельной степени развития дефекта; о доле, приходящейся в развитии дефекта на прочность (развитие трещины в силовых элементах) и на износ пар трения и характеристикой скорости развития дефекта.

Далее, по величине суммарного уровня вибрации, приведенного к безразмерному виду, и максимальному значению классифицирующей функции, характеризующей дефект, имеющий наибольшую степень развития, ставят локальный диагноз в точке контроля: узел в точке контроля исправен; узел в точке контроля работоспособен; узел в точке контроля требует осмотра; узел в точке контроля требует ремонта.

Затем на основании локального наилучшего диагноза ставится диагноз узлу в целом: узел исправен; узел работоспособен; узел требует осмотра; узел требует ремонта.

И, наконец, на основании наилучшего диагноза отдельных узлов, ставится диагноз оборудованию в целом: оборудование исправно; оборудование работоспособно; оборудование требует осмотра; оборудование требует ремонта.

Во всех случаях диагноз сопровождается указанием наработки до оптимальной остановки на ремонт и наработки до отказа, причины отказа и ремонта соответственно.

Пример протокола диагностирования скважинного оборудования полученного по данному алгоритму приведен ниже:

ПРОТОКОЛ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ АГРЕГАТА

№ 15 от 19.07.04 г.

Агрегат подлежит ремонту

по причине неудовлетворительного состояния узла агрегата, где установлен датчик /;

наработка агрегата до остановки на ремонт составляет 0...7,3 сут;

наработка агрегата до его отказа составляет 4,86...7,71 сут.

Более полная информация записывается в Приложении к протоколу «Характеристика дефектов узла машины, где установлен датчик 1 на 19.07.04 г. (В данной статье подробно не приводится. Заинтересованных просим обращаться к автору.)

Сумск. гос. ун-т

ДИАГНОЗ УЗЛА МАШИНЫ В ТОЧКЕ УСТАНОВКИ ДАТЧИКА на 19.07.04 г.

Узел машины подлежит ремонту.

Причина: Износ подшипников двигателя наработка узла машины до остановки на ремонт составляет: 0...7,3 сут;

наработка узла машины до его отказа из-за развития дефекта составляет: 4,86...7,71 сут.

Терминология протокола рассчитана на использование нескольких точек контроля, а не одной, как это было сделано при косвенной оценке состояния скважинного оборудования.

При постановке диагноза принята достаточно жесткая концепция «слабого звена», в результате этого диагноз на более высоком иерархическом уровне ставится на основании наилучшего диагноза, полученного на более низком уровне. Это оправдано для оборудования опасных производств (АЭС, химические предприятия и т. п.). Для городского коммунального хозяйства и т. п. можно использовать менее жесткие правила, когда диагноз на более высоком уровне ставится на основании усредненного по тем или иным правилам диагноза, полученного на предыдущем более низком иерархическом уровне.

В рассмотренном примере приведенный в протоколе диагноз полностью подтвердился. Скважинное оборудование отработало до отказа спрогнозированный в соответствии с рассмотренным алгоритмом диагностирования срок. Причина отказа, которая внешне проявилась через заклинивание ротора двигателя, также была указана в протоколе.

Выводы

Рассмотренные выше примеры свидетельствуют о возможности использования косвенных данных при диагностировании оборудования. Также следует отметить, что диагноз состояния промышленного оборудования, поставленный на основе прямых или косвенных данных, следует согласовывать с информацией, получаемой с помощью штатной системы контроля, т. е. с данными о температуре, давлении, режиме работы оборудования и т. д.. Изменение этих параметров вызывает изменение характера функционирования машины, а их игнорирование может приводить к ошибочному диагнозу.

1. Нагорный В. М., Черевко А. А. Оценка фактического технического состояния скважинного оборудования // Вестник СумДУ. — 2005. — № 1 (73). — С. 109–112.
2. Вибрации энергетических машин / Справ. пособие. Под ред. Н. В. Григорьева. — Л.: Машиностроение, 1974. — 464 с.
3. Генкин М. Д., Соколова А. Г. Виброакустическая диагностика машин и механизмов. — М.: Машиностроение, 1987. — 288 с.

Поступила в редакцию
27.07.2005



КОМПЛЕКС ЗАЩИТЫ И МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩЕГО АГРЕГАТА ГПА-10 «SIMON»

В. Л. ДОБРОВ, Е. А. ИГУМЕНЦЕВ, Я. С. МАРЧУК

Комплекс «Simon» — это система защиты и мониторинга оборудования ГПА, основанная на измерении вибрации корпусов подшипников ГПА, дает возможность наиболее просто, дешево и эффективно перейти к новой идеологии в обслуживании — проводить ремонт технологического оборудования не по причине аварии или по графику, а на основании достоверной информации о техническом состоянии агрегата. Воплощая в себе новейшие технические и технологические решения, система «Simon» способна реализовать все известные преимущества принципа обслуживания оборудования «по состоянию» и делает эксплуатацию газоперекачивающего агрегата более рентабельной.

«Simon» complex is a system of protection and monitoring of GPU equipment based on measurement of vibration of GPU bearing cases, offers the simplest, most inexpensive and efficient method of transition to a new maintenance ideology of repair of process equipment not in case of accidents or by a schedule, but based on valid information on the technical condition of the unit. Embodying the most advanced engineering and technological solutions, «Simon» system is capable of implementing all the known advantages of the principle of equipment maintenance based on its condition, and improves the cost effectiveness of gas-pumping unit operation.

Общая постановка проблемы и ее связь с научно-практическими задачами. Интенсивное развитие газовой промышленности, сопровождающееся ростом протяженности газопроводных систем и их размещение в труднодоступных районах, предьявляет повышенные требования к надежности газотранспортного оборудования и снижению эксплуатационных затрат. Техническое обслуживание (ТО) газотранспортного оборудования компрессорных станций — это этап эксплуатации, включающий текущую и прогнозируемую оценки технического состояния газоперекачивающего агрегата (ГПА) и организацию на базе этих оценок технических и других мероприятий, направленных на поддержание его эффективности, надежности и готовности. Задача оценки и прогнозирования технического состояния должна быть составной частью ТО, определяющей все последующие мероприятия [1].

Для предотвращения неконтролируемых отказов в процессе эксплуатации газотранспортного оборудования, снижения расходов на ремонтно-восстановительные работы, уменьшения времени и объемов работ применяются различные методы определения оптимальной повторяемости ТО. Существующие методы заключаются в том, что на базе физико-химических свойств материалов и анализа протекающих в каждом типе конструируемого агрегата процессов разрабатывают систему ТО различных уровней от профилактики до капитального ремонта и включают эту систему в паспорт изделия. Усреднение свойств материалов и протекающих процессов на уровне агрегата в целом приводит к тому, что рекомендованная повторяемость ТО не является оптимальной.

Стратегия «эксплуатации по состоянию» [2] позволяет решить указанные проблемы путем оптимизации времени проведения ТО, самой процедуры обслуживания, причем принятие решения о необходимости проведения ремонтно-восстановительных работ осуществляется по результатам некоторых расчетных показателей, которые адекватно характеризуют техническое состояние ГПА. Текущие и прогнозируемые оценки технического состояния, включающие характеристики износа, старения, дефектов узлов ГПА, рассчитываются на работающем агрегате.

Практическая возможность получения оценок технического состояния позволяет обеспечить: останков агрегата только по необходимости (если результаты оценки требуют этого); замену узлов и деталей только при достижении критической стадии износа; слежение за динамикой изменения технического состояния, позволяющее в принципе исключить возможность аварий любого вида (из числа контролируемых). При этом минимизируются суммарные производственные затраты, а также появляется возможность прогнозировать границу рентабельности ремонтных работ, за которой проведение этих работ становится убыточным.

Обзор публикаций и анализ нерешенных проблем. В настоящее время не существует законченной общей методологии, обеспечивающей адекватную оценку технического состояния газотранспортного оборудования. Опыт проведения диагностических исследований показал, что техническое состояние газоперекачивающего оборудования наиболее полно характеризуется параметрами виброакустического сигнала [3]. Существуют два направления развития методологии вибродиагностического обследования, однако, независимо от применяемого



метода, основные функциональные возможности систем диагностики должны обеспечивать получение текущих оценок износа узлов, изделий и отдельных конструкций; степени развития выявляемых характерных дефектов; остаточного ресурса эксплуатации узлов и всего агрегата в целом.

Централизованное вибродиагностическое обслуживание ГПА силами оперативных бригад [4], требующее использования специальной анализирующей аппаратуры (анализаторов спектра) с применением переносных коллекторов-сборщиков, ориентировано на участие специалистов высокой квалификации. Здесь одной из основных задач является установление оптимальной периодичности виброиспытаний ГПА. В тоже время этот подход не обеспечивает обнаружения быстропротекающего развития дефектов.

Цель исследований. Безусловно, самое полное решение задачи оптимизации производственных затрат можно получить только с внедрением автоматических адаптивных систем диагностики с непрерывным контролем в реальном времени, с использованием комплекса автоматизированных систем и каналов связи. Объективной предпосылкой для разработки и внедрения такого решения является внедрение в Укртрансгазе Украины технических средств микропроцессорной техники, обеспечивающих возможность автоматизированного сбора, накопления, передачи и обработки диагностической информации. При такой постановке задачи автоматизированный вибромониторинг составляет систему, включающую контролепригодное ГПА; технические средства измерения параметров вибрации (датчики, преобразователи, каналы связи); технические средства сбора, накопления, передачи и обработки входной диагностической информации; комплекс алгоритмов, программ и баз данных, обеспечивающих функционирование системы.

Результаты исследований. Для реализации поставленных задач обслуживания «по состоянию» в УМГ «Киевтрансгаз» была разработана автоматизированная система вибромониторинга газоперекачивающего агрегата ГПА-10 комплекс «Simon» [5]. По сравнению с любыми другими существующими на данный момент системами комплекс «Simon» обладает уникальными возможностями обнаружения дефектов и защиты оборудования. Ее основные возможности заключаются в следующем: соединение в себе функций средств защиты и безопасности с возможностями обнаружения дефектов ГПА на ранних стадиях их развития; возможность использования данных, полученных в автоматическом или ручном режимах; возможность мониторинга состояния оборудования в режиме реального времени. Объем и характер виброизмерений, производимых системой, полностью определяется состоянием и режимом работы ГПА, в чем заключается принцип адаптивной стратегии мониторинга, гарантирующей на протяжении всего времени наблюдения достижения наибольшей чувствительности метода.

Комплекс «Simon» является системой мониторинга оборудования ГПА, решающей две ос-

новные задачи. Во-первых, он выполняет защитную мониторинговую, обеспечивая безопасность, вследствие чего система в состоянии защитить оборудование от внезапных поломок. Во-вторых, предупреждает персонал компрессорной станции об изменении технического состояния ГПА, т. е. система способна обнаружить на очень ранних этапах зарождающийся дефект в контролируемом ГПА, а имеющийся в ней широкий набор диагностических средств позволяет определить природу данного дефекта. Обе указанные функции системы полностью автоматизированы. Тщательно разработанные средства постоянного слежения за состоянием оборудования обеспечивают высокую чувствительность системы, вместе с тем минимизируя вероятность появления ложных тревожных сообщений.

Комплекс «Simon» — это система защиты и мониторинга оборудования ГПА, основанная на измерении вибрации корпусов подшипников ГПА [5]. Она была разработана, чтобы дать возможность газовой промышленности Украины наиболее просто, дешево и эффективно перейти к новой идеологии в обслуживании — проводить ремонт технологического оборудования не по причине аварии или по графику, а на основании достоверной информации о техническом состоянии агрегата. Воплощая в себе новейшие технические и технологические решения, система «Simon» способна реализовать все известные преимущества принципа обслуживания оборудования «по состоянию» и делает эксплуатацию ГПА более рентабельной.

Система обладает такими качествами, как гибкость, мощность, надежность и возможность расширения функций системы. Эти качества стали реальностью благодаря самому широкому применению во всех узлах системы цифровой обработки информации (ЦОИ). Одно и то же приборное обеспечение может быть применено к решению большого числа разнообразных задач.

Различные задачи по мониторингу оборудования могут приводить к различным оптимальным техническим решениям. Аппаратная часть комплекса «Simon» выполнена из независимых модулей, каждый из которых осуществляет преобразование обрабатываемого сигнала по собственному алгоритму. Это означает, что каждый измерительный канал работает индивидуально и независимо от вида контролируемого параметра. Благодаря ЦОИ модули могут оперативно изменять собственную стратегию виброизмерений в соответствии с текущим режимом или состоянием машины. Это обстоятельство предоставляет пользователю в каждом конкретном случае беспрецедентные возможности защиты оборудования, анализа ситуации, развития и гибкости системы, оптимальные с точки зрения поставленных перед ним требований по предупреждению аварий, необходимой глубине диагностики.

Комплекс «Simon» в состоянии реализовать любую известную методику анализа технического состояния оборудования. В качестве примеров можно указать измерения среднеквадратичного значения и пиковых значений, спектральный, порядковый и гармонический анализ. Это достигается за счет

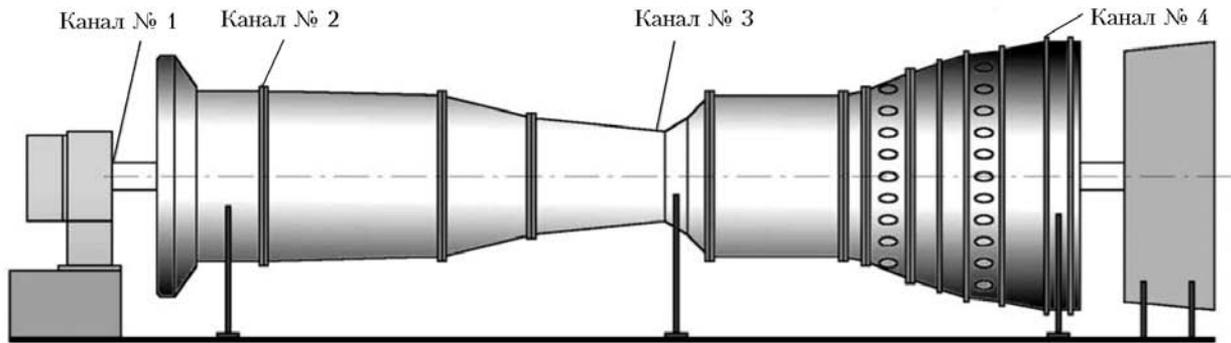


Рис. 1. Места установки датчиков комплекса «Simon» на ГПА-10

отличительных особенностей комплекса, а именно того, что в отличие от всех аналогов вибросигнал поступает от аппаратной в программную часть комплекса не в виде среднеквадратичного значения, а в виде спектра с установленной разрешающей способностью один герц, то есть в виде полной информации о вибрационном состоянии агрегата.

Экспериментальным образом было установлено, что проведение постоянных виброизмерений в четырех основных (критических) точках турбоагрегата достаточно для получения исчерпывающей картины вибросостояния ГПА. На основании этого была переработана методика вибродиагностики ГПА [6] для четырехканального диагностирования. На основании анализа большого парка ГПА были построены опорные маски виброскорости подшипников ГПА для каждого из четырех используемых в системе каналов. Эти опорные маски встроены в программную часть комплекса и на их основе построен алгоритм выявления зарождающихся дефектов газоперекачивающего агрегата в реальном масштабе времени.

Комплекс виброконтроля «Simon» предназначен для непрерывного контроля вибрации промышленных агрегатов. Аппаратная часть комплекса обеспечивает: измерение СКЗ виброскорости; индикацию результатов измерений на дисплее; изменение количества усреднений при измерении; связь с внешним персональным компьютером; задание СКЗ уровней аварийной и предупредительной сигнализации; формирование управляющих сигналов о превышении уровней аварийной и предупредительной сигнализации для системы противоаварийной защиты.

Структурной единицей измерительного комплекса является канал, в состав которого входят:

вибропреобразователь, блок согласования и нормализации (БСН), контрольно-измерительный модуль (КИМ). КИМ собираются в контрольно-измерительном блоке (КИБ) на задней панели которого расположены разъемы для подключения БСН, персонального компьютера, разъем блокировок и разъем питания. В одном КИБ допускается установка до семи КИМ, однако на основании проведенных экспериментальных исследований количество каналов, необходимое для полноценного анализа вибросостояния агрегата, уменьшено до четырех. Места установки датчиков приведены на рис. 1. Датчики размещаются в точках, в которых наиболее четко прослеживаются вибрация основных элементов ГПА: на фланце крышки выносной коробки приводов — канал № 1; на переднем фланце корпуса компрессора низкого давления (КНД) — канал № 2; на заднем фланце корпуса компрессора высокого давления (КВД) — канал № 3; на переднем фланце опорного венца силовой турбины — канал № 4.

В качестве вибропреобразователей применяются выпускаемые ЗАО «Виброприбор» датчики МВ-43-5В. Вибропреобразователь преобразует механические колебания в электрический сигнал (заряд) пропорциональный виброускорению. На рис. 2 представлены структурные элементы канала комплекса «Simon».

БСН усиливает дифференциальный электрический сигнал от вибропреобразователя, фильтрует сигнал в диапазоне 10... 1000 Гц и преобразует его в сигнал переменного тока с амплитудой 4... 20 мА, пропорциональной виброускорению. БСН выполнен из алюминий-кремниевого сплава, внутри размещена печатная плата, на которой собраны усилитель заряда, фильтры, формирователь тока и

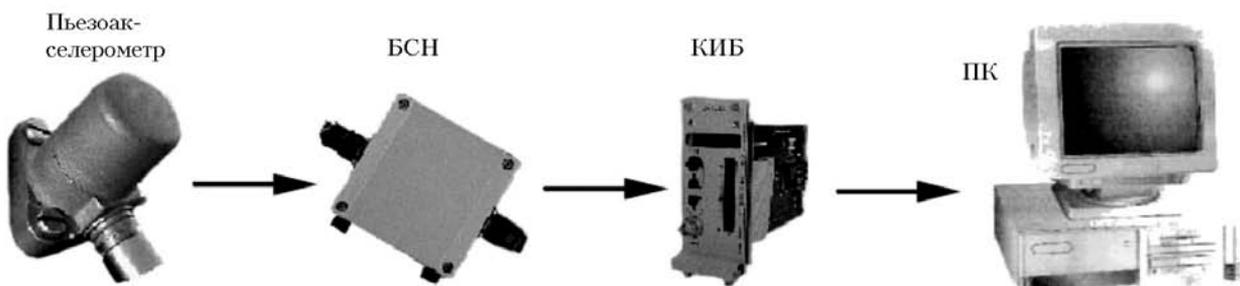


Рис. 2. Структурные элементы канала комплекса «Simon»



узел формирования напряжения отрицательной полярности. Корпус БСН имеет выводы, предназначенные для подключения кабеля вибропреобразователя и линии связи. БСН размещаются на раме агрегата в непосредственной близости от ГПА.

КИМ представляет собой сборку из двух плат (цифровой и аналоговой). Входной сигнал усиливается и поступает на вход аналогового интегратора. Антилизиновый фильтр устраняет влияние высокочастотных шумов. Аналого-цифровой преобразователь (АЦП) оцифровывает сигнал и передает его в шину данных, кроме того, это значение также отображается на индикаторе. Для получения среднего спектрального сигнала за определенный промежуток времени над сохраненными спектрами проводится быстрое преобразование Фурье финитной реализации [1]:

$$X(f, T) = \int_0^T x(t) \exp(-j\pi ft) dt, \quad (1)$$

где T — конечное время финитной реализации; $j = -1$. Дискретной аппроксимацией соотношения (1) является выражение

$$X(f, T) = \Delta t \sum_{k=0}^{N-1} x_k \exp(j^2 \pi f k \Delta t), \quad (2)$$

где $x_k = x(k\Delta t)$, $k = 1, 2, \dots, N$; Δt — интервал времени между выборками; N — число наблюдений x_k .

Затем вычисляется математическое ожидание финитных реализаций (усреднение). Полученный

таким образом усредненный спектр по запросу программной части комплекса передается в персональный компьютер по интерфейсу RS-422 для последующей индикации и обработки.

Программная часть комплекса управляет работой аппаратной части, а также проводит обработку, индикацию и сохранение полученных результатов. Она поставляется в виде пакета-инсталлятора, который при запуске производит установку на персональный компьютер всех составляющих комплекса, настройку параметров безопасности, настройку автозапуска необходимых компонентов. В стандартной конфигурации пакет включает: программы «Сервер контроллера» и «SimonView»; файлы пустой базы данных; компоненты BDE, необходимые для функционирования базы данных; документацию к комплексу виброконтроля.

Драйвер «Сервер контроллера» является связующим звеном между написанной на языке программирования высокого уровня оболочкой «SimonView» и аппаратной частью комплекса. Его функции заключаются в преобразовании команд управления в машинный формат и передачи их в КИБ, а также в получении ответ аппаратной части, трансляции его в формат протокола обмена и передачи в программу-оболочку «SimonView». Разработанный интерфейс позволяет подключать к «Server_DM» одну или несколько программ-клиентов одновременно.

Для управления работой аппаратной части программа с заданным пользователем интервалом выдает запросы на передачу среднеквадратических значений (СКЗ) по всему измеряемому диапазону

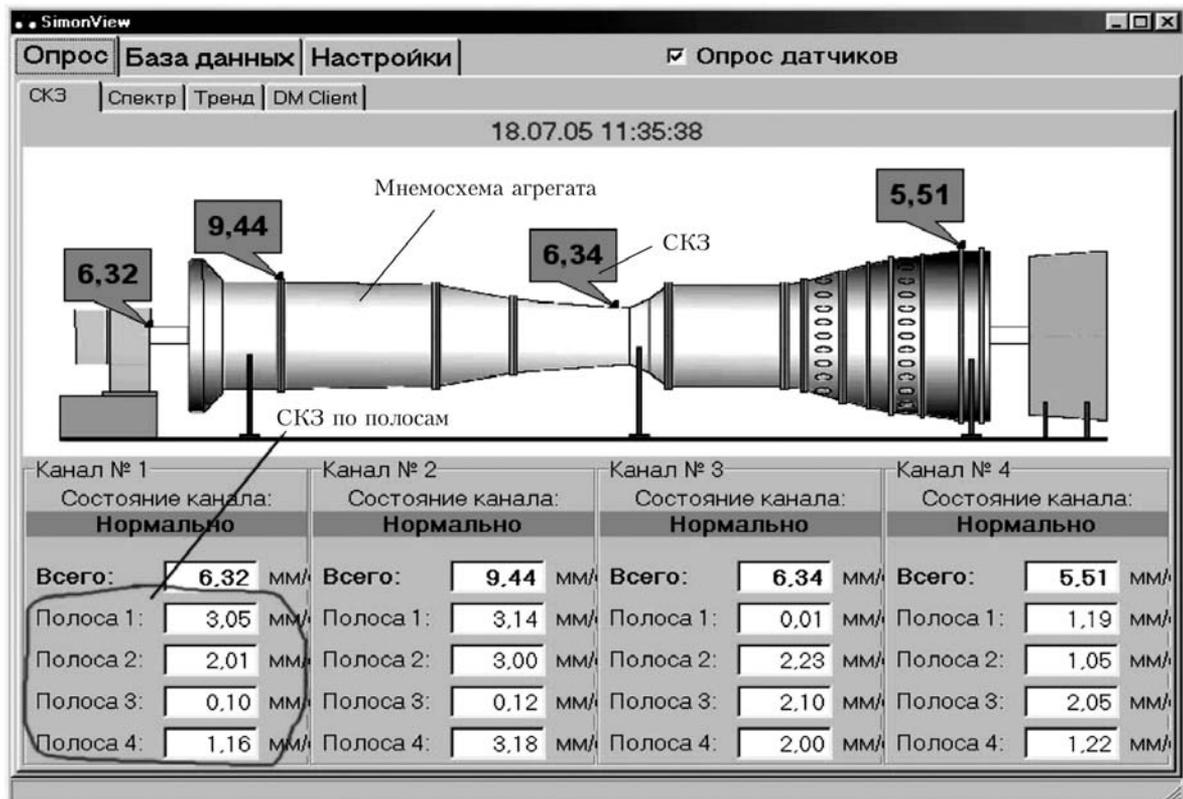


Рис. 3. Индикация СКЗ вибрации на мнемосхеме агрегата

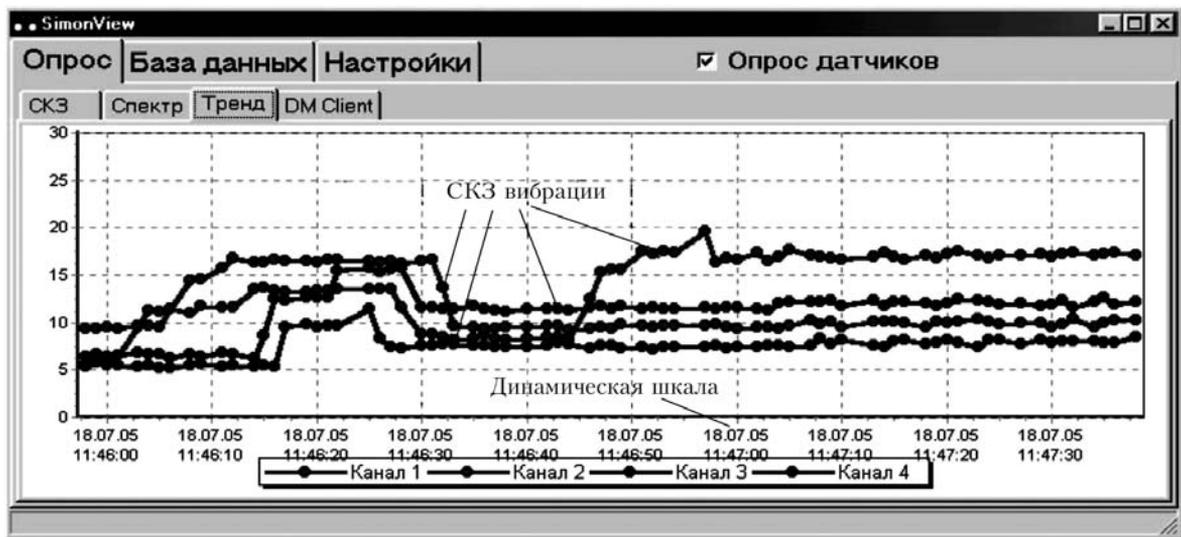


Рис. 4. Построение трендов СКЗ вибрации по всем измерительным каналам

и по установленным полосам, а также запросы на получение спектров. По умолчанию интервал запросов установлен равным одной секунде, причем порядок выдачи запросов следующий: четыре раза запрашиваются СКЗ вибрации по всем четырем каналам (запрос по всем каналам осуществляется одновременно), после чего один раз запрашивается спектр по всем каналам.

Полученная информация проходит несколько этапов обработки. СКЗ используются для индикации мгновенного вибрационного состояния ГПА и формирования трендов, а спектры используются для проведения дефектации агрегата и выявления зарождающихся дефектов. Полученные СКЗ вибрации отображаются на мнемосхеме (рис. 3), где указаны точки крепления датчиков. Кроме того, в этом же окне оператор имеет возможность посмотреть СКЗ вибрации как во всей полосе частот 1... 1000 Гц, так и в четырех заранее установленных полосах частот. Границы указанных полос устанавливаются при настройке КИБ аппаратной части комплекса вибромониторинга.

Кроме этого, оператор имеет возможность строить в режиме реального времени тренд СКЗ по всем четырем измерительным каналам. Построение тренда (рис. 4) начинается при переключении на вкладку «Тренд». При этом на экране отображается график с динамической шкалой, которая автоматически «растягивается» при получении новых данных, причем значения каждого канала отображаются соответствующим цветом. Динамическая шкала времени позволяет зафиксировать изменения для детального изучения построенных трендов за определенный участок, а также возобновить отображение всего тренда, причем при фиксации времени отображения процесс накопления тренда не прерывается.

Прогнозирование ресурса деталей и узлов основано на экстраполяции трендов виброакустического сигнала во времени. Математические модели выбирались на основе физических процессов развития параметров вибрации в период жизни и старения ГПА, ГТУ и ЦБН в виде $\xi_{ik} = A_{\xi} +$

$+ B_{\xi} \exp(C_{\xi} t)$, $k = 1, \dots, n$, где t — время; коэффициенты A_{ξ} , B_{ξ} , C_{ξ} — определяются по расчету $\xi_{ik}(t)$ при $t = t_j$, $k = 1, \dots, n$.

Заключительной стадией вибродиагностики является разработка методов определения технического состояния деталей и узлов ГПА, распознавания дефектов и прогнозирования ресурса. Методы исследований основаны на теории распознавания образов. Виброконтроль предаварийного состояния деталей и узлов интерпретируется как распознавание классов технических состояний $\bar{\xi}_j(\xi_{i,1}, \dots, \xi_{i,n})$, где $\xi_{i,k}$ ($k = 1, \dots, n$) — компоненты (признаки) вектора класса $\bar{\xi}_j$ по совокупности виброакустических характеристик.

Алгоритмы распознавания основаны на сравнении той или иной меры близости распознаваемого состояния $\bar{\xi}_j(\xi_{i,1}, \dots, \xi_{i,n})$, где $k = 1, \dots, n$, компоненты (признаки) вектора технического состояния $\bar{\xi}_j$, с каждым классом. Здесь использовались простое сравнение в определенных частотных диапазонах, двоичновосьмеричные коды и коды чисел Фибоначчи в распределении амплитуд на различных частотных гармониках. Расстояние по Хеммингу и евклидово расстояние используются для специально отобранных дискретных составляющих спектра. Наиболее используемой мерой схожести является скалярное произведение двух векторов или нормированный коэффициент корреляции:

$$A_{ij} = \sum_{k=1}^n \xi_{ik} \xi_{jk} \left[\left(\sum_{k=1}^n \xi_{ik}^2 \right) \left(\sum_{k=1}^n \xi_{jk}^2 \right) \right]^{-1/2} \quad (3)$$

При этом представлены модели прогнозирования ресурса ГПА по тренду уровня виброскорости $V(t)$. Под прогнозом понимается результат экстраполяции временного ряда вибрации $V_i(t)$ из прошлого в будущее. Здесь решена задача сглаживания временного ряда, а потом с помощью метода наименьших квадратов получен критерий

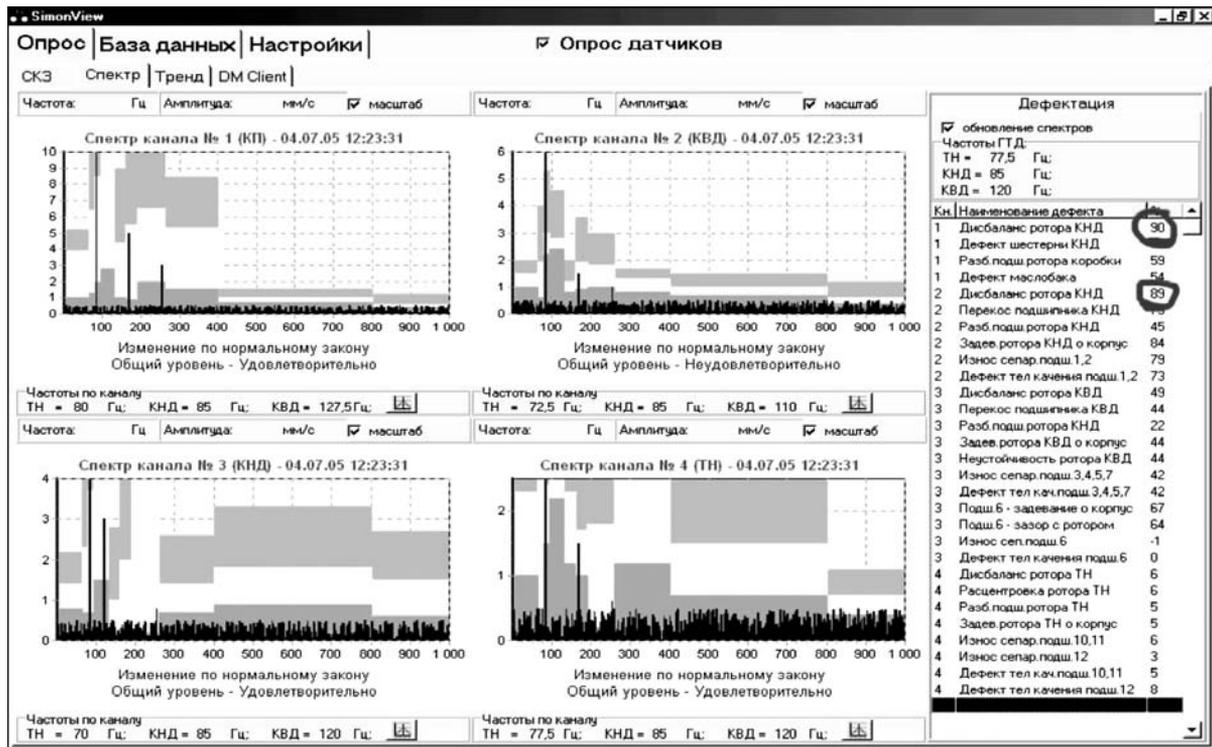


Рис. 5. Вкладка «Спектр» отображения спектров и результатов дефектации

выбора лучшей кривой при прогнозировании в виде коэффициента детерминации r^2 , который является квадратом коэффициента корреляции:

$$r^2 = b^2 \left[\sum_{i=1}^n t_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n t_i \right)^2 / n \right] / \left[\sum_{i=1}^n V_i^2(t) - \left[\sum_{i=1}^n V_i(t) \right]^2 / n \right], \quad (4)$$

где n — число расчетных точек предыстории; b — коэффициент линейной аппроксимации.

Применяются вероятностные оценки разности сравниваемых спектров во всем частотном диапазоне, где строятся гистограммы и вероятностные моменты распределения разности спектров.

Для отображения полученных спектров в программе выделена специальная вкладка «Спектр» (рис. 5). Данная вкладка разделена на две основные части, первая служит для отображения текущих спектров по четырем каналам, а вторая — для отображения результатов дефектации. Раздел отображения спектров представляет собой четыре отдельных окна, расположенных «каскадом». Имеется возможность указателем мыши выделить любую составляющую спектра и посмотреть ее характеристики, т. е. детально изучить любой отображаемый спектр.

Для проведения дефектации агрегата программная часть комплекса (программа «SimonView») содержит разработанные алгоритмы поиска дефектов и предупреждения пользователей об изменении состояния ГПА-10. Алгоритмы разработаны на основании методики вибродиагностики ГПА [6]. На основании проведенного в течение нескольких лет анализа большого парка ГПА разработаны включенные в программу опорными масками вибрационного спектра. Учитывая, что различные ро-

торы (узлы) ГПА возбуждают вибрацию строго на определенных частотах, определяющихся частотой вращения роторов, весь исследуемый диапазон частот (10 Гц... 1 кГц) разбит на десять частотных диапазонов, соответствующих гармоническим составляющим конкретных роторов. Для каждого частотного диапазона определены уровни опорных масок в виде СКЗ виброскорости.

Диапазоны: **10... 65 Гц** включает в себя частоты вращения сепараторов (f_c) всех подшипников, субгармоники частоты вращения роторов половинной кратности ($0,5f_1$; $0,5f_2$; $0,5f_3$) и разностную частоту ($f_3 - f_2$); **65... 80 Гц** — частоту вращения ротора силовой турбины (f_1); **80... 95 Гц** — частоту вращения ротора компрессора низкого давления (КНД) (f_2); **95... 130 Гц** — частоту вращения ротора компрессора высокого давления (КВД) (f_3) и комбинационную частоту $0,5(f_2 + f_3)$; **130... 160 Гц** — вторую гармонику частоты ротора СТ ($2f_1$) и субгармонику ротора КНД ($1,5f_2$); **160... 190 Гц** — вторую гармонику частоты ротора КНД ($2f_2$) и субгармонику ротора КВД ($1,5f_3$); **190... 260 Гц** — вторую гармонику частоты ротора КВД ($2f_3$), третью гармонику частоты ротора СТ ($3f_1$), комбинационную частоту ($f_2 + f_3$) и субгармонику ротора КНД ($2,5f_2$); **260... 400 Гц** — третьей гармоники частоты роторов КНД ($3f_2$) и КВД ($3f_3$), субгармонику ротора КВД ($2,5f_3$) и комбинационную частоту $1,5(f_2 + f_3)$. Два широкополосных диапазона **400... 800 Гц** и **800... 1000 Гц** используется для диагностики подшипников.

Техническое состояние ГПА-10 определяется соответствующим вибрационным состоянием. В зависимости от интенсивности спектральных составляющих вибрации предусмотрены следующие качественные оценки их вибрационного состояния:

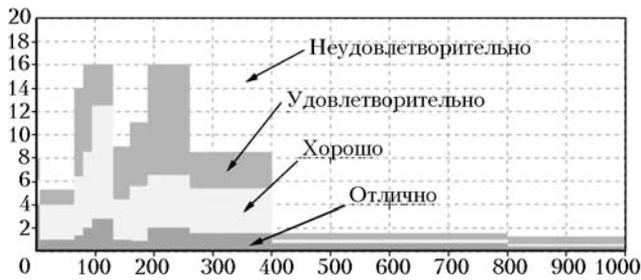


Рис. 6. Опорные маски канала № 1 (коробка приводов)

«отлично», «хорошо», «удовлетворительно» и «неудовлетворительно». Области «отлично» и «хорошо» предусмотрены для оценки качества ремонта и характеризуют сборку узлов в полном соответствии с техническими условиями, а техническое состояние соответствует эталонному и бездефектному агрегату. Область «удовлетворительно» — эксплуатация ГПА с вибрацией узлов, не превышающей границы «допустимо», характеризуется минимальной вероятностью появления дефектов в период межремонтной эксплуатации агрегата; техническое состояние характеризуется начальной стадией развития дефектов. Область «неудовлетворительно» — эксплуатация ГПА с вибрацией узлов, соответствующей области «требует принятия мер», характеризуется повышенной вероятностью выхода узлов агрегата из строя. На рис. 6 представлены опорные маски по четырем указанным выше уровням для канала № 1 (коробка приводов).

На первом этапе дефектации проводится наложение поступивших в программу спектров по четырем каналам измерения на соответствующие опорные маски. Если полученный при сравнении спектра и опорной маски общий уровень соответствует зонам «отлично» или «хорошо», то последующая обработка исследуемых спектров не проводится и делается заключение о нормальном состоянии узлов агрегата по исследуемому каналу в текущий момент времени.

Так как частоты вращения роторов агрегата (первые и последующие гармоники) расположены в соответствующих областях спектра, но не являются фиксированными (изменяются от режима работы ГПА), то на следующем этапе обработки спектра проводится процедура идентификации трех основных роторных гармоник — частот вращения ТН, КНД и КВД. Вся последующая идентификация строится на основании этих данных. Поиск соответствующих гармоник осуществляется выделением наиболее сильных гармоник в соответствующих областях спектра в точках, где эти гармоники просматриваются лучше всего.

Последующая обработка проводится для каждого канала в отдельности. Для каждого канала построены универсальные маски дефектов в соответствии с методикой [5]. Всего алгоритм дефектации позволяет делать заключение о наличии 29 разнообразных дефектов агрегата. Так, по спектру канала № 1 можно определить наличие таких дефектов: «Дисбаланс ротора КНД», «Дефект шестерни КНД», «Разболтанность подшипника ротора коробки», «Дефект маслобака». По спектру канала № 2 разработанный алгоритм позволяет выявить:

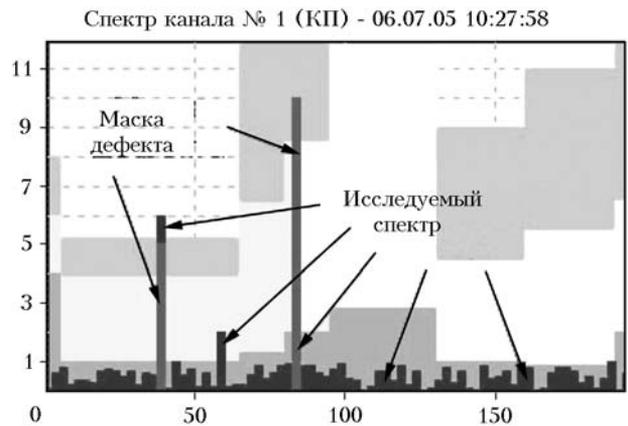


Рис. 7. Наложение маски дефекта на спектр

«Дисбаланс ротора КНД», «Перекас подшипника КНД», «Разболтанность подшипника ротора КНД», «Задевание ротора КНД о корпус», «Износ сепаратора подшипников № 1 и 2», «Дефект тел качения подшипников № 1 и 2». По каналу № 3 можно определить: «Дисбаланс ротора КВД», «Перекас подшипника КВД», «Разболтанность подшипника ротора КНД», «Задевание ротора КВД о корпус», «Неустойчивость ротора КВД», «Износ сепаратора подшипников №№ 3, 4, 5, 7», «Дефект тел качения подшипников №№ 3, 4, 5, 7», «Задевание о корпус подшипника № 6», «Зазор с ротором подшипника № 6», «Износ сепаратора подшипника № 6», «Дефект тел качения подшипника № 6». По спектру канала № 4 алгоритм позволяет делать заключение о наличии таких дефектов: «Дисбаланс ротора ТН», «Расцентровка ротора ТН», «Разболтанность подшипника ротора ТН», «Задевание ротора ТН о корпус», «Износ сепаратора подшипников № 10 и 11», «Износ сепаратора подшипника № 12», «Дефект тел качения подшипников № 10 и 11», «Дефект тел качения подшипника № 12».

Проверка наличия соответствующего дефекта и вычисление вероятности его присутствия проводится следующим образом. Маски дефектов, заложенные в программу, разрабатывались нормированными, т. е. амплитуда максимальной гармоники маски дефекта равняется 1 мм/с. Так, маска дефекта «Дисбаланс ротора КНД» выглядит следующим образом: первая гармоника ротора КНД — 1 мм/с; вторая гармоника ротора КНД — 0,2 мм/с, третья гармоника ротора КНД — 0,1 мм/с. Маска дефекта «Дефект маслобака» выглядит так: первая гармоника ротора КНД — 0,8 мм/с; гармоника 7,45КНД — 1 мм/с. Поэтому перед проведением сравнения со спектром по каждому дефекту соответствующая маска нормировалась в соответствии с амплитудой максимальной гармоники исследуемого спектра.

После проведения нормировки для каждого предполагаемого дефекта вычислялся коэффициент корреляции маски этого дефекта с исследуемым спектром. Полученный в результате коэффициент, умноженный на 100, и представляет собой вероятность наличия дефекта в агрегате.

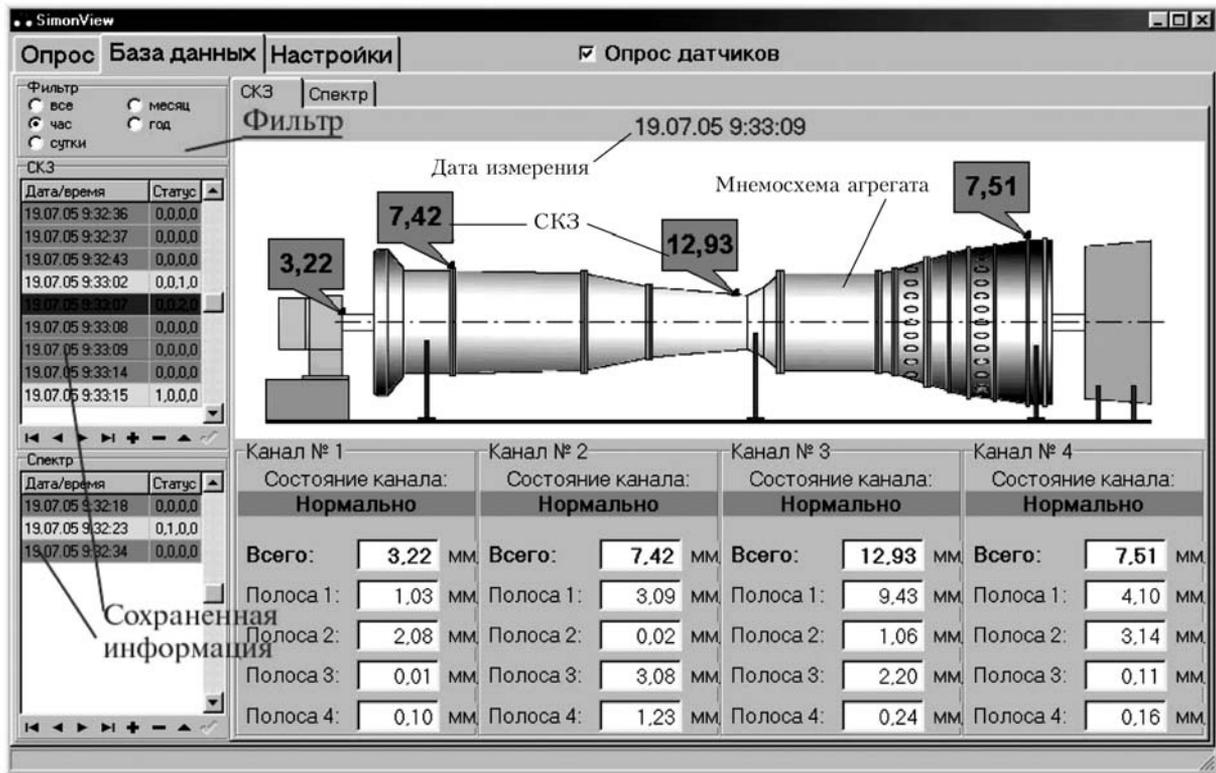


Рис. 8. База данных программно-аппаратного комплекса «Simon»

На рис. 7 представлен пример наложения маски на исследуемый спектр. В данном случае на спектре явно видна первая гармоника ротора КНД с амплитудой 10 мм/с, гармоника 0,485КНД с амплитудой 6 мм/с, а также выброс на частоте 60 Гц с амплитудой 2 мм/с. Наложенная на данный спектр маска дефекта «Дефект шестерни КНД» имеет следующую маску: первая гармоника КНД – 1 мм/с; 0,485КНД – 0,5 мм/с. Сравнение исследуемого спектра с представленной маской дает коэффициент корреляции 0,88, т. е. с большей долей вероятности можно сделать заключение о наличии соответствующего дефекта в агрегате.

Все операции по запросу данных, обработке и индикации полученной информации, поиску дефектов и сохранению СКЗ вибрации и спектров в базе данных осуществляет программа «SimonView» (рис. 8). Полученная от аппаратной части информация после предварительной обработки и индикации в режиме реального времени поступает для сохранения в модуль «База данных». Так как объем информации, который необходимо сохранить для полноценного ретроспективного виброанализа, достаточно большой, при разработке базы данных было принято решение об использовании специального алгоритма лонгирования. Функционирование этого алгоритма основано на том факте, что при достаточно частых измерениях вибросостояния агрегата виброхарактеристики (спектр вибросигнала и СКЗ вибрации) слабо изменяются и при записи в базу данных всей поступающей информации происходит дублирование информации.

Были введены экспериментально определенные граничные уровни, которые свидетельствуют о зна-

чительном изменении вибрационного состояния агрегата, и в базу данных записывается информация о спектрах и СКЗ вибрации только в критичные (важные) моменты времени. Так, если коэффициент корреляции между ранее сохраненным спектром вибрации по какому-либо каналу и вновь поступившим более 0,8, то это означает, что вибрационное состояние по спектру вибрации данного канала изменилось незначительно. Если по всем каналам в данный момент времени произошли лишь незначительные изменения, то вновь поступивший пакет спектров не сохраняется. Аналогичный алгоритм используется и при сохранении данных по СКЗ вибрации с тем отличием, что в данном случае пределом значимости изменений принимается вибрация размером 1 мм/с.

Приведенный алгоритм лонгирования позволил сократить объем информации, сохраняемой в базе данных, в сотни раз без потери значимых данных. Этот прием позволяет реже проводить архивацию сохраненной информации (в данном случае рекомендуется полное резервное копирование с последующим обнулением базы проводить один раз в год, а без лонгирования – один раз в месяц), улучшает оперативность работы программы за счет сокращения времени поиска необходимой информации.

Сохраненная в базе данных информация может использоваться для ретроспективного наблюдения за вибрационным техническим состоянием защищаемого агрегата. Есть возможность проводить фильтрацию сохраненных данных, просматривая данные за текущий час, сутки, месяц, год или всю информацию без фильтрации. При выборе определенной записи в таблице сохраненных СКЗ



вибрации автоматически проводится поиск сохраненных спектров, соответствующих выбранному временному диапазону. Таким образом, пользователь имеет полную информацию о состоянии агрегата на выбранный момент времени.

Сохраненные СКЗ виброскорости узлов агрегата и спектров отображаются на вкладках, аналогичных тем, что используются для отображения текущих значений виброскорости в режиме реального времени (см. рис. 8). При этом в полном объеме проводится обработка сохраненных данных, так что при работе с базой данных пользователь имеет возможность ретроспективно просмотреть изменения вибрационного состояния агрегата, провести поиск дефектов на заданный момент времени.

Представленный комплекс прошел опытную эксплуатацию на агрегате ст. № 3 КС «Зеньков» и ст. № 1 КС «Ромненская». Контроль правильности замеров вибрации и работоспособности комплекса осуществляется с помощью переносного коллектора-сборщика фирмы SKF (США) «Микролог» специализированными бригадами. Данные сравнительных испытаний переносной и стационарной систем согласуются между собой.

Выводы

Внедрение комплекса вибромониторинга и контроля технического состояния ГПА-10 «Simon», включающего технические средства измерения параметров вибрации, сбора, накопления, передачи и обработки входной диагностической информации, а также комплекс алгоритмов, программ и баз данных позволило предложить решение задач оптимизации производственных затрат на техническое обслуживание ГПА и предотвращения неконтролируемых отказов в процессе эксплуатации. Воплощая в себе новейшие технические и технологические решения, система «Simon» способна реализовать все известные преимущества принципа обслуживания оборудования «по состоянию» и делает эксплуатацию ГПА более рентабельной. Областью применения комплекса является контроль интенсивности вибрации: силового оборудования газо- и нефтеперекачивающих станций; энергетических установок тепловых электростанций; коммутационных трубопроводов атомных электростан-

ций; вентиляторов, насосов, компрессоров, трубопроводов и т. п.

Программная часть комплекса характеризуется простым и понятным пользовательским интерфейсом. Вместе с тем, примененные при разработке решения позволяют оператору не только наблюдать мгновенное вибрационное состояние агрегата, но и проводить предварительные исследования на предмет выявления дефектов узлов ГПА. Алгоритм выявления зарождающихся дефектов, реализованный в комплексе, позволяет значительно минимизировать производственные затраты на техническое обслуживание защищаемого агрегата. База данных, входящая в состав комплекса, позволяет проводить ретроспективный анализ вибрационного состояния газоперекачивающих агрегатов и в полном объеме проводить исследование причин отказов оборудования для предотвращения аварийных ситуаций и продления сроков эксплуатации дорогостоящего оборудования компрессорных станций.

1. *Игуменцев Е. А.* Вибрационная диагностика газоперекачивающих агрегатов // Прогрессивные технологии. Машиностроение и современность. — Донецк: ДГТУ, 1997. — С. 110–112.
2. *Игуменцев Е. А.* Стратегия эксплуатации по состоянию и вибрационная диагностика // Машиностроение и техника на рубеже 21 века / Сб. тр. VIII Междунар. науч.-техн. конф. Т. 1. — Донецк, Изд-во ДонГ-ТУ, 2001. — С. 155–160.
3. *Игуменцев Е. А., Марчук Я. С.* Виброакустическая диагностика оборудования дальнего транспорта газа на объектах УМГ «Киевтрансгаз» // Информ. мат. семинара-выставки «Современные технологии и приборы неразрушающего контроля и технической диагностики». — Харьков, 2002. — С. 2–4.
4. *Игуменцев Е. А., Прокопенко Е. А., Марчук Я. С.* Оптимизация технического обслуживания газоперекачивающих агрегатов // 36. науч. праць III Наук.-техн. конф. «Приладобудування 2004: Стан і перспективи». — Київ, 2004. — С. 215–216.
5. *Игуменцев Е. А., Прокопенко Е. А., Марчук Я. С.* Автоматизированная система вибродиагностики газоперекачивающих агрегатов ГПА-10 // Мат. Четвертой ежегодной пром. конф. с международным участием «Эффективность реализации научного ресурсного и промышленного потенциала в современных условиях». — Славское, февраль 2004 г.
6. *Игуменцев Е. А., Работягов В. И., Шмидт В. В.* Методика вибродиагностики технического состояния газоперекачивающих агрегатов ГПА-10 и ГПА-10-01 в условиях эксплуатации на компрессорных станциях газовой промышленности // Техн. диагностика и неразруш. контроль. — 1996. — № 1. — С. 11–20.



АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ДЕФЕКТΟΣКОПИИ ОТВЕТСТВЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ ГИДРОНАСОСА

В. Ф. ГАМАЛИЙ, С. В. СЕРЕБРЕННИКОВ, Д. В. ТРУШАКОВ

На основе комплексных исследований взаимодействия вихретоковых преобразователей (ВТП) с образцами, содержащими дефекты типа «непровар» и «трещина», получены упрощенные выражения, описывающие влияние на параметры ВТП размеров дефекта и основного мешающего фактора — зазора между ВТП и контролируемой поверхностью. Разработаны вихретоковый дефектоскоп с резонансной отстройкой от влияния зазора и автоматизированная система для экспресс-контроля деталей гидронасоса.

On basis of the complex research of interaction between eddy-current transformers (ECT) and specimens with «fusion» type and «crack» type defects received the simplified equations for calculation influence defects dimensions and the main disturbing factor (variable air-gap fluctuation between ECT and tested surface) on operation factors ECT. Developed a eddy-current defectoscope with resonance suppression air-gap influence and automation system for express testing parts of hydraulic pumps in process manufacture.

Введение. Современный этап развития технологий вихретокового контроля характерен переходом от диагностики по альтернативному принципу «наличие дефекта — отсутствие дефекта» к количественному контролю с определением степени критичности выявленных дефектов и их параметров [1]. Это имеет большое значение при эксплуатации наиболее ответственных и дорогостоящих деталей и узлов, контроль качества которых позволяет объективно прогнозировать ресурс конструкций с позиций механики разрушений и сократить убытки от рекламаций.

К особенностям современной дефектоскопии следует отнести то, что, несмотря на широкую номенклатуру серийно выпускаемых приборов неразрушающего контроля (НК) [2], специфика для каждого отдельного случая (особенности структуры и свойств материала, формы контролируемого изделия, пожелания заказчика и т. п.) обуславливает необходимость дополнительных исследований и разработку специализированного прибора. Кроме того, в ряде случаев такой путь является экономически более приемлемым для заказчика.

ВАТ «Гидросила» (г. Кировоград) является крупнейшим поставщиком на экспорт и внутренний рынок реверсивных насосов объемного гидропривода ГСТ-90, который входит в состав аксиально-поршневых машин. В связи с этим возникла необходимость в процессе изготовления проводить сплошной контроль на наличие дефектов (трещин и непроваров) наиболее нагруженных и ответственных деталей гидронасоса: плунжера, распределителя и сепаратора. Отмеченные детали имеют форму тел вращения, характеризуются сложной конфигурацией с многочисленными канавками и отверстиями. Вследствие особенностей технологии изготовления в плунжере наиболее распространены являются дефекты сварного шва типа «непровар», в распределителе и сепараторе — нарушение целостности металла типа «трещина». Плунжер изготавливается из двух цилиндрических за-

готовок путем их сваривания трением. Качество полученного шва ухудшается при колебаниях скорости вращения свариваемых частей, неплотности контакта, осевых вибрациях и т. п. Для дефектоскопии плунжеров заводом-изготовителем было поставлено требование: *разработать прибор упрощенной конструкции; с заменой ручного сканирования поверхности плунжера выполнением 2-3 манипуляций, во время которых можно определить качество сварочного шва.*

На основании сравнительного анализа физических методов НК [3], нами избран вихретоковый метод как наиболее оптимальный для построения автоматизированной системы контроля ответственных деталей гидронасоса.

Выбор первичного вихретокового преобразователя для дефектоскопического контроля ответственных деталей гидронасоса. Целью исследований является обоснование конструкции первичного ВТП, который бы имел наибольшую чувствительность к анизотропии электрических и магнитных свойств контролируемого образца, вызванной дефектами сварного шва. Поэтому для контроля плунжеров исследовали ВТП с П-образным ферритовым сердечником. При контроле распределителей и сепараторов на наличие трещин необходимо автоматизировать сканирование всей рабочей поверхности деталей. При этом желательно, чтобы ВТП имел малые геометрические размеры для обеспечения необходимой локальности контроля. При этом следует учитывать, что не существует универсального ВТП со всем спектром свойств.

Предшествующие исследования [4] показали, что для решения поставленных задач наиболее пригодны два типа ВТП:

накладной с П-образным сердечником, который традиционно используют для контроля анизотропных изделий;

накладной со стержневым сердечником, который используют для регистрации локальных дефектов.

Методика проведения исследований включала:

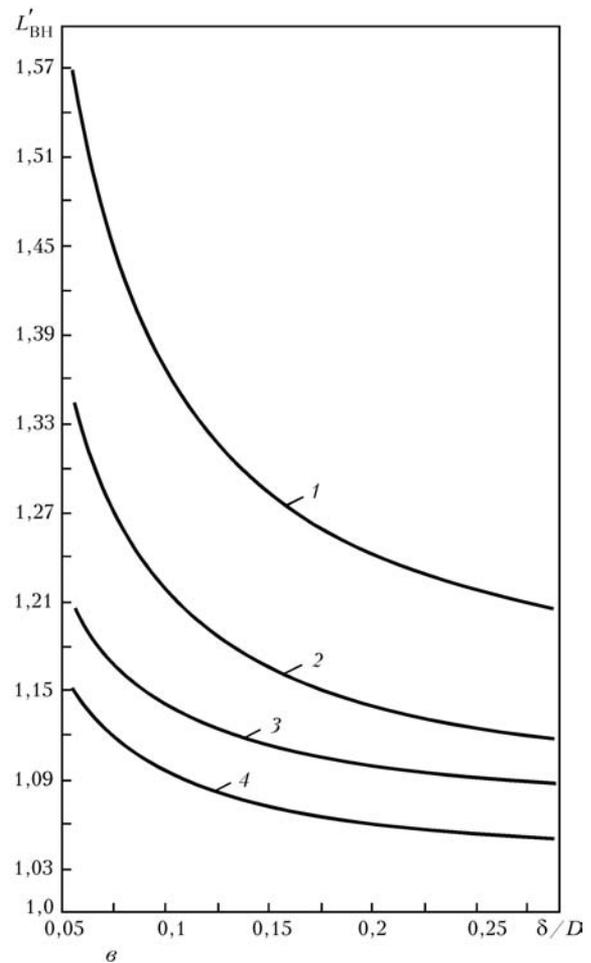
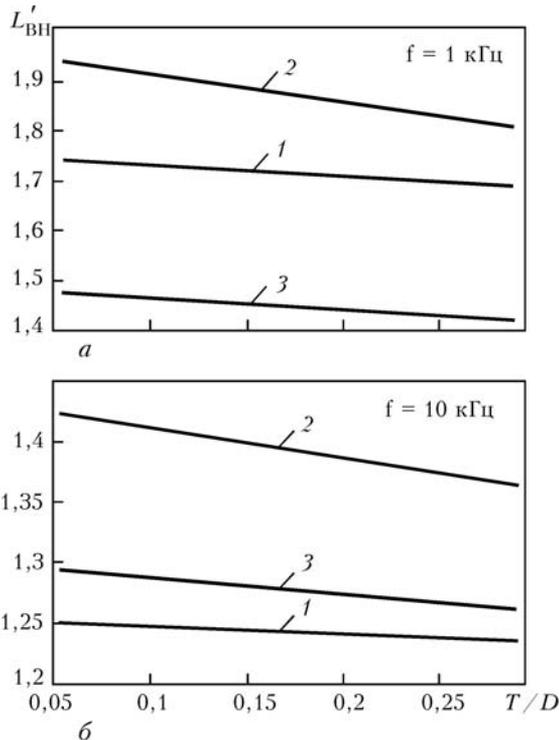


Рис. 1. Зависимости относительных вносимых индуктивностей $L'_{вн}$: а – $L'_{вн} = f(T/D)$ со стержневым сердечником (кривая 3) и с сердечником П-образной формы, в случае, если один из полюсов находится над трещиной (кривая 1) и если оба полюса расположены над трещиной (кривая 2) на образцах из ферромагнитной стали на частотах: $f = 1$ кГц и б – $f = 10$ кГц соответственно; в – $L'_{вн} = f(\delta/D)$ для П-образного ВТП на частоте 1 кГц (кривая 1); для стержневого ВТП на частоте 1 кГц (кривая 2); для П-образного ВТП на частоте 10 кГц (кривая 3); для стержневого ВТП на частоте 10 кГц (кривая 4)

изготовление образцов накладных ВТП стержневого типа и с П-образным магнитопроводом; имитирование удлиненных непроваров и трещин с шириной раскрытия T , нормированной к диаметру D полюса магнитопровода ВТП на образцах ферромагнитной стали ШХ15СГ, которая используется для изготовления наиболее ответственных деталей гидронасоса;

имитирование зазора δ между накладным ВТП и контролируемой поверхностью, нормированного к диаметру D магнитопровода ВТП;

определение зависимостей вносимых индуктивностей $L'_{вн}$ от соотношений T/D и δ/D ;

обоснование конструкции ВТП.

Выбор ВТП с П-образным сердечником при сравнении ВТП со стержневым сердечником для обнаружения несплошностей типа «непровар» в плунжере обосновывается результатами сравнительных исследований на цифровом измерителе L, C, R E7-8 при питании ВТП синусоидальным током частотой 1 кГц и на цифровом измерителе E7-14 при питании ВТП током частотой 1 и 10 кГц. Результаты экспериментальных исследований представлены с усреднением по 10 измерениям.

ВТП с П-образным и с стержневым сердечниками были изготовлены таким образом, чтобы они имели одинаковую индуктивность вне контролируемой поверхности (в воздухе) $L_0 = 1,19$ мГн. Трещины имели прямоугольную форму с раскры-

тием, которое изменялось в пределах $T/D = 0,014...0,3$. Кроме того, зазор δ между накладным ВТП и контролируемой поверхностью также изменяли в пределах $\delta/D = 0,014...0,3$.

Результаты измерений нормированных вносимых индуктивностей $L'_{вн}$ ($L'_{вн} = L_{вн}/L_0$, где $L_0 = 1,19$ мГн – собственная индуктивность) в функции T/D и δ/D на образцах, выполненных из ферромагнитной стали при питании ВТП током частотой $f = 1...10$ кГц приведены на рис. 1. Данные зависимости аппроксимированы методом наименьших квадратов (МНК) – зависимость $L'_{вн} = f(T/D)$ лучше всего описывается линейными функциями:

$$L'_{вн} = a_1 \frac{T}{D} + b_1, \tag{1}$$

наилучшей кривой, которая описывает зависимость $L'_{вн} = f(\delta/D)$, является гипербола:

$$L'_{вн} = \frac{a_2}{\delta/D} + b_2, \tag{2}$$

где a, b – коэффициенты, определенные методом МНК (указаны в табл. 1, 2).

Как видно из рис. 1, а, б, чувствительность (наклон кривой) П-образного ВТП в случае, когда оба его полюса расположены над трещиной, вдвое



Таблица 1. Значения коэффициентов a , b и коэффициента парной корреляции K

ВТП над трещиной с шириной розкрыва T	Линейная функция (1)					
	$f = 1$ кГц			$f = 10$ кГц		
	a_1	b_1	K	a_1	b_1	K
Стержневой	-0,227	1,487	0,989	-0,142	1,301	-0,982
П-образный (один полюс находится над трещиной)	-0,223	1,756	0,997	-0,061	1,253	0,999
П-образный (два полюса находятся над трещиной)	-0,573	1,974	0,996	-0,251	1,437	0,97

Таблица 2. Значения коэффициентов a , b и коэффициента парной корреляции K

ВТП над контролируемой поверхностью с определенным зазором δ	Гиперболическая зависимость (2)					
	$f = 1$ кГц			$f = 10$ кГц		
	a_1	b_1	K	a_1	b_1	K
Стержневой	0,015	1,063	0,956	0,0069	1,026	0,963
П-образный	0,025	1,120	0,967	0,0080	0,060	0,986

превышает чувствительность стержневого ВТП. Даже при попадании трещины лишь под один из рабочих полюсов П-образного ВТП его чувствительность не хуже, чем у стержневого. Меньшая чувствительность стержневого ВТП поясняется тем, что у него, в отличие от П-образного, лишь один из торцов является рабочим. Т. е., чувствительность П-образного ВТП достаточная для надежной регистрации трещин даже одним из полюсов. Итак, более надежное выявление дефекта обеспечивается при его расположении одновременно под обоими полюсами ВТП. Таким образом, для наблюдения несплошностей типа «непровар» в плунжере выбираем накладной ВСП с П-образным сердечником, который имеет наибольшую чувствительность. При этом ВТП с П-образным сердечником встроен в измерительную головку таким образом, чтобы при перемещении относительно контролируемого образца оба полюса были ориентированы вдоль сварного шва.

Анализируя функциональные зависимости, которые представлены на рис. 1, σ , можно сделать вывод, что как для П-образного, так и для стержневого ВТП на частоте 10 кГц чувствительность к влиянию зазора δ меньше, чем на частоте 1 кГц.

Полученные экспериментальные зависимости с вероятностью 95 % соответствуют разработанной нами математической модели [5], которая описывает взаимодействия ВТП, размещенного над ферромагнитным образцом с трещиной.

Разработка автоматизированной системы вихретокового контроля нарушений сплошности ответственных деталей гидронасоса. В основу данной автоматизированной системы положен вихретоковый дефектоскоп. При динамическом вихретоковом контроле распределителя и сепаратора среди факторов, которые могут наиболее существенно влиять на ошибку измерения, является влияние колебаний зазора между ВТП и контролируемой поверхностью. Недостатком известных способов уменьшения влияния колебаний зазора [6] является ухудшение разрешающей способности, т. е. воз-

можности выявлять дефекты при значительных колебаниях зазора.

Приведенные выше результаты исследований $L'_{\text{вн}} = f(T/D, \delta/D)$ легли в основу разработки нового резонансного способа отстройки от влияния зазора [7], реализованного при построении вихретокового дефектоскопа для контроля ферромагнитных изделий — основного измерительного блока автоматизированной системы дефектоскопического контроля.

Структурная схема вихретокового дефектоскопа приведена на рис. 2. Устройство состоит из двух каналов обработки — амплитудного и фазового, поисковой системы и узла индикации.

В поисковую систему дефектоскопа входят генератор синусоидальных колебаний с устройством управления частотой и два LC-контура: измерительный и эталонный. Сигналы с амплитудного и фазового каналов подаются на входы схемы совпадения, к выходу которой подсоединен узел индикации. ВТП входит в состав измерительного LC контура.

В процессе работы дефектоскопа при выявлении трещины вектор напряжения с датчика увеличивается по абсолютной величине и сдвигается по фазе в сторону увеличения частоты. В случае, если датчик установлен на острых кромках (краях) изделия, то амплитуда сигнала с датчика тоже увеличивается, но фаза сигнала при этом сдвигается в сторону уменьшения частоты. Таким образом, двухканальный принцип построения (фазовый и амплитудный каналы) позволяет отстроиться от такого мешающего фактора, как влияние края поверхности нахождение дефектов типа «трещина». Изменение зазора между ВТП и исследуемой поверхностью приводит к изменению амплитуды сигнала с его выхода. Однако на определенной частоте изменение напряжения с ВТП по амплитуде при его установлении на контролируемую поверхность приблизительно равняется нулю. Таким образом, управляя частотой генератора, можно добиться независимости амплитуды сигнала с ВТП от колебания величины зазора. Установление частоты генератора, на которой выполняется условие неизменности амплитуды сигнала при изменении зазора, можно выполнить автоматически. С этой целью в схеме использован эталонный LC-контур, выполненный по аналогии с измерительным. Эталонный LC-контур расположен вне контролируемой поверхности (в корпусе устройства) и предназначен для изменения частоты генератора [8]. Для этого используется метод сравнения сигналов

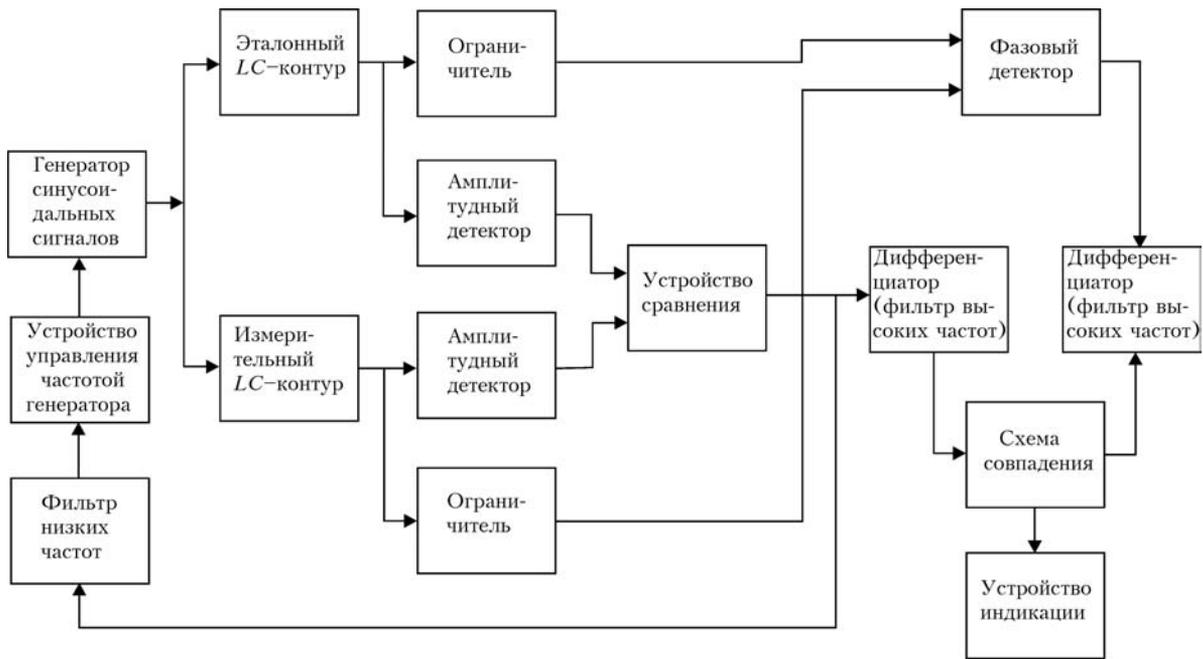


Рис. 2. Структурная схема вихрекового дефектоскопа

с эталонного и измерительного контуров. С этой целью в схеме используется схема сравнения, выходной сигнал которой действует в качестве обратной связи через фильтр низких частот на прибор управления частотой генератора. В случае, если при установлении датчика на контролируемую поверхность обнаруживается несоответствие амплитуд сигналов измерительного и эталонного контуров, схема сравнения вырабатывает сигнал несоответствия, который через фильтр низких частот воздействует на устройство управления частотой генератора. Вследствие этого частота изменяется в сторону уменьшения найденного несоответствия. Таким образом, обратная связь позволяет поддерживать независимость амплитуды сигнала с выхода датчика от величины колебаний зазора. Изменение параметров исследуемой поверхности также автоматически отслеживается (изменение электропроводности и магнитной проницаемости материала). Мешающие факторы (зазор, изменение электропроводности и магнитной проницаемости) изменяются сравнительно медленно при движении датчика по контролируемой поверхности. Поэтому сигнал обратной связи находится в полосе пропускания фильтра низких частот и таким образом воздействует на устройство управления частотой генера-

тора. В случае, если найден дефект, сигнал с выхода датчика имеет характер короткого импульса, не пропускается фильтром и не действует на устройство управления частотой. Такой сигнал через дифференциатор (фильтр высоких частот), пороговое устройство и схему совпадения подается на устройство индикации. Фазовый канал используется для исключения ложных срабатываний в случае установления датчика на кромку или острый край детали. При этом амплитуда сигнала с датчика возрастает подобно сигналу, если датчик обнаружил дефект, однако изменение фазы противоположно по знаку. При совпадении быстрого увеличения амплитуды и фазы схема совпадения вырабатывает сигнал для устройства индикации.

Для автоматизации процесса контроля ответственных деталей гидронасоса-сепаратора и распределителя нами разработано сканирующее устройство с микропроцессорным управлением, структурная схема которого приведена на рис. 3. Деталь устанавливается на диэлектрический диск 8, который приводится во вращение с помощью первого шагового двигателя с редуктором 7. ВТП 9 перемещается поступательно по радиусу от периферии к центру детали при помощи второго шагового двигателя с редуктором 1, с шагом, равным диаметру сердечника ВТП [9]. Скорость перемещения ВТП синхронизирована с вращением детали. Счетчик оборотов содержит оптопару 6. Измерительный резонансный тракт дефектоскопа содержит ВТП 1, генератор 2, амплитудный детектор 3, усилитель 4.

Сигнал от ВТП имеет сложный характер в соответствии с заданной конфигурацией детали. На этом фоне дефекты обнаруживаются путем обработки сигнала в однокристальном микроконтроллере 10 (AT89C51). Статистически усредненная информация, которая получена в результате сканирования ряда бездефектных деталей (эталон) с допустимыми технологическими отклонениями,

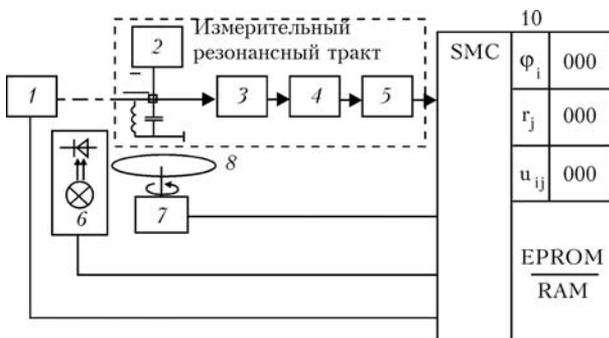


Рис. 3. Структурная схема сканирующего устройства

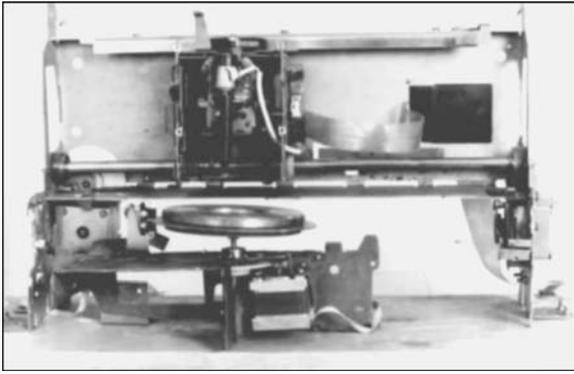


Рис. 4. Сканирующее устройство для вихретокового контроля ответственных деталей гидронасоса

записывается в постоянное запоминающее устройство — ПЗУ (EPROM) [10].

В процессе сканирования текущей детали в микроконтроллере постоянно сравниваются значения сигналов ВТП по траектории с аналогичными значениями сигналов, записанными в ПЗУ. При этом краевые эффекты, влияние кромок деталей и других особенностей рельефа устраняются автоматически. ПЗУ содержит записи эталонных сигналов для нескольких типов деталей. Перед началом контроля оператор задает режим работы дефектоскопа, который соответствует конфигурации конкретной контролируемой детали.

При прохождении датчиком дефектного участка появляется отклонение сигнала ΔU_{ij} от допустимого значения и в оперативном запоминающем устрой-

стве (ОЗУ) (RAM) фиксируются угловая $\varphi_i = \omega t_i$ и радиальная $r_j = N_i D$ координаты (t_i — продолжительность сканирования; N_i — число шагов ВТП; D — диаметр сердечника ВТП). Значение ΔU_{ij} определенной мерой характеризует размер дефекта. По результатам дефектограммы делается вывод о пригодности детали к эксплуатации или, в случае получения негативной информации, дополнительно проводятся механические испытания под нагрузкой.

Аналого-цифровой преобразователь (АЦП) 5 имеет период дискретизации, который соответствует перемещению ВТП на расстояние:

$$\Delta l_i = \frac{\pi r_j \Delta \varphi_i}{180^\circ}$$

Достаточная для достижения поставленной цели точность реализуется при $\Delta l_i = D$.

Для сокращения времени контроля в дефектоскопе предусмотрен пороговый режим, предназначенный для фиксации наличия так называемых опасных (критических) дефектов. Критическим считается дефект с размерами, при которых деталь непременно разрушается во время гарантийного срока эксплуатации. В этом режиме процесс сканирования поверхности детали длится до тех пор, пока не будет зафиксирован первый такой дефект. При этом дальнейший контроль прекращается, сканирующее устройство возвращается в исходное по-

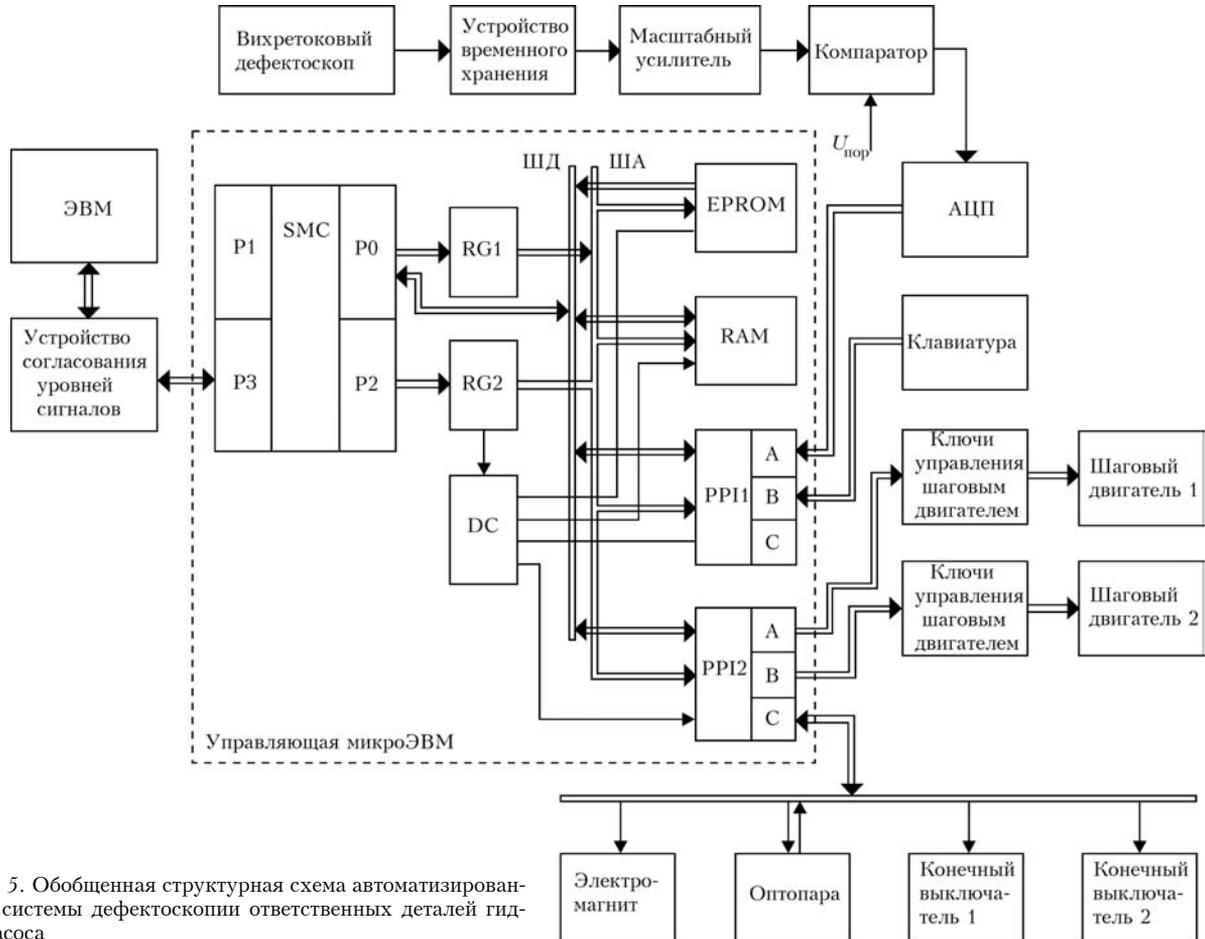


Рис. 5. Обобщенная структурная схема автоматизированной системы дефектоскопии ответственных деталей гидронасоса



ложение и деталь отбраковывается, что сопровождается звуковой и световой сигнализацией.

Обобщенная структурная схема автоматизированной системы дефектоскопии ответственных деталей гидронасоса приведена на рис. 5.

Автоматизированная система состоит из следующих функциональных блоков [11]:

вихретокового дефектоскопа;
устройства временного сохранения информации, которая поступила с дефектоскопа;

масштабного усилителя для усиления уровня информационного сигнала;

компаратора, предназначенного для фиксации информации о наличии опасных (критических) дефектов;

управляющей микроЭВМ, которая построена на базе однокристального микроконтроллера (SMC); 8-миразрядных буферных регистров-защелок (RG1, RG2); 8-миразрядного дешифратора адреса (DC); перепрограммируемого постоянного запоминающего устройства (EPROM); запоминающего устройства с произвольной выборкой (RAM); программируемых параллельных интерфейсов ввода-вывода (PPI1, PPI2);

аналого-цифрового преобразователя (АЦП); шагового двигателя 1, вращающего деталь; шагового двигателя 2, который перемещает ВТП поступательно по радиусу от периферии к центру контролируемой детали;

ключей управления шаговым двигателем 1 и шаговым двигателем 2;

электромагнита, предназначенного для опускания и поднятия ВТП относительно контролируемой поверхности;

оптопары, с помощью которой определяется начало отсчета процесса сканирования, а также предназначенная в качестве счетчика оборотов;

клавиатуры для управления автоматизированной системой;

конечных выключателей, предназначенных для отключения шагового двигателя 2 в случае, если ВТП вышел за пределы зоны контроля;

последовательного интерфейса связи, который является также и устройством согласования уровней сигналов между микроЭВМ и персональной ЭВМ.

Выводы

Экспериментальные зависимости вносимых нормированных индуктивностей от соотношения ширины трещины T к диаметру сердечника $D L'_{\text{вн}} = f(T/D)$ при условии $T/D < 0,3$ для П-образного и стержневого ВТП на частотах 1 и 10 кГц близки к линейным.

Зависимости вносимых нормированных индуктивностей $L'_{\text{вн}}$ от соотношения величины зазора δ к диаметру сердечника $D L'_{\text{вн}} = f(T/D)$ при ус-

ловии $\delta/D < 0,3$ для П-образного и стержневого ВТП на частотах 1 и 10 кГц являются гиперболическими.

Экспериментальные кривые аппроксимированы методом наименьших квадратов, определены коэффициенты функциональных зависимостей вносимых нормированных индуктивностей. По результатам исследований избрана рабочая частота 10 кГц.

Разработан резонансный вихретоковый дефектоскоп с отстройкой от влияния зазора и сканирующее микропроцессорное устройство.

Автоматизированная система вихретокового контроля нарушений сплошности ответственных деталей гидронасоса прошла производственные испытания на ВАТ «Гидросила».

1. Учинин В. Н. Методы количественного вихретокового контроля с определением параметров дефектов // Техн. диагностика и неразруш. контроль. — 2002. — № 1. — С. 33–38.
2. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий. Справ.: В 2 кн. / Под ред. В. В. Клюева. — М.: Машиностроение, 1986. — Т. 2. — 352 с.
3. Сербренніков С. В., Трушаков Д. В., Медяник В. Г. Порівняльні дослідження неруйнівних методів контролю для дефектоскопії деталей аксіально-поршневих машин // Мат. 3-ї Української наук.-техн. конф. «Неруйнівний контроль та технічна діагностика-2000». — Дніпропетровськ. — 2000. — С. 187–188.
4. Сербренніков С. В., Трушаков Д. В. Дослідження вихорструмових перетворювачів з П-подібним та стержневим осерддям // Фіз. методи та засоби контролю середовищ, матеріалів та виробів. — Вип. 10. 36. наук. праць Фіз.-мех. ін-ту ім. Г. В. Карпенка НАН України. — Львів. — 2005. — С. 126–130.
5. Gamaliy V. F., Serebrennikov S. V., Trushakov D. V. Simulation of u-type core eddy-current transformer located on ferromagnetic material with «crack type» defects // Proceedings of the XIII International Symposium on Theoretical Electrical Engineering. — Lviv: Lviv Polytechnic National University, 2005. — P. 349–352.
6. Дорофеев А. Л., Казаманов Ю. Г. Электромагнитная дефектоскопия. — М.: Машиностроение, 1980. — 232 с.
7. Декларацийний патент 34933А Україна, МКИ G01N27/86. Спосіб повного відстроювання від впливу проміжку у вихорструмовій дефектоскопії феромагнітних виробів / Б. І. Ващенко, Д. В. Трушаков. — Кіровоград. держ. техн. ун-т. — № 99074185. Заявл. 20.07.1999. Опубл. 15.03.2001.
8. Патент на винахід 62570 Україна; МКИ G01N27/00, G01N27/90. Вихорструмовий дефектоскоп для контролю металевих виробів / В. Ф. Гамалій, В. Ф. Пащенко, Д. В. Трушаков. — Кіровоград. держ. техн. ун-т. — № 2003043228. Заявл. 10.04.2003. Опубл. 15.07.2005.
9. Плещиков П. Г., Сербренніков С. В., Трушаков Д. В. Вихорструмовий дефектоскоп та сканувальний пристрій для поточного контролю металевих виробів форми тіл обертання // Вимірвальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. — 2000. — № 1. — С. 70–71.
10. Gamaliy V., Trushakov D. Microprocessor System for Non-Destructive Diagnostics // 15-th Conference on Non-Destructive Testing. — Rome (Italy) — 15–21 October 2000. — P. 608.
11. Гамалій В. Ф., Трушаков Д. В. До вибору методик автоматизації неруйнівного контролю // Зб. наук. праць Кіровоград. держ. техн. ун-ту / Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. — Кіровоград: КДТУ. — 2002. — Вип. 11. — С. 247–250.



ТЕПЛОВИЗИОННЫЙ КОНТРОЛЬ И ДИАГНОСТИКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

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

Описаны физические основы тепловизионного контроля и диагностики энергетического оборудования, его современная приборная и нормативная базы. Приведены объекты энергетического оборудования, его основные дефекты и неисправности, обнаруживаемые с помощью этого метода, а также статистические данные и примеры эффективного применения метода. Указаны направления дальнейшего развития тепловизионного контроля и диагностики энергетического оборудования.

Physical backgrounds of energetic equipment thermovision testing and diagnosis as well as its apparatus and standard base are described. Objects of energetic equipment, their main defects and disturbances, which can be detected by this method, are described. Statistics and examples of effective use of the method are listed. Possible directions of further development of thermovision control and energetic equipment diagnostics are shown.

Тепловизионный метод контроля и диагностики основан на анализе тепловой карты объекта, получаемой с помощью тепловизора. По тепловой карте (термограмме) можно судить о внутренней структуре объекта (по аналогии с рентгеноскопией), в частности, обнаруживать ее аномалии, которые являются скрытыми дефектами.

По данным Infrasppection Institute этот метод применяют более 200 крупнейших корпораций и фирм мира. Среди них такие, как Ford, General Electric, Volvo, Martin Lockheed Marietta, Boeing, Sharp, Sony, NASA, British Airways, Airbus Industry, Union Carbide и др.

Основными преимуществами метода являются: безопасное обслуживание; снижение эксплуатационных расходов; улучшенное и более дешевое техобслуживание; рост прибыли.

Перспективной областью применения тепловизионного контроля и диагностики является энергетическое оборудование.

Физические основы тепловизионного метода.

По мере корроирования и износа (старения) компонентов электрооборудования происходит изменение их электрических свойств, преимущественно сопротивления. В общем случае такие изменения проявляются через повышение температуры на поверхности. Измеряя эти температуры методом, позволяющим дифференцировать их по отношению к тепловому фону окружающей среды, можно обнаруживать частичные отказы компонентов [1]. Следовательно, электроннадзор можно проводить с увеличенными интервалами между циклами контроля и этим создавать предпосылки для эффективного планирования профилактического обслуживания.

Количество тепловой энергии, излучаемой неисправным компонентом, является функцией его нагрузки (тока) и условий окружающей среды. Увеличение тока в цепи в большинстве случаев приводит к ненормальному нагреванию компонентов, что создает благоприятные условия для контроля. Некоторые зарождающиеся неисправности

не проявляются до тех пор, пока соответствующий компонент не окажется под большой нагрузкой. В то же время, серьезные неисправности почти всегда обнаруживаются независимо от режима нагрузки. Условия окружающей среды также могут влиять на термодинамические свойства поверхностей, подавляя или, наоборот, усиливая желаемый эффект. Высокая влажность воздуха или холодный ветер могут охлаждать поверхность контролируемого объекта и тем самым уменьшать повышенную теплоотдачу с поверхности. И наоборот, при измерениях в ночное время при тихой погоде эффект перегрева усиливается.

Дефекты в энергонагруженных узлах образуются непрерывно. Опыт передовых стран показывает, что с помощью периодических проверок количество возникающих и деградирующих дефектов можно поддерживать на некотором минимальном уровне. Отмеченные изменения электрического сопротивления обычно происходят постепенно, благодаря чему ремонт или замену неисправных элементов можно предусмотреть своевременно на базе графика текущего ухода.

Приборная база, применяемая для тепловизионного контроля. Приборная база тепловизионного метода достаточно разнообразна. В настоящее время крупнейшими мировыми производителями тепловизионной техники (FLIR Systems, Raytheon, Indigo, Micron (все-США), NEC (Япония), CEDIR (Франция), AEG (Германия) и др.) выпускается большое количество моделей камер с высокими техническими и эксплуатационными характеристиками [2]. Основные параметры современных тепловизоров: интервал температур — от -40° до $+2000^{\circ}\text{C}$; температурное разрешение — до $0,05^{\circ}\text{C}$; быстродействие — до 60 Гц; поле зрения — до $18^{\circ}\times 24^{\circ}$. Фирмы-производители применяют гибкую ценовую политику, при которой стоимость тепловизионных систем зависит от их комплектации, в особенности от числа объективов, фильтров, устройств записи и документирования термограмм, а также программного продукта. Отпускная цена фирмы на базовые комплекты показывающих теп-



Таблица 1. Виды энергетического оборудования и характерные выявляемые дефекты

Виды оборудования	Характерные дефекты
Генераторы	Межлистовые замыкания в стали статора, ухудшение качества паек стержней и катушек обмоток статора и ротора, нарушения в работе газОВОДОМАСЛОСИСТЕМ, закупорка полостей элементарных проводников стержней обмоток статора генераторов с водяным охлаждением, витковые замыкания в обмотках статора, нарушение изоляции подшипников генератора — турбины с протеканием тока и т. п., эффективность работы щеточно-контактного аппарата.
Электродвигатели	Витковые замыкания в обмотке статора, нарушения в работе охлаждающих устройств, некачественные контактные соединения кабелей питания.
Силовые трансформаторы и автотрансформаторы	Возникновение магнитных полей рассеяния, нарушения в работе охлаждающих систем (маслонасосов, фильтров, вентиляторов), а также оценка их эффективности, нарушение внутренней циркуляции масла в баке трансформатора (образование застойных зон) в результате шламообразования, конструктивных просчетов, разбухания или смещения изоляции обмоток в трансформаторах с большим сроком службы, витковые замыкания в обмотках встроенных трансформаторов тока, дефекты вводов и контактных соединений токоведущих частей.
Баковые, масляные и воздушные выключатели	Ухудшение состояния контактов дугогасительных устройств, внутривакуумной изоляции, контактных соединений аппаратных зажимов, вводов выключателей, витковые замыкания в обмотках встроенных трансформаторов тока.
Трансформаторы тока	Нарушение контактных соединений аппаратных зажимов первичной и вторичной обмоток, подсоединенной ошиновки и внутренних переключающих устройств, существенное ухудшение внутренней изоляции (шламообразование, смещение изоляции и др. дефекты).
Вентильные разрядники и ограничители перенапряжений	Дефекты шунтирующих сопротивлений (обрыв, отсыревание), неравномерность распределения напряжения по элементам, нарушения геометрии элементов.
Конденсаторы	Пробой секций элементов конденсаторов, неравномерность распределения напряжения по колонке элементов конденсаторов, некачественные контактные соединения элементов силовых конденсаторов и конденсаторов продольной компенсации.
Разъединители, отделители, шинные мосты	Нарушения разъемных контактных соединений, аппаратных зажимов, гибких связей, трещины в штыревых и опорно-стержневых изоляторах.
Высокочастотные заградители	Нарушения контактных соединений аппаратных зажимов.
КРУ и КРУН	Нарушения контактных соединений ошиновки вводных проходных изоляторов, болтовых соединений ошиновки КРУ (неприслонного типа) и КРУН, контактных соединений разъединителей, трансформаторов тока, выключателей, изоляции кабельных разделок (в зависимости от исполнения КРУ и КРУН).
Комплектные токопроводы	Образование короткозамкнутых контуров в экранах и металлоконструкциях, эффективность охлаждения ошиновки токопроводов.
Воздушные линии электропередачи	Дефектные контактные соединения проводов при контроле с земли.
Кабельное хозяйство электростанций	Пожароопасность кабелей по их тепловому состоянию.
Котлы	Состояние внутренней футеровки работающего котла, труб поверхностей нагрева котлов (имеющих значительные внутренние отложения, окалину, посторонние предметы) после их монтажа, реконструкции, до и после кислотной промывки.
Турбины и паропроводы	Состояние тепловой изоляции, оценка эффективности маслосистем.
Газоходы	Нарушение герметизации, присосы холодного воздуха.
Топливоподача	Очаги самовозгорания угольной пыли в бункерах и угля на складе.
Дымовые трубы	Некачественные швы бетонирования, трещины несущего ствола, коррозию и обрушения футеровки, нарушения тепловой изоляции в прослойке между стволом и футеровкой, зольные отложения и пр.
Градири, водо- и воздухоохладители, пруды-охладители	Эффективность охлаждения воды при контроле с земли.

ловизоров и камер (DVE-1000, PalmIR Pro, ThermoView™ Ti30, IR SnapShot 525, ThermoCam E2) составляет от 12 до 30 тыс. у.е., измерительные

приборы могут стоить 50-70 тыс. у.е. (ThermaCam 695, ThermoCam P60, Galileo), а стоимость специализированных моделей, например, устанавли-



ваемые на гидроплатформах летательных аппаратов, до 150 тыс. у.е.

Современные пирометры обладают большим набором сервисных функций (лазерными прицелами, автоматической фокусировкой на объект, сохранением результатов и т. д), что позволяет с успехом их использовать для решения ряда задач контроля и диагностики энергетического оборудования. Стоимость пирометров значительно ниже (порядка нескольких тысяч условных единиц).

Энергетическое оборудование и выявляемые тепловизионным контролем дефекты и нарушения. Виды энергетического оборудования и выявляемые тепловизионным контролем характерные дефекты представлены в табл. 1 [3].

В мире накоплен большой опыт применения тепловизионного контроля в энергетике. Например, опыт энергетических компаний в Швеции, которые осуществляют 100%-ный контроль подстанций, показал (до 150 тыс. узлов в год), что альтернативы тепловизионному контролю в этой области нет, так как узлы непрерывно нагреваются. В Бельгии благодаря многолетнему планомерному использованию тепловизионного контроля число отказов на электрических подстанциях сократилось с 2,32 до 0,24 %. В Норвегии все линии электропередач перед сроком истечения гарантии подлежат тепловизионному контролю.

В СССР применение теплового метода для контроля высоковольтных линий сэкономило до 600 тыс. рублей в год на регион в результате уменьшения числа аварий, отключений и недоотпуска энергии. Снижение трудозатрат на контроль 100 трансформаторов дало эффект около 10 млн рублей. В табл. 2 приведены дополнительные сведения по эффективности тепловой диагностики [2].

Статистические данные по применению тепловизионного метода. Наиболее массовым объектом контроля в электроэнергетике являются контакты открытых и закрытых распределительных устройств. По оценкам распределение дефектов по контактам составляют, %: болтовые соединения — 50, опрессованные — 5,1, сварные — 1,3, контакты разъединителей — 43, провода — 0,6.

Величины перегревов идентифицируются на трех или четырех уровнях [1].

По некоторым данным [4], распределение дефектов на контактах по типу оборудования имеет следующий вид, % общего числа дефектов: зажимы и контактные соединения — 48; подвижные контакты — 20; контакты на ВЧ-заградителях — 24; другие дефекты — 8.

По имеющимся оценкам превышение температуры дефектов (ΔT) по группам выглядит так [5]:

ΔT , °C	% общего числа дефектов
Менее 5	64
от 5 до 10	13
от 10 до 20	15
выше 20	8

Классификация дефектов по категориям ремонта в зависимости от превышения температуры приведена ниже [5]:

Категория ремонта	ΔT , °C	% общего числа дефектов
Плановый	< 14	82
Внеплановый	15...30	15
Аварийный	> 30	3

В России нормами проведения теплового контроля является РД 34.45-51.300-97 «Объем и нормы испытаний электрооборудования» РАО «ЕЭС России». Аналогичный отечественный документ ГКД 34.20.302-2002 «Нормы випробування електрообладнання» выпущен в Украине в 2002 г.

Согласно отечественным и международным стандартам приняты следующие правила для принятия решений по обслуживанию:

избыточная температура 5... 10 °C: начальная степень неисправности, которую следует держать под контролем и принимать меры по ее устранению во время ремонта, запланированного графиком;
избыточная температура 10...30 °C: развившийся дефект, принять меры по устранению при

Таблица 2. Эффективность тепловой диагностики

Тип оборудования	Технико-экономические последствия, вызванные дефектами в энергетическом оборудовании
Разнообразное электрическое оборудование	<i>Дуга, короткое замыкание, пожар</i> Ремонт пультов переключения: 10... 15 тыс. у.е. Замена: 80... 100 тыс. у.е. Потери времени: несколько недель или месяцев
Трансформаторы	<i>Дуга, короткое замыкание, пожар</i> Перемотка 50000 КВт: 10... 50, 40...70 тыс. у.е. Замена: 80... 140 тыс. у.е. Потери времени: несколько недель или месяцев
Двигатели и генераторы	<i>Дефектные подшипники приводят к разрушению железа или обмотки. Наличие дефектных щеток, разрушающих кольца или коммутаторы, что приводит к разрушению обмоток. Разрушение объектов нагрузки.</i> Перемотка: 50... 100 тыс. у.е. Замена: 100... 200 тыс. у.е. Потери времени: несколько недель или месяцев

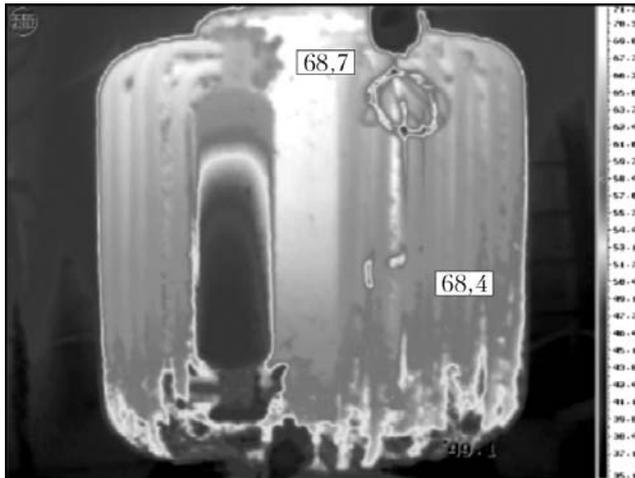


Рис. 1. Термограмма трансформатора ТМ-1200

ближайшем выводе электрооборудования из работы;

избыточная температура выше 30 °С: аварийный дефект, требует немедленного устранения.

Примечание. Избыточная температура — превышение измеренной температуры контролируемого узла над температурой аналогичных узлов других фаз, находящихся в одинаковых условиях.

Предотвращая аварийные выключения, с помощью тепловизионного контроля можно обеспечить более эффективное управление инвентарными запасами. В общем случае запасные электрические компоненты заказывают исходя из расчетных спецификаций, полученных от изготовителей. Периодический термографический контроль позволяет планировать снабжение запасными частями с большим приближением к реальным условиям возникновения и развития неисправностей в компонентах. Это позволяет заменять только действительно неисправные компоненты, тем самым сокращая затраты времени, труда и материалов.

Отечественный опыт тепловизионного контроля энергетического оборудования. В настоящее время в Украине уже существует ряд предприятий и организаций, которые проводят тепловизионный контроль и диагностику энергетического оборудования.

К таким организациям относится научно-технический центр «Термоконтроль» Национального университета радиоэлектроники (г. Харьков). В центре работают специалисты III уровня по тепловому методу (IT). В НТЦ «Термоконтроль» получен ряд приоритетных результатов в области теплового контроля. Разработанные алгоритмы позволяют расшифровать термограммы и по внешним тепловым характеристикам определить внутреннее состояние объектов контроля [6].

В период с 1998–2004 г. специалистами центра были проведены работы на ряде крупных энергетических объектов, таких как Змиевская ГРЭС, Желтоводское энергетическое предприятие, Стахановский завод ферросплавов [7, 8].

Например, на Стахановском заводе ферросплавов за три дня было обследовано все энергохозяйство предприятия, в которое входили печные трансформаторы ЭОЦНК-16000, 21000; трансфор-

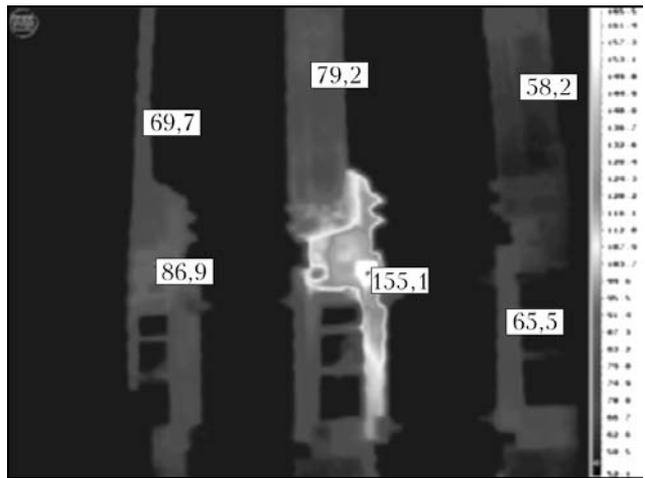


Рис. 2. Термограмма дефекта болтового соединения шинного разъединителя ВРВ 2000/10 (избыточная температура $\Delta T = 75,9$ °С)

маторы ТМ-1200, распределительные устройства ВРВ2000/10, ВМПЭ 3200/10 и др. [8]. На рис. 1 показана термограмма трансформатора ТМ-1200.

Обнаружено ряд объектов с избыточной температурой 10...30 °С, что означает развившиеся дефекты, для которых необходимо принимать меры по устранению неисправности при ближайшем выводе из работы. Например, на рис. 2 показана термограмма дефекта болтового соединения шинного разъединителя ВРВ 2000/10.

При термографическом обследовании печных трансформаторов плавильного цеха выявлено, что средняя температура корпуса трансформатора ЭОЦНК-21000, прошедшего капитальный ремонт, на 5...11 °С ниже, чем у аналогичных, работающих в том же режиме, что говорит о качестве проведенного ремонта [8].

Выводы

Тепловизионный контроль является перспективным направлением диагностики энергетического оборудования.

В настоящее время существуют развитая приборная база метода, программные методы документирования и обработки термограмм.

Существует основа нормативной базы тепловизионного контроля в энергетике.

Для более широкого применения тепловизионного метода контроля и технической диагностики энергетического оборудования необходимо проведение работ по следующим направлениям:

разработка норм тепловизионного контроля по конкретным группам отечественного энергетического оборудования, которые могут быть основой для создания технических условий, государственных и отраслевых стандартов;

разработка алгоритмов и программ расшифровки тепловых карт (термограмм) для диагностики состояния энергетического оборудования;

создание системы подготовки и аттестации операторов-термографистов.

1. Маслова В. А., Стороженко В. А. Термография в диагностике и неразрушающем контроле. — Харьков: Компания СМІТ, 2004. — 160 с.



2. *Вавилов В. П., Климов А. Г.* Тепловизоры и их применение. — М.: Интел универсал, 2002. — 88 с.
3. *Бажанов С. А.* Перспективы использования инфракрасной диагностики в энергетике // Энергетик. — № 8. — С. 8–9.
4. *Мешков С. Н., Мельник С. И., Кухарев Ю. А.* Перспективы применения теплового контроля в энергосберегающих технологиях // Вест. Харьков. нац. ун-та. — № 2. — 2000. — С. 45–46.
5. *Власов А. Б., Джура А. В.* Результаты многолетнего использования тепловизора для контроля состояния электрооборудования в Колэнерго // Электрич. станции. — 1996. — № 8. — С. 61–63.
6. *Стороженко В. А., Мешков С. Н., Криворучко В. И., Силин А. А.* Термография: мировой опыт и пути развития в Украине // Мат. Третьей Укр. науч.-техн. конф. «Неруйнівний контроль та технічна діагностика 2000». — Днепропетровск. — С. 30–34.
7. *Мешков С. Н., Мельник С. И., Ефременко В. Г.* Компьютерная обработка термографической информации для диагностики теплоэнергетического оборудования // Сб. науч. тр. по мат. 4-й Междунар. конф. «Теория и техника передачи, приема и обработки информации» («Новые информационные технологии»). — Харьков. — 1998. — С. 446–447.
8. *Стороженко В. А., Хорло Н. Ф., Мешков С. Н.* Определение эксплуатационных характеристик энергетического оборудования термографическим методом // Информ. мат. семинара-выставки «Современные технологии и приборы неразрушающего контроля и технической диагностики». — Харьков. — 2003. — С. 23–26.

Харьков. ин-т техн. электроники

Поступила в редакцию
25.05.2005



УКРАИНСКОЕ ОБЩЕСТВО НЕРАЗРУШАЮЩЕГО
КОНТРОЛЯ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ
НПФ «ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ»
НПФ «УЛЬТРАКОН»
УКРАИНСКИЙ ИНФОРМАЦИОННЫЙ ЦЕНТР
«НАУКА.ТЕХНИКА.ТЕХНОЛОГИЯ»



**с 7 мая по 14 мая 2006 г. в г. Кемер (Турция)
проводят 4-ю Научно-практическую конференцию**

«Организация неразрушающего контроля качества продукции в промышленности»

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

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

Тематика конференции

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

Для включения доклада в программу конференции и регистрации участников необходимо до 1 марта 2006 г. выслать тезисы доклада объемом до 1 печатной стр. и заявку по адресу:
НПФ «Диагностические приборы», 04050, г. Киев, а/я 50 или E-mail: kozin@ndt-ua.com.

Для докладчиков и сопровождающих лиц предусмотрена скидка.

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

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



РАЗВИТИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ: ИВАНО-ФРАНКОВСКАЯ ШКОЛА

В. А. ТРОИЦКИЙ, О. М. КАРПАШ, П. Я. КРИНИЧНЫЙ

Показана история развития ультразвукового контроля в нефтегазовой отрасли. Подведен научный итог 40-летней деятельности Ивано-Франковской школы неразрушающего контроля, который в первую очередь заключается в создании нового научно-технического направления — неразрушающего контроля оборудования нефтегазового комплекса ультразвуковыми методами.

History of development of ultrasonic testing in oil and gas industry is shown. The paper sums up the scientific results of 40 years of activity of Ivano-Frankivsk NDT school, which primarily consist in establishing a new field of science and technology, namely NDT of oil and gas industry equipment by UT.

Государственная политика Украины, особенно в последнее время, четко ориентирована на снижение энергозависимости страны и развитие собственной энергетической базы. В связи с этим все большее внимание уделяется увеличению объемов разведки и добычи нефти и газа, развитию топливно-энергетического комплекса. Национальные и отраслевые программы в среднесрочной перспективе предусматривают значительное увеличение количества и темпов сооружения нефтяных и газовых скважин при оптимальной себестоимости и соблюдении требований экологической безопасности. Успешное достижение этих целей невозможно без комплекса мероприятий по эффективному использованию нефтегазопромыслового оборудования и инструмента, особенно предназначенного для длительной эксплуатации.

Следует отметить, что эта проблема возникла еще в 1960–1970 гг. В то время стремительно росли объемы добычи нефти и газа, резко увеличивались объемы глубокого бурения, в том числе и в Украине. В результате средняя глубина скважин достигла 5000 м, и это стало отрицательно сказываться на эффективности бурения — уменьшалась коммерческая скорость, возросла стоимость метра проходки и количество отказов трубных колонн.

Разрушение элементов бурильной колонны носило в основном усталостный характер, происходило преимущественно в резьбовых соединениях и составляло до 80 % от общего количества отказов бурильных колонн.

Известно, что одним из наиболее эффективных способов предупреждения отказов и поддержания работоспособности оборудования в процессе эксплуатации является контроль его технического состояния неразрушающими методами с последующим изъятием дефектных элементов.

Один из основных методов неразрушающего контроля (НК) метод УЗ дефектоскопии — был впервые предложен в 1928 г. советским ученым С. Я. Соколовым. Им же был создан первый им-

пульсный дефектоскоп, работавший по методу звуковой тени. В дальнейшее развитие теории и практическую реализацию методов ультразвуковой дефектоскопии большой вклад внесли как советские (И. Н. Ермолов, А. К. Гурвич), так и зарубежные (И. Крауткремер, И. Матаушек) ученые. Их основные усилия были направлены на освоение изделий сравнительно простой формы, как правило, с плоскими параллельными поверхностями. В частности, была хорошо проработана теория импульсного эхо-метода УЗ дефектоскопии для полубесконечной среды. Что же касается изделий более сложной формы, особенно ограниченных поверхностями разной кривизны, то здесь возникали проблемы: сложность распространения ультразвуковых колебаний требовала новых методик контроля и интерпретации результатов.

В нефтегазовой отрасли это направление возникло в начале 1960-х годов [1]. В США и других зарубежных странах тогда уже использовали разнообразные дефектоскопические установки, основанные преимущественно на электромагнитных методах. Эти установки позволяли контролировать и классифицировать бурильные трубы, находившиеся в эксплуатации. Расходы американских компаний на службы технического контроля резко возросли и составляли 26...60 % от общей стоимости бурения, но при этом почти полностью исключались аварии по причине отказов бурильных труб. Характерно, что НК проводили фирмы, разрабатывавшие технические средства — «А.М.Ф. Тюбоскоп» (Tuboscope), Ветко (Vetco) и Дрилко (Drilko). Самые авторитетные из них выпускали передвижные установки («Соноскоп» (Sonoscope), Веткоскоп (Vetcoscope) и Дрилкоскоп (Drilkoscope)) для НК стальных бурильных труб, бывших в эксплуатации, в полевых условиях. Общим для этих установок было использование магнитных и электромагнитных методов, причем исключительно для контроля гладкой части (тела) труб. Концы труб контролировали изнутри с помощью специ-



альных средств. Замковую и трубную резьбу контролировали (люминесцентным или магнитопорошковым методом) только после их развинчивания. Проконтролировать свинченное соединение неразрушающими методами было невозможно.

Таким образом, эти средства нельзя было считать достаточно специализированными, они не были предназначены и не позволяли проводить контроль бурильных труб непосредственно на буровой, над устьем скважины. Не были эти вопросы достаточно освещены и в специальной литературе.

В нефтегазовой промышленности СССР тогда тоже еще не существовало специализированных технических средств для дефектоскопии бурильных труб непосредственно на буровых и в условиях трубных баз. Отдельные попытки проводить УЗ дефектоскопию труб в полевых условиях (в объединениях «Башнефть», «Куйбышевнефть») оказались неудачными из-за несовершенства методик и технических средств, использованных без проведения серьезных научных исследований. Тогда Миннефтепром СССР объявил конкурс на разработку методов и средств обнаружения дефектов в элементах трубных колонн, в том числе в их резьбовых соединениях. Необходимо было разработать специализированные средства, которые позволяли бы выявлять коррозионно-усталостные трещины глубиной от 0,5 до 1,0 мм в свинченных резьбовых соединениях бурильных труб. Задача была чрезвычайно сложной даже в теоретическом плане, так как размеры дефекта были соизмеримы с уровнем помех (высота профиля резьбы составляла 1,8 мм).

Самое эффективное решение этой задачи было предложено группой научных работников (Криничный П. Я., Мигаль И. Г., Бажалук Я. М., Карпаш О. М., Чистяков В. И., Собашко В. Я. и др.) Центральной научно-исследовательской лаборатории (ЦНИЛ) объединения «Укрнефть» (г. Ивано-Франковск) и Ивано-Франковского отдела института ВНИИТнефть (г. Куйбышев). Они впервые теоретически обосновали и практически доказали возможность применения акустического (ультразвукового) метода для обнаружения коррозионно-усталостных трещин на ранней стадии их развития [2]. Прежде всего, были установлены причины отказов бурильных труб, исследованы закономерности роста трещин и распространения УЗ колебаний в участках труб с конической резьбой. В результате этих исследований был теоретически обоснован и запатентован способ повышения чувствительности УЗ контроля, который обеспечивал надежное обнаружение усталостных трещин на ранней стадии их развития благодаря увеличению амплитуды эхо-сигнала в 1,9... 2,7 раза [3]. Таким образом, впервые в мире удалось осуществить дефектоскопию собранных резьбовых соединений трубных колонн. Для этого был предложен УЗ метод, который был и до сегодняшнего дня остается единственным методом НК, дающим возможность контролировать свинченные резьбовые соединения трубных колонн.

Результаты этих исследований были положены в основу разработки первой передвижной дефек-

тоскопической установки ПДУ-1М, позволившей контролировать резьбовые соединения бурильных труб как в условиях трубных и ремонтных баз, так и непосредственно на буровой над устьем скважины во время спускоподъемных операций. При ЦНИЛ было организовано производство этих лабораторий, и несколько лет спустя они уже использовались во всех нефтегазодобывающих объединениях Советского Союза.

Одновременно создавались и первые службы НК при буровых предприятиях. Персонал этих служб проходил при ЦНИЛ теоретическую и практическую подготовку и получал право проведения НК на установке ПДУ-1М. Всего за 1969–1974 гг. при ЦНИЛ были подготовлены 159 специалистов для всех нефтегазодобывающих объединений СССР. В дальнейшем (с 1975 г.) их подготовка и переподготовка планомерно осуществлялась через факультет повышения квалификации Ивано-Франковского института нефти и газа.

Это был первый пример комплексного подхода к обеспечению качества НК, включающего проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, создание и внедрение в производство технических средств и подготовку персонала для грамотной эксплуатации этих средств.

Последующее развитие работ в этом направлении обеспечивалось выполнением заданий государственных, отраслевых и межвузовских научно-технических программ, утвержденных Государственным Комитетом СССР по науке и технике, Миннефтепромом, Мингазпромом, Мингео, Минприбором, Минхиммашем, Минвузом и др.

Исследования в области УЗ контроля качества труб нефтяного сортамента, начатые в свое время в ЦНИЛ объединения «Укрнефть» и Ивано-Франковском отделе института ВНИИТнефть (1975 г.), продолжили Ивано-Франковский институт (сейчас — национальный технический университет) нефти и газа, Специальное конструкторско-технологическое бюро «Недра» этого института (1981 г.), а впоследствии — Научно-производственная фирма «Зонд», созданная в 1990 г. на базе отдела неразрушающего контроля СКТБ «Недра». Как следствие, были разработаны и ратифицированы специализированные технические средства для УЗ дефектоскопии алюминиевых, ведущих и утяжеленных бурильных труб, позволявшие обнаруживать усталостные трещины и другие дефекты в резьбовых соединениях непосредственно на буровой в процессе спускоподъемных операций. Был изобретен и запатентован способ дефектоскопии резьбы ниппельной части толстостенных (утяжеленных) бурильных труб, который решал проблему затухания УЗ колебаний в толще металла [4, 5].

Кроме этого, были созданы методики рационального использования разработанных технических средств во время бурения скважин с целью предупреждения усталостных разрушений труб и сокращения вызванных ими аварий и осложнений.

Смещение акцентов с выявления уже существующих дефектов на их предупреждение обусловило возникновение новой задачи — обеспечить



отработку трубными колоннами своего полного ресурса — и потребовало новых подходов к проведению контроля. Поскольку для предупреждения аварий с трубными колоннами информации об отсутствии дефектов типа нарушения сплошности оказалось недостаточно, понадобились дополнительные данные о соответствии геометрических и физико-механических характеристик нормируемым значениям.

Именно тогда впервые были исследованы способы контроля геометрических характеристик (толщины стенки, внутреннего и внешнего износа, отклонения диаметра и т. п.) и разработаны технические средства для их контроля путем непрерывного сканирования. Первым был УЗ толщиномер «Эхо-1Т» для непрерывного измерения толщины стенки всех типоразмеров бурильных труб непосредственно над устьем скважины в процессе спуска или подъема колонны [6]. Прибор обеспечивал автоматическую регистрацию результатов измерений и сигнализацию при выходе толщины стенки за пределы установленного минусового допуска. На базе этого толщиномера был создан классификатор бурильных труб КБТ-1М, предназначенный для работы как в условиях трубных баз или площадок, так и на буровой в процессе спускоподъемных операций. С помощью классификатора можно автоматически определить минимальное значение площади поперечного сечения трубы, вычислить наибольшую допустимую нагрузку на колонну и определить класс трубы в соответствии с существующей системой классификации [7].

Использование этих средств только на предприятиях объединения «Укрнефть» позволило за период 1970–1977 гг. довести объем контроля бурильных труб в условиях буровой до 1 млн. погонных метров в год (т. е. 80 % имеющегося в то время парка). В итоге резко сократилось количество аварий с бурильными трубами, в среднем на 20 000 ч уменьшилось непродуктивное время буровых установок, годовой экономический эффект превысил 900 тыс. руб.

Обобщение результатов теоретических и экспериментальных исследований, в т. ч. касающихся аварийности с бурильными трубами, стало основой для разработки рекомендаций по периодичности контроля бурильных колонн в зависимости от конкретных условий проводки скважины.

Полученные результаты и накопленный опыт дали возможность впервые предложить, нормативно урегулировать и внедрить в системе Мингазпрома СССР общую концепцию УР, которая, кроме технического (стационарные, передвижные на шасси автомобилей высокой проходимости, переносные дефектоскопические установки для использования в условиях отдаленных буровых или в условиях морского бурения) предусматривала также методическое, организационное и кадровое обеспечение.

На уровне отрасли был внедрен комплекс нормативных документов [8, 9], которые регламентировали организацию деятельности и процедуры в сфере НК контроля. Последующее развитие этой

концепции было предусмотрено совместной (Мингазпрома и Минвуза УССР) Отраслевой научно-технической программой на 1984–1990 гг.

Дальнейшее развитие нефтегазодобычи сопровождалось все большим количеством технических, экологических и экономических проблем, в большинстве своем связанных с трубами. Поэтому в конце 60-х годов и в нашей стране, и за рубежом начали выпускать трубы нефтяного сортамента новых конструкций с высокопрочными и высокогерметичными резьбовыми соединениями (у нас — бурильные ВК, ПК, обсадные ОТТМ, ОТТГ, насосно-компрессорные НКМ, НКБ; за рубежом — «Батресс», «Валурек», ВАМ, ТДС и др.). Теоретические расчеты, экспериментальные данные и результаты промышленных испытаний опытных комплектов таких труб показали, что при соблюдении всех технологических требований возникновения эксплуатационных дефектов в резьбовых соединениях таких труб практически исключается. Однако уже в первые годы эксплуатации этих труб число отказов резьбовых соединений опять возросло, и причиной этого было ненадлежащее качество свинчивания резьбовых соединений.

Начало исследованиям в этом направлении практически было положено в СКТБ «Недра» при Ивано-Франковском институте нефти и газа и впоследствии продолжено в НПФ «Зонд». Здесь впервые был предложен и реализован новый подход к оценке качества резьбовых соединений на разных этапах их эксплуатации. Суть его сводилась не столько к выявлению дефектов типа нарушения сплошности (в т. ч. коррозионно-усталостных трещин), сколько к измерению параметров, влияющих на их возникновение и определяющих эксплуатационные характеристики соединения — прочность и герметичность [10]. Таким образом, решалась еще одна проблема — контроля качества соединения на разных стадиях жизненного цикла [11]. Периодический контроль качества соединения в процессе его эксплуатации давал возможность определять тенденции изменения его технического состояния и тем самым предотвращать отказы.

Технически эти подходы впервые были реализованы при контроле качества резьбовых соединений (бурильных труб ВК ГОСТ 631–75 с коническими стабилизирующими поясами и утяжеленных бурильных труб — УБТ) и обеспечивали измерение диаметрального (трубы ВК) и осевого (УБТ) натяга резьбового соединения УЗ методом.

С 1990 г. работы по НК контролю труб нефтяного сортамента продолжают в основном в НПФ «Зонд» [12–16]. Новым этапом стали исследования в области контроля прочности и герметичности резьбовых соединений новых конструкций с целью выявления новых диагностических параметров. На основе установленных зависимостей между степенью напряженности свинченного соединения и его акустическими характеристиками были разработаны способы контроля герметичности резьбовых соединений УЗ методами.

В дальнейшем исследования Ивано-Франковской школы НК распространились на буровые



вышки, фонтанные арматуры, грузоподъемные механизмы, трубопроводы и другие объекты нефтегазового комплекса [17–32].

С 1991 г. Ивано-Франковский университет нефти и газа готовит специалистов по специальности «Приборы и системы неразрушающего контроля», в 2004 г. открыта новая специализация – «Техническая диагностика металлоконструкций».

Этот краткий обзор показывает, что вклад Ивано-Франковской школы в становление и развитие УЗ контроля в нефтегазовой отрасли является достаточно весомым. Именно здесь впервые поставлена и комплексно решена чрезвычайно важная для отрасли и для государства в целом научно-практическая проблема – обеспечение эксплуатационной надежности нефтегазопромыслового инструмента и оборудования, причем охвачен весь цикл – от теоретических исследований и научного обоснования путей решения проблемы к серийному производству и внедрению конкурентоспособных технических средств и технологий НК, регламентации связанных с ними процедур и организационных мероприятий, в частности, по подготовке кадров, сертификации оборудования и т. п.

Основной научный итог 40-летней деятельности Ивано-Франковской школы НК в первую очередь состоит в создании нового научно-технического направления – НК оборудования нефтегазового комплекса УЗ методами. В пределах этого направления Ивано-Франковскими учеными впервые:

установлены преобладающие причины отказов трубных колонн, исследованы закономерности развития усталостных повреждений и, как следствие, установлены критерии отбраковки для всех типовых размеров труб нефтяного сортамента [2, 19];

изобретены способы контроля элементов свинчатых резьбовых соединений трубных колонн – УЗ методом. Этот метод и до сих пор остается единственно возможным для контроля свинчатых элементов [2];

научно обоснованы параметры резьбовых соединений, несоответствие которых регламентированным значением вызывает усталостные повреждения [10];

предложены новые диагностические параметры, давшие возможность оценивать качество резьбового соединения после его свинчивания и в процессе эксплуатации [12, 14];

обосновано использование УЗ метода для измерения показателей, характеризующих эти новые диагностические параметры [11, 12];

установлен характер взаимосвязи между эксплуатационными характеристиками резьбовых соединений и параметрами УЗ метода контроля,

разработаны способы УЗ контроля резьбовых соединений, которые обеспечивают не только выявление уже существующих дефектов, но и измерение тех параметров резьбовых соединений, которые определяют его эксплуатационные характеристики (прочность и герметичность);

разработаны способы измерения геометрических характеристик оборудования методом непре-

рывного сканирования (аналогов не существует до настоящего времени);

разработаны способы и методики идентификации оборудования в соответствии с его физико-механическими свойствами [13];

разработаны методики определения оптимальной периодичности проведения НК [8, 19];

предложена и нормативно (на уровне нефтегазовой отрасли) обеспечена общая концепция развития НК, которая, кроме технического, предусматривала также методическое, организационное и кадровое обеспечение;

последующее развитие получили методы оценки фактического технического состояния и прогнозирования технического ресурса оборудования.

Результаты научных исследований прошли экспериментальную апробацию и реализованы в технических средствах и технологиях НК и технической диагностики (ТД), внедренных практически во всех нефтегазодобывающих регионах бывшего СССР и более чем в десятке стран дальнего зарубежья. Найденные технические решения защищены более чем 100 авторскими свидетельствами СССР, патентами Украины, России, Германии, Великобритании, Франции, освещены в почти 500 публикациях в периодических научных изданиях, материалах всесоюзных, международных и отечественных конференций.

Сегодняшние патентно-лицензионные и конъюнктурные исследования свидетельствуют, что технико-экономические показатели разработанных средств и технологий и до сих пор соответствуют уровню лучших зарубежных аналогов, а по некоторым показателям – превосходят их.

Об актуальности решаемых задач и их межотраслевой значимости свидетельствует то, что они были отнесены к приоритетным направлениям развития науки и техники еще в Советском Союзе, а теперь считаются таковыми в Украине. В частности, специалисты Ивано-Франковской школы НК принимали участие в выполнении заданий Отраслевых научно-технических программ Госнефтегазпрома на 1997–2001 гг. и на 2004–2008 гг. «Создание, освоение серийного выпуска и внедрение в производство комплекса технических средств и технологий НК и ТД трубных колонн, бурового и нефтегазопромышленного оборудования и инструмента при разработке нефтегазовых месторождений на суше и в морских акваториях», работали над заданиями Государственных программ развития приоритетных направлений науки и техники (04.03 «Повышение надежности и долговечности машин и конструкций», 05.53 «Поиск и добыча минерально-сырьевых ресурсов и их комплексная переработка»), задействованы в выполнении Государственной программы развития работ по добыче нефти и газа в украинском шельфе Азовского и Черного морей и Национальной программы «Нефть и газ Украины» до 2010 г. и др.

Внедрение научно-практических результатов Ивано-Франковской школы НК безусловно способствует значительному укреплению и международному признанию авторитета украинской науки.



1. Мигаль И. Г., Криничный П. Я. Использование ультразвука для дефектоскопии бурильного оборудования // Сб. «Вопросы прикладной акустики и вибрационной техники» АН УССР. — Киев: Наук. думка, 1966.
2. Мигаль И. Г. Исследование и разработка технических средств обнаружения дефектов в резьбовых соединениях бурильных труб при освоении глубоких скважин // Диссерт. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. — М.: ВНИИБТ, 1980. — 24 с.
3. А. с. № 261758. Способ повышения чувствительности контроля при ультразвуковой дефектоскопии // И. Г. Мигаль, П. Я. Криничный, В. И. Чистяков, В. Я. Собашко. — БИ № 5, 1970.
4. А. с. № 1792530. Способ ультразвукового контроля конических резьбовых соединений с упорными уступами // О. М. Карпаш, Я. М. Зинчак, П. Я. Криничный и др. — БИ № 4, 1993.
5. Криничный П. Я., Карпаш О. М., Кийко Л. М. Ультразвуковая дефектоскопия рёзевих з'єднань обважнених бурильних труб у зібраному стані // Наук.-техн. журн. «Методи і прилади контролю якості». — Івано-Франківськ: ФНТУНГ, 2000. — № 6.
6. Криничный П. Я., Чистяков В. И., Третьяк Г. М., Семенов Г. Н. Ультразвуковой импульсный толщиномер «ЭХО-1М» для непрерывного контроля толщины стенки нефтепромысловых труб // РНТС «Автоматизация и телемеханизация нефтяной промышленности». — Москва: ВНИИОЭНГ, 1978. — № 4.
7. Криничный П. Я., Чистяков В. И., Семенов Г. Н. Ультразвуковой классификатор бурильных труб КБТ-1 по степени износа толщины стенки // Дефектоскопия. — 1985. — № 11.
8. РД 51-01-15-86. Руководящий нормативный документ. Инструкция по проведению неразрушающего контроля труб нефтяного сортамента в условиях глубокого наклонно-направленного бурения / И. Г. Мигаль, О. М. Карпаш, Я. М. Бажалук, Я. М. Зинчак и др. — М.: Мингазпром, 1986. — 71 с.
9. РД 51-01-24-86. Руководящий нормативный документ. Типовое положение о службе неразрушающего контроля бурового предприятия в системе Министерства газовой промышленности / И. Г. Мигаль, О. М. Карпаш, Ф. И. Турко, Я. Б. Даниляк и др. — М.: Мингазпром, 1986. — 23 с.
10. Карпаш О. М. Повышение работоспособности бурильных труб с коническими стабилизирующими поясами / Дисс. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. — М., 1983.
11. Зинчак Я. М. Совершенствование технических средств обеспечения работоспособности соединительных элементов трубных колонн в условиях эксплуатации / Дисс. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. — М., 1993.
12. Карпаш О. М. Методи та засоби забезпечення роботоздатності трубних колонн / Дис. на здоб. наук. ступ. докт. техн. наук. — Івано-Франківськ, 1996.
13. Молодецкий И. А. Розробка технології та технічних засобів неруйнівного контролю фізико-механічних характеристик нафтогазового обладнання та інструменту // Дис. на здоб. наук. ступ. канд. техн. наук. — Івано-Франківськ, 1999.
14. Кийко Л. М. Методи й засоби контролю рёзевових з'єднань трубних колонн // Дис. на здоб. наук. ступ. канд. техн. наук. — Івано-Франківськ, 2002.
15. Козоріз А. В. Розробка установки автоматизованого контролю якості обсадних труб // Дис. на здоб. наук. ступ. канд. техн. наук. — Івано-Франківськ, 2003.
16. Вісков О. В. Підвищення вірогідності та інформативності акустичного контролю трубних виробів // Дис. на здоб. наук. ступ. канд. техн. наук. — Івано-Франківськ, 2003.
17. Векерик В. В. Акустичний контроль геометричних параметрів обсадних колонн в свердловині // Дис. на здоб. наук. ступ. канд. техн. наук. — Івано-Франківськ, 2004.
18. Кононенко М. А. Розробка методів та засобів контролю якості теплоізоляції холодильного обладнання // Дис. на здоб. наук. ступ. канд. техн. наук. — Івано-Франківськ, 1998.
19. Луценко Г. Г. Удосконалення засобів та методів акустичного контролю металоконструкцій // Дис. на здоб. наук. ступ. канд. техн. наук. — Івано-Франківськ, 2005.
20. ГСТУ-320.02829777.001-95. Положення про службу неруйнівного контролю в нафтовій і газовій галузях.
21. ГСТУ-320.02829777.002-95. Інструкція по проведенню неруйнівного контролю нарізних труб нафтового сортаменту в процесі їх експлуатації.
22. ГСТУ-320.02829777.014-99. Неруйнівний контроль та оцінка технічного стану металоконструкцій бурових веж в розібраному і зібраному стані.
23. ГСТУ-320.02829777.013-99. Рекомендації по проведенню неруйнівного контролю бурового обладнання.
24. СТП 320.00135390.067-2002. Оцінка технічного стану вежових підйомників для збирання баштових веж (ПВК-1, ПВУ-35, ПВ2-45, ПВ5-60, ПВЛ) та механізмів підймання шоглових веж (МПВ, МПВА).
25. СТП 320.00135390.068-2002. Оцінка фактичного технічного стану основ бурових веж.
26. СТП 320.00135390.069-2002. Методика технічного діагностування для продовження терміну експлуатації відмортованого обладнання для видобутку нафти і газу.
27. СТП 320.00135390.070-2002. Методика технічного діагностування для продовження терміну експлуатації технологічного транспорту і спецтехніки.
28. СТП 320.00135390.071-2002. Методика технічного діагностування для продовження терміну експлуатації відмортованого обладнання для ремонту свердловин.
29. СОУ 11.1-20077720.003-2004. Арматура фонтанна та голівки колонні. Контроль технічного стану. Методи неруйнівні.
30. СОУ 60.3-30019801-007-2004. Магістральні газопроводи. Неруйнівний контроль при капітальному ремонті.
31. СОУ 11.2-30019775-044-2005. Засоби для капітального ремонту свердловин. Підймальне обладнання. Вежі та лебідки. Контроль технічного стану.
32. СОУ 11.2-30019775-053-2005. Засоби для капітального ремонту свердловин. Обладнання та інструмент. Контроль технічного стану.

Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, Киев
 Ив.-Франк. нац. техн. ун-т нефти и газа
 Науч.-произв. фирма «Зонд», Ивано-Франковск

Поступила в редакцию
 15.09.2005

УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!

Приглашаем Вас разместить рекламную информацию (ч/б или в цвете) в журнале «Техническая диагностика и неразрушающий контроль» в 2006 г.

Редакция журнала принимает активное участие в конференциях по НК и специализированных выставках в качестве отдельного экспонента и распространяет дополнительные тиражи среди участников и посетителей конференций и выставок.

Будем рады Вашим предложениям.

Дополнительную информацию можно получить
 по тел.: (044) 271-23-90, 529-26-23; E-mail: journal@paton.kiev.ua



КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ АНАЛОГОВОГО ТРАКТА ПРИБОРА АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ

В. Р. СКАЛЬСКИЙ, Б. О. ОЛИЯРНИК, Р. М. ПЛАХТИЙ, Р. И. СУЛЫМ

Рассматривается концепция построения аналогового тракта восьмиканального портативного акустико-эмиссионного прибора на современной элементной базе и схемотехнических решениях. Описаны принципиальные электрические схемы и основные узлы аналоговой части прибора: предварительного усилителя, фильтров низкой и высокой частот, усилителя с программируемым коэффициентом усиления, масштабного усилителя, коммутатора аналого-цифрового преобразователя и т. п. Предусмотрено совмещение его портативных узлов и блоков с ПК типа Note Book.

A concept of construction of an analog circuit of an eight-channel portable acoustic-emission instrument using modern components and circuit designs is considered. Elementary diagrams and the main components of the instrument analog part are described, namely pre-amplifier, low and high-frequency filters, amplifier with a programmed gain; scale amplifier, A/D converter switching unit, etc. Interfacing of its portable modules and blocks with a notebook type PC is envisaged.

Актуальность проблемы. Аппаратурная база средств для АЭ исследований отмечается большим количеством модификаций приборов [1–3]. Большую часть их составляют дорогие и крупногабаритные АЭ комплексы и аппаратура для лабораторных исследований. Особенностью аппаратуры является универсальность ее применения, возможность проведения диагностики сложных конструкций, изделий и объектов, технологических процессов производства и т. п. Она также обеспечивает отбор АЭ информации как по одному АЭ тракту отбора и обработки, так и по нескольким каналам одновременно. Однако, в своем большинстве аппаратурные средства уже физически и морально устарели. Поэтому актуальность проблемы аппаратурного обеспечения для проведения неразрушающего контроля (НК) материалов и изделий, а также их технического диагностирования состоит в обеспечении потребностей сферы современного производства портативной аппаратурой, которую можно было бы использовать как в качестве контрольного или индикаторного средства в технологическом процессе производителей, так и для контроля крупногабаритных объектов длительной эксплуатации.

Состояние проблемы. Все известные в литературе разработки АЭ средств можно классифицировать по таким группам [2]: для комплексных исследований, специализированного назначения, для контроля состояния крупногабаритных объектов и портативные одно- и многоканальные.

Средства для комплексных исследований, предназначенные для приема сигналов АЭ во время развития дефектов, которые возникают в материалах, изделиях и конструкциях, как правило, оснащены устройствами, которые способны выделять сигналы на фоне шумов и помех. Они позволяют оценивать разнообразные параметры АЭ излучения и определять состояние контролируемого объекта. Представителями такого класса при-

боров являются АФ-11, АФ-15, АП-51 ЭМ, «Малахит-АЭ-1А», АВН-3 комплексная система АП-ЗЗЭ-УКД-44Э и т. п.

Из АЭ аппаратуры этой группы следует также отметить систему SIMS серии 3000 фирмы «Dugan/Endevco» (США), модель 920 той же серии, которые разрешают проводить многопараметрические исследования сигналов АЭ во время разнообразных испытаний образцов и конструкций. Для решения разных исследовательских задач могут быть использованы системы серии 9500 фирмы CGR (Франция), серии 7500 фирмы «Tгодуне» (США), а также прибор модели 4300 фирмы PАС (США).

Средства специализированного назначения разрабатывались большей частью для решения конкретных задач НК для отбраковывания изделий во время их механических испытаний; для регистрации по сигналам АЭ момента возникновения в конструкционных машиностроительных материалах напряжений, которые отвечают физическому пределу текучести; для оценки пластически деформированного объема материала; для исследования явления коррозии под напряжением; для регистрации и анализа сигналов АЭ во время трения твердых тел и т.п. Из этого класса приборов можно выделить РПТ-2А, АЭРКТ-8, РИФ, «Сигнал-5», ДСС-5АЭ, АКТ-1, АЭ-система ДСП-5, «Эхо» и прочие.

Существуют специальные разработки приборов для контроля качества сварных соединений: АР-КС-3, КМС-М207, приборы серии 2200 фирмы PАС (США), ИРТ-2, 4ИРДС-2 и другие.

Система «Малахит АЭ-2Б» применяется для отбраковочного контроля изделий с линейной локацией дефектов, а «Малахит-АЭ-4А» — для непрерывного контроля отдельных участков изделий. Известны также приборы типа FRP-1 фирмы PАС, предназначенные для регистрации сигналов АЭ во время испытаний изделий из стеклопластика



и типа 6120, способные контролировать состояние и прогнозировать срок службы подшипников скольжения. В строительной индустрии используется прибор ИИАЭ-3А для регистрации АЭ во время определения физико-механических свойств пористых композитных материалов (бетонов, растворов, керамических изделий, порошковых материалов и т. п.).

Известный ряд АЭ приборов, предназначенных для контроля состояния горных массивов, стабильности выработок, прогнозирования горных ударов. К ним относятся, в частности, «Прогноз-1» и «Прогноз-М», которые разрешают осуществлять контроль напряженно-деформированного состояния участков горных пород, оценивать степень их нестабильности.

Средства АЭ контроля крупногабаритных объектов разрешают определять местонахождение дефектов, которые развиваются. Знание координат источников АЭ дает возможность оценивать распределение дефектов в границах зоны контроля и с учетом энергетических параметров излучения оценить степень опасности повреждений. Такие АЭ системы служат для выявления опасности появления и накопления дефектов, определения местоположения источников АЭ и в качестве систем превентивного контроля аварийных ситуаций ответственных сооружений. К приборам и системам этой группы относятся АЭ комплексы АФ-32, АФ-33 и АФ-34, АМУР-6, «Малахит-АЭ-5Б», САКС, МАРС, а также «Locamat» и «Locarag-4» фирмы CGR, система 1032 фирмы «Dunegan/Endevco» и серии 3000 фирмы PAC.

Системы для АЭ контроля крупногабаритных объектов являются, как правило, многоканальными. Число каналов определяет количество первичных преобразователей АЭ (ПАЭ), которые можно объединять в антенны или розетки, наиболее часто по четыре в каждой. При сетевом расположении ПАЭ на объекте контроля число каналов определяется схемой их коммутации. В группе многоканальных систем можно выделить приборы для проверки акустически не связанных объектов. Среди них есть устройства с автоматической коммутацией каналов. Они поочередно подключаются к общей системе обработки сигналов. Тогда уменьшается объем аппаратного комплекса, но вместе с тем теряется часть информации.

Чтобы повысить достоверность АЭ контроля, разработаны системы с коммутаторами, которые работают в режиме ожидания. Они разрешают подключать канал к системе обработки лишь в случае появления на входном тракте сигнала АЭ или если параметр, который регистрируется, достигает определенного значения. Так, в приборе «Малахит-АЭ-4А» подключение одного из восьми каналов к системе сбора информации происходит по определенному уровню активности в измерительном тракте. Потери информации при этом снижаются, однако при большой активности АЭ возникает проблема выбора приоритета каждого канала. Подобных недостатков лишены системы с автономными параллельными измерительными трактами.

Во время проверки состояния больших объектов сложной конфигурации определение координат или зон расположения источников эмиссии выполняется разнообразными средствами. Наиболее распространенными из них является метод вычисления координат путем проведения триангуляционных расчетов и зонный метод определения места нахождения источников АЭ. Оба базируются на регистрации разности времен прихода сигналов АЭ, которые приняты группой ПАЭ. Подобные принципы реализованы в приборах и системах: АФ-32 — АФ-34, «Малахит-АЭ-5Б», «Малахит-АЭ-6Б», МАРС, САКС, система 1032 серии 3000 фирмы PAC, аппаратура модификаций «ЕМА», MISTRAS 2001, а также четырехканальных средствах АЭ контроля, которые имеют многофункциональное назначение [1, 2].

В Физико-механическом институте им. Г. В. Карпенко НАН Украины разработан ряд АЭ средств. Среди них одноканальный прибор для регистрации сигналов АЭ, который нашел свое применение в производственных условиях машиностроительного комплекса [4]. Он может служить также базовым прибором для обретения необходимых знаний и практических навыков студентами высших учебных учреждений, инженерно-техническим персоналом или научными сотрудниками во время разработки и освоения методик отбора и регистрации САЭ в процессе технической диагностики изделий. Портативный накопитель выборок сигналов АЭ SVR-6 [5] предназначен для регистрации сигналов АЭ по четырем каналам в лабораторных, производственных и полевых условиях исследования объектов контроля и передачи записанной (накопленной) информации в ПК по интерфейсу RS-232 для дальнейшей ее обработки или сохранения. Прибор обеспечивает отбор сигналов АЭ на фоне помех с помощью частотной и амплитудной селекции, выделение абсолютного значения максимальной амплитуды за время дискретизации, аналого-цифровое преобразование, временную привязку и сохранение выборок в энергонезависимом запоминающем устройстве. Для оперативного контроля имеется индикация усредненной частоты прохождения выборок, суммарного количества их накопления, времени испытания и объема свободной памяти.

Модернизированный портативный накопитель выборок сигналов АЭ СК-7 [6] обеспечивает выделение, отбор, первичную обработку и сохранение в Flash-памяти сигналов АЭ, их визуализацию, необходимую вторичную обработку переданных интерфейсом в персональный компьютер. Средства самоконтроля прибора обеспечивают тестирование памяти, звуковую индикацию ее переполнения, контроль качества фиксации ПАЭ, цифровую индикацию напряжения аккумуляторной батареи, визуальную индикацию его разрядки и автоматическое отключение при глубоком разряде. Программное обеспечение прибора СК-7 выполнено в диалоговом режиме в соответствии со стандартной технологией и работает в среде операционной системы Windows 95/98 и выше.

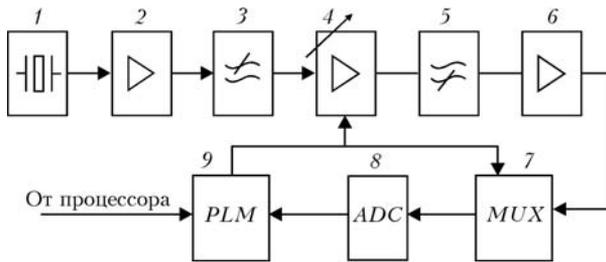


Рис. 1. Блок-схема аналоговой части прибора: 1 – ПАЭ; 2 – предварительный усилитель; 3 – фильтр низкой частоты (ФНЧ); 4 – усилитель с программируемым коэффициентом усиления; 5 – фильтр высокой частоты (ФВЧ); 6 – масштабный усилитель; 7 – коммутатор; 8 – аналогово-цифровой преобразователь (АЦП); 9 – программируемая логическая интегральная схема (ПЛИС)

Достижения в области аппаратного обеспечения проведения АЭ исследований представляют возможность обратить особое внимание на интеллектуальные системы обработки сигналов АЭ [7], которые построены на применении нейроподобных процедур для их анализа. Такие процедуры используют набор определенных сигналов АЭ, которые обучают развитие памяти, которая дальше может использоваться для получения информации о неизвестном источнике. Большинство используемых сейчас нейронных сетей представляют собой сети с прямой связью, для которых входные данные необходимо предварительно обрабатывать. Автоассоциативные сети эффективны во время решения прямых и обратных, линейных и нелинейных задач. В работе [7] продемонстрирован способ обработки сигнала, алгоритм программирования, имеющий высокое быстродействие, нечувствительный к шумам. Необходимо подчеркнуть, что не во всех случаях применения АЭ нужны полные возможности нейроподобных систем. Показаны ситуации, когда детальный характер САЭ не имеет значения или же оценивается всего один параметр.

Цель работы – разработать аналоговую часть АЭ тракта восьмиканального портативного прибора АЭ.

Результаты разработки. В основу разработки восьми канального прибора АЭ положены полученные экспериментальные результаты и практи-

ческие наработки, а также известные литературные данные. Концепция построения прибора показана на рис. 1. В момент прихода сигналов, превышающих установленный пороговый уровень шумов по любому из восьми каналов, начинается запись их в цифровом формате всеми каналами с временной привязкой в каждом. Семь каналов прибора оцифровывают только огибающую сигнала, а один – его волновое отображение. Полученная информация отображается на дисплее ПК в реальном масштабе времени.

Для усиления электрических сигналов ПАЭ разработан предварительный усилитель (ПУ), который устанавливается непосредственно возле ПАЭ. Он предназначен для формирования основной полосы пропускания и компенсации потерь сигнала в соединительных кабелях (рис. 2). В разработанном ПУ применяются операционные усилители (ОУ) фирмы «Analog Devices». Указанные ОУ отмечаются малой потребляемой мощностью при сохранении основных электрических параметров необходимых для работы с сигналами малого уровня. Такие усилители широко используются для изготовления активных фильтров и предварительных усилителей в прецизионном оборудовании с автономным питанием, в медицинской аппаратуре.

Основные электрические параметры ПУ

Диапазон напряжений питания, В	3...36
Выходной ток, мА	15
Максимальная рабочая частота, МГц	16
Температурный дрейф, В/С°	2
Максимальный входной ток, пА	25
Входное сопротивление, Ом	10 ¹³
Входная емкость, пФ	8
Уровень шумов, приведенный ко входу, нВ/√Гц	10

Для избежания перегрузок входных каскадов ПУ сигналами больших амплитуд на входе установлен симметричный диодный ограничитель с напряжением ограничения ±400 мВ. Первый каскад ПУ выполнен по схеме повторителя. Как известно, повторитель обладает большим входным и малым выходным сопротивлением и коэффициентом усиления, равным 1. Он служит для согласования большого сопротивления ПАЭ со входом усилителя. Второй каскад ПУ выполнен по схеме инвертирующего усилителя с коэффициентом усиления 40 дБ. Конденсаторы, установленные в цепях отрицательных обратных связей ОУ, служат для частотной коррекции характеристик ОУ. Питание ПУ осуществляется по кабелю через выходной разъем. Для частотной развязки полезного сигнала и постоянного напряжения питания служат источник тока в основном блоке и блокировочный конденсатор в ПУ. ОУ питается через транзисторный параметрический стабилизатор с напряжением стабилизации 5 В.

Формируются рабочие полосы частот фильтрами ФНЧ и ФВЧ. Они выполнены в виде активных фильтров Баттерворта 2-го порядка с переключаемой частотой среза. По сравнению

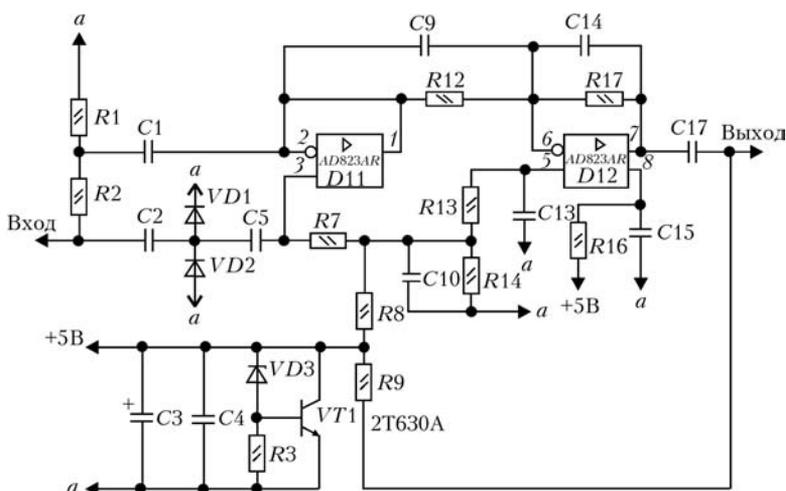


Рис. 2. Принципиальная электрическая схема ПУ (а – аналоговая земля)

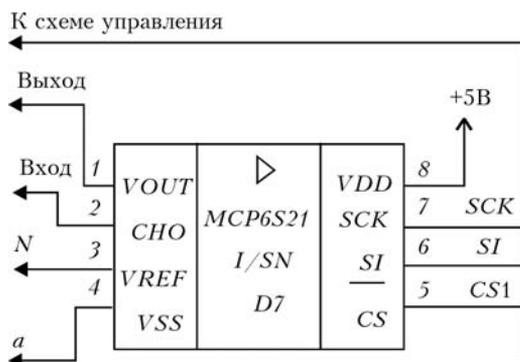


Рис. 3. Принципиальная электрическая схема усилителя с программируемым коэффициентом усиления (a — аналоговая земля; N — напряжение смещения)

с фильтрами Чебышева, Бесселя, Кауера и Кея, фильтр Баттерворта имеет наиболее плоскую характеристику в полосе пропускания, хотя и меньшую крутизну спада к полосе затухания. Но для дальнейшего преобразования полезного сигнала в цифровую форму и получения заданной точности преобразования, неравномерность характеристики в полосе пропускания выходит на первый план, поскольку исследуемый сигнал лежит в полосе пропускания, а не на спаде характеристики. Вот почему наиболее полезным в данном случае является применение фильтра Баттерворта.

Для выполнения фильтра ФНЧ использовали ОУ той же фирмы. Фильтр реализован в виде неинвертирующего усилителя напряжения с коэффициентом усиления 1,59. Частотную характеристику фильтра формируют резисторы и конденсаторы, включенные в цепь положительной обратной связи. Для коммутации частот среза используется быстродействующий коммутатор фирмы «Analog Devices», который к постоянно подключенной цепочке резисторов подключает одну или две дополнительных цепочки. Управление коммутатором осуществляется командами процессора по цифровой шине.

Фильтр ФВЧ выполнен аналогичным образом. Для коммутации частот среза коммутатор к постоянно подключенной цепочке конденсаторов подключает одну или две дополнительных цепочки. Управление коммутатором аналогично.

Для основного усиления полезного сигнала в полосе рабочих частот использовали усилители с программируемым коэффициентом усиления фирмы «Microchip» (рис. 3). Они не требуют внешней обвязки и обратных связей. Управление коэффициентом усиления происходит программно, командами процессора по последовательному интерфейсу SPI. Коэффициент усиления может принимать восемь фиксированных значений от 1 до 32. По последовательному интерфейсу может быть установлен режим энергосбережения на время, когда усилитель не используется.

Основные электрические параметры усилителя

Программируемые коэффициенты усиления+1, +2, +4,
+5, +8, +10,
+16, +32
Погрешность установленного коэффициента, %±1
Дрейф напряжения на выходе, мкВ±275
Максимальная рабочая частота, МГц12

Уровень шумов, приведенный ко входу, нВ/√Гц 10
Ток потребления, мА 1
Напряжение питания, В 2,5...5,5

Для защиты от перегрузки элементов схемы и переполнения АЦП в случае не прогнозируемого превышения уровня сигнала в действие вступает масштабный усилитель. Он выполнен по схеме инвертирующего усилителя с коэффициентом усиления 3. В цепь отрицательной обратной связи ОУ включен симметричный диодный ограничитель. Во время достижения входным сигналом уровня около 0,8 В, диоды начинают открываться, соответственно, коэффициент усиления уменьшается. При входном напряжении больше 1,2 В масштабный усилитель работает как повторитель. Далее сигнал АЭ подается на коммутатор.

В приборе используются быстродействующие коммутаторы фирмы «Analog Devices». Они изготовлены по перспективной субмикронной технологии, что разрешило существенно уменьшить размеры интегрированных элементов и связей между ними. В результате удалось уменьшить переходное сопротивление коммутатора и потребляемую мощность, а также увеличить его быстродействие. Коммутаторы совместимы как с ТТЛ, так и с КМОП логикой.

АЦП служит для преобразования входных аналоговых сигналов каждого канала в цифровой вид для дальнейшего сохранения в памяти. В приборе использован быстродействующий АЦП фирмы «Analog Devices». Это параллельный 12-тиразрядный АЦП конвейерного типа. Он состоит из четырех внутренних АЦП, каждый из которых формирует свою часть разрядов. Первый внутренний АЦП формирует четырех старших разряда, которые в свою очередь снова превращаются в аналоговую форму на ЦАП с внутренним усилителем и вычитаются из общего полного сигнала. Полученный остаток подается на следующий внутренний АЦП, который формирует очередные младшие разряды, которые, в свою очередь, снова превращаются в аналоговую форму на втором ЦАП с внутренним усилителем. Полученный сигнал снова вычитается из предшествующего остатка и превращается в следующие младшие разряды на третьем АЦП. Благодаря таким сложным преобразованиям с промежуточными усилениями остатка получаем большую точность аналого-цифрового преобразования, в особенности относительно сигналов низкого уровня. Подготовленные таким образом дискреты выходных разрядов подаются на логику цифровой коррекции, которая устраняет возможные неточности и через выходные буфера выдаются на выход АЦП. При переполнении АЦП на специальном выходе появляется сигнал переполнения.

Для повышения помехоустойчивости входной каскад АЦП выполнен в виде дифференциального усилителя с запоминанием сигнала. Сигнал на время дискретизации запоминается на конденсаторах, а вход АЦП отключается от общей схемы. Таким образом, АЦП по очереди превращает в цифровую форму сигналы каждого канала. Период дискре-



тизации задается командами процессора через ПЛИС. Цифровой код, который отвечает аналоговому сигналу, с выхода АЦП через шинные формирователи поступает для записи на оперативное запоминающее устройство (ОЗУ). В приборе использовано ОЗУ фирмы «Samsung».

Для формирования сигналов управления коммутатором и усилителями с программируемым коэффициентом усиления, обеспечения записи данных в ОЗП, накопления и доступа к ним со стороны микропроцессора служит программированная логическая интегральная схема (ПЛИС). Здесь используется ПЛИС фирмы «Xilinx».

Выводы

Разработана концепция построения аналогового тракта восьмиканального портативного АЭ-прибора совместимого с ПК типа Note Book с использованием современной элементной базы и схемотехнических решений. Созданы принципиальные электрические схемы и отработаны на макетах режимы работы основных узлов аналоговой части прибора:

предварительного усилителя, фильтров низкой и высокой частот, усилителя с программируемым коэффициентом усиления, масштабного усилителя, коммутатора АЦП и т. п.

1. Ерминсон А. Л., Муравин Г. Б., Шин В. В. Акустико-эмиссионные приборы и системы // Дефектоскопия. — 1986. — № 5. — С. 3–11.
2. Скальський В. Р., Демчина Б. Г., Карпунін І. І. Руйнування бетонів і акустична емісія (Огляд). Повідомлення 2. Корозія залізобетону. Апаратурні засоби. АЕ-контроль та діагностика будівельних споруд // Технич. діагностика і невідомлення. — 2000. — №2. — С. 9–27.
3. Ямагучі К. Системи акустико-емісійного контролю // Хіхакай кенса. — 1988. — 38, № 6. — С. 498–502.
4. Скальський В. Р. Прибор для регистрации сигналов акустической эмиссии СВР-4 // Технич. диагностика и неразруш. контроль. — 1995. — № 1. — С. 71–79.
5. Скальський В. Р., Пустовой В. М., Бархан А. Портативний накопичувач вибірок сигналів акустичної емісії SVR-6 // Там же. — 1999. — № 3. — С. 35–46.
6. Скальський В. Р., Карпунін І. І. Модернізований портативний накопичувач вибірок сигналів акустичної емісії СК-7 // Зб. наук. праць ФМІ НАН України «Фізичні методи та засоби контролю середовищ, матеріалів та виробів», Київ-Львів, 2002. — Вип. 7. — С. 77–82.
7. Wolfgang S., Grabec I. Intelligent processing of acoustic emission signals // Mater. Eval. — 1992. — 50, № 7. — P. 826–832.

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

Поступила в редакцию
18.02.2005



Национальная Академия наук Украины
Институт физической химии им. Л. В. Писаржевского
Государственное предприятие «КОЛОРАН»

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ СЕМИНАР И ВЫСТАВКА «Новые материалы и комплексные технологии по контролю, защите и ремонту ответственных металлоконструкций»

18–25 июня 2006 г.

г. Феодосия

Уважаемые коллеги!

Научно-практический семинар и выставка «Новые материалы и комплексные технологии по контролю, защите и ремонту ответственных металлоконструкций» состоится 18–25 июня 2006 г. в г. Феодосия, в конференц-зале национальной Академии государственного Управления при Президенте Украины.

Тематика семинара:

- разработка новых видов дефектоскопических материалов и их практическое применение;
- консервация поверхности материалов в межремонтный период и защита от коррозии;
- герметизация и ремонт металлоконструкций.

Круглый стол: «Новые направления в области контроля, защиты и ремонта металлоконструкций».

Организационный комитет семинара и выставки:

Украина 03025, Киев-28, пр-т Науки, 31
Тел.: +38044-525-65-67; моб. +38050-386-43-11
e-mail: koloran@i.com.ua, m_kazakevich@ukr.net

10-14 апреля 2006 года

Украина, Киев

Неразрушающий контроль и техническая диагностика

2006

5-я Национальная конференция и выставка

Институт электросварки им.Е.О.Патона НАН Украины
Выставочный центр "КиевЭкспоПлаза"

Организаторы:



Украинское общество неразрушающего
контроля и технической диагностики

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



Госпотребстандарт Украины

Госпромгорнадзор МЧС Украины



ГК "Укртрансгаз" НАК "Нафтогаз" Украины

При поддержке:



Европейской федерации
по неразрушающему контролю



Международного комитета
по неразрушающему контролю

Информационная поддержка:



ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА
И
НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ

www.usndt.com.ua



ЦЕЛЕВАЯ КОМПЛЕКСНАЯ ПРОГРАММА «РЕСУРС» ЗАСЕДАНИЕ БЮРО ОФТПМ НАН УКРАИНЫ

3 ноября 2005 г. на очередном заседании Бюро Отделения физико-технических проблем материаловедения НАН Украины (ОФТПМ) в рамках целевой комплексной программы научных достижений НАН Украины «Проблемы ресурса и безопасности эксплуатации конструкций, сооружений и машин» («Ресурс») под председательством академика-секретаря акад. Походни И. К. был заслушан доклад заведующего отделом № 59 «Техническая диагностика сварных конструкций» Института электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины д-ра техн. наук, проф. *Анатолія Яковлевича Недосеки на тему «Акустико-эмиссионная диагностика и ресурс сварных конструкций».*

По результатам доклада Бюро ОФТПМ отмечено, что в Институте электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины выполняются научно-исследовательские работы по проблеме «Диагностика и прогнозирование состояния материалов, сварных соединений, конструкций и сооружений по АЭ признакам, которые свидетельствуют об их разрушениях» в следующих направлениях:

теоретические и экспериментальные исследования событий, которые сопровождают деформирование и разрушение материалов и сварных соединений в результате скоростных местных изменений их структуры с целью получения характерных параметров, которые определяют состояние материалов на каждом этапе разрушения;

разработка теории и методов принятия решения о состоянии материалов и сварных соединений, прогнозирование их состояния; создание научных основ управления процессом эксплуатации машин, конструкций и сооружений;

разработка приборов, оборудования и методов их применения для диагностирования состояния материалов и сварных соединений; создание мобильных передвижных и стационарных экспертных систем для диагностирования состояния материалов, конструкций и сооружений во время их эксплуатации; разработка нормативно-технической документации;

внедрение разработок в заинтересованных ведомствах и организациях.

На основании выполненных разработок получены следующие результаты.

В области теории: получены основные аналитические зависимости для кванта излучения, которое возникает во время зарождения и развития дефектов в материалах при их деформировании. Зафиксированное приборами излучение, связанное с развитием дефектов, позволило проанализировать процессы деформирования материалов и скорректировать программное обеспечение диагностических систем, а также повысить точность и информативность получаемых параметров при испытаниях объектов.

В области разработки нормативно-методических документов: разработаны и согласованы с Госнадзорхрантруда Украины и Госпотребстандарт Украины стандарты ТК по стандартизации № 78:

подготовка персонала для работы с методиками и аппаратурой АЭ диагностики (СТП 50.04–2000);

требования к лабораториям, которые выполняют АЭ контроль и диагностирование (СТП 50.05–2000);

требования к персоналу и специалистам в области АЭ диагностики (СТП 50.03–2000).

Разработаны и согласованы с Госнадзорхрантруда Украины государственные стандарты по диагностированию общего назначения и по вопросам испытания и контроля котлов, сосудов под давлением и трубопроводов (ДСТУ 4227–2003 и ДСТУ 4223–2003).

Совместно с акционерным обществом «Видеотон» разработаны мобильные передвижные системы технической диагностики ЕМА-3У и ЕМА-3С; аппаратуру ЕМА-3У запущено в малосерийное производство.

В области практического освоения результатов выполненных работ: общая сумма испытанных и контролируемых объектов и конструкций: сосудов, трубопроводов и аппаратов, которые работают и эксплуатируются в нефтехимической промышленности, в газовом комплексе, на аммиакопроводах составляет более 1000 единиц;

созданы и внедрены в производство пять систем для непрерывного мониторинга конструкций аммиакохранилищ на Одесском припортовом заводе и аммиакопровода длиной 1000 м, который проходит по специальному мосту через р. Днепр в районе Днепропетровска. Системы, контролирующие аммиакохранилища, работают в непрерывном режиме более трех лет.

Бюро ОФТПМ НАН Украины постановило:

1) одобрить работу Института электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины по представленной проблеме как своевременную и актуальную. Отметить важное хозяйственное значение выполненных работ;

2) считать целесообразным продолжить работы в отмеченных направлениях;

3) активизировать исследования по повышению точности определения координат мест локальной перестройки структуры материалов при их деформировании, усовершенствованию алгоритмов оценки их состояния, имея в виду более плотную привязку исследований и разработок применительно к сооружениям и конструкциям сложных геометрических форм, а также работающих при различных видах нагружения;

4) рекомендовать Научному совету комплексной программы научных исследований НАН Украины «Проблемы ресурса и безопасности эксплуатации конструкций, сооружений и машин» («Ресурс») шире привлекать учреждения НАН Украины к выполнению названных работ;

5) считать целесообразным распространение разработанных методов, технологий и средств оценки состояния конструкций на предприятиях ведущих отраслей хозяйства Украины.

Информ. сообщение подготовлено отв. секретарем ТК № 78 ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ А. А. Грудом



4-й МЕЖДУНАРОДНЫЙ ПРОМЫШЛЕННЫЙ ФОРУМ-2005

С 29 ноября по 2 декабря 2005 г. в Киеве в Международном выставочном центре прошел **4-й Международный промышленный форум-2005**.

Организаторы форума: ЗАО МВЦ, Министерство промышленной политики, Госпотребстандарт, Госпромгорнадзор Украины и Украинская национальная компания «Укрстанкоинструмент» при содействии Кабинета министров Украины. В промышленном форуме приняли участие около 300 компаний из более 20 стран мира, которые на площади около 10 тыс. м² представили свои разработки.

Цель и задача форума — содействовать развитию научно-промышленного потенциала Украины, модернизации основных производственных отраслей, развитию делового сотрудничества и интеграции Украины в международные экономические структуры, привлечению инвестиций в создание новых высокотехнологичных производств.

4-й Международный промышленный форум-2005 — это по сути конгломерат из ряда взаимосвязанных отраслевых выставок, научно-практических конференций и семинаров, на которых представлены последние новинки индустрии машиностроения, технологий, оборудования для станкоинструментальной отрасли, сварки, обработки пластмасс и контроля качества продукции, средствам защиты и обеспечения безопасности рабочей зоны.

Основные экспозиции, представленные на Форуме:

металлообработка (технологии и оборудование для металлообрабатывающего производства);

УкрМашТех (промышленные технологии, оборудование для машиностроения) со специализированными разделами «Гидравлика. Пневматика»;

УкрВторТех (комиссионная техника, оборудование);

УкрСварка (технология, оборудование, материалы);

УкрПластТех (оборудование и технологии для производства и переработки пластмасс);

подъемно-транспортное складское оборудование. Образцы, стандарты, эталоны, приборы (контрольно-измерительные приборы, лабораторное и испытательное оборудование, метрология, сертификация);

безопасность производства (средства коллективной и индивидуальной защиты);

субконтракты (поиск партнеров для размещения заказов по виду производства, деталей, узлов, изделий).

В экспозиции «УкрСварка» были представлены широкоизвестные в Украине фирмы ЗАО «Вилтранс» (технология и оборудование для восстановления железнодорожных колес после ТВЧ нагрева поверхности катания), ООО «Днепросварка» (широкий спектр газо- и электросварочного оборудования, технических газов,



сварочных смесей, ООО «Завод автогенного оборудования «Донмет» (серийный выпуск десятков наименований оборудования для резки, сварки и пайки металлов), ОАО «ЗОНТ» (производство, поставка и модернизация машин для газокислородной, плазменной и микроплазменной резки металлов), электромашиностроительный завод «Фирма «СЭЛМА» (изготовление и продажа широкой гаммы электросварочного оборудования в Украину и страны ближнего зарубежья), ОАО «Симферопольский моторный завод» (производство традиционного, инверторного и чопперного электросварочного оборудования), ООО «Фрониус» Украина (современное высоконадежное оборудование для дуговых процессов сварки, плазменной резки и сварки, контактной сварки и точечной приварки шпилек, орбитальной сварки труб и трудных досок), а также торгующая фирма ООО «Куттер-инструмент» (сварочное оборудование, аксессуары и расходные материалы немецкой фирмы «Souder Weld»).

Большой интерес у посетителей выставки вызвала научно-промышленная конференция «Новые технологии в машиностроении», посвященная презентации новых разработок ведущих производителей станкоинструментальной отрасли.

В. Н. Липодаев, д-р техн. наук



4-а НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ З НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ І ТЕХНІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ

06–09 вересня 2005 р. в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу (ІФНТУНГ) відбулася **4-а Науково-технічна конференція і виставка «Сучасні прилади, матеріали і технології для НК і ТД промислового обладнання»**, яка в першу чергу привернула увагу спеціалістів по експлуатації різного нафтогазового обладнання, а також спеціалістів і науковців з НК і ТД різних наукових і проектних організацій, вищих навчальних закладів України.

В роботі конференції прийняли участь біля 120 учасників, було представлено 47 доповідей, що направлені на розроблення технологій проведення НК і ТД діючих магістральних і промислових нафтогазопроводів, різного бурового і експлуатаційного нафтогазового обладнання, газоперекачувальних і насосних агрегатів тощо.

Під час роботи виставки демонстрували сучасні засоби НК і ТД 15 різних організацій і фірм України. В процесі роботи науково-технічної конференції і виставки був проведений виїзний семінар на Богородчанській компресорній станції УМГ «Прикарпаттрансгаз», де учасники виставки продемонстрували сучасні засоби НК і ТД безпосередньо на реальних об'єктах. Спеціалісти з НК і ТД компресорної станції мали можливість оцінити реальні технічні можливості цих засобів.

Нафтогазову промисловість України на конференції представляли спеціалісти із **ВАТ «Укрнафта», ДК «Укргазвидобування», НАК «Нафтогаз України», ВАТ «Укртранснафта», ДК «Укртрансгаз»**, які у своїх доповідях зазначили ряд важливих проблем і конкретних задач з НК і ТД, що вимагають негайного вирішення, і проявили інтерес як до наукових доповідей на конференції, так і до засобів НК і ТД, які були представлені на виставці. В результаті були здійснені реальні домовленості щодо розроблення спеціальних методик і засобів НК і ТД для нафтогазової промисловості, а також заключені контракти щодо придбання відповідних засобів НК і ТД.

У прийнятій ухвалі конференції відмічені пропозиції завідуючого кафедрою «Методи та прилади контролю якості і сертифікації продукції» ІФНТУНГ проф. *Кісіля І. С.* і завідуючого кафедрою «Технічна діагностика і моніторинг» проф. *Карпаша О. М.* щодо проведення виробничої практики студентами спеціальності «Прилади і системи неруйнівного контролю» (ПСНК) безпосередньо в організаціях і фірмах України, що займаються розробкою, виробництвом і експлуатацією засобів НК і ТД, заснування відповідними фірмами і організаціями-розробниками цих засобів іменних стипендій для кращих студентів спеціальності ПСНК, безпосереднього залучення студентів до розробки і виготовлення окремих вузлів і блоків засобів НК і ТД. Крім цього, в ухвалі рекомендується залучати для участі в наступній конференції більше молодих науковців, аспірантів і студентів, наступну 5-у Науково-технічну конференцію у 2008 р. в ІФНТУНГ перевести в ранг міжнародної конференції,

а кращі доповіді 4-ї Науково-технічної конференції опублікувати у фаховому журналі «Методи та прилади контролю якості» (№ 14 і 15).

До доповідей, що викликають значний інтерес спеціалістів з НК і ТД і які рекомендовано до опублікування в науково-технічному журналі «Методи та прилади контролю якості» слід віднести наступні:

- Концептуальні підходи до НК і ТД нафтогазового обладнання й інструменти довготривалої експлуатації. Доповідач Карпаш О. М., ІФНТУНГ;
- Навчальна та наукова робота на кафедрі «Методи та прилади контролю якості і сертифікації продукції» ІФНТУНГ. Доповідач Кісіль І. С., ІФНТУНГ;
- Вплив терміну експлуатації газопроводів на магнітні властивості зварних з'єднань. Доповідач Бондаренко Ю. К., ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАН України;
- Розрахунок напружено-деформованого стану муфтових з'єднань насосно-компресорних труб. Доповідач Савула С. Ф., філія УМГ «Львівтрансгаз»;
- Магнітний контроль вузлів і конструкцій. Доповідач Мирошніков В. В., Східноукраїнський НУ ім. В. Дала;
- Безперервний контроль зварних швів труб в процесі виробництва. Доповідач Швець С. М., Східноукраїнський НУ ім. В. Дала;
- Використання сучасних інформаційних технологій для діагностики промислового обладнання підземних сховищ газу. Доповідач Вечерік Р. Л., ДК «Укртрансгаз»;
- Ультразвуковий контроль у нафтогазовій галузі: Івано-Франківська школа. Доповідач Криничний П. Я., НВФ «Зонд»;
- Нормативне забезпечення неруйнівного контролю в нафтогазовій галузі. Доповідач Кійко Л. М., НВФ «Зонд»;
- Математична модель розрахунково-експериментального діагностування напруженого стану різновидних кільцевих зварних з'єднань магістральних трубопроводів. Доповідач Осадчук В. А., підприємство «Трансгазбуд»;
- Особливості вихрострумового контролю деталей газоперекачувальних агрегатів. Доповідач Учанін В. М., Фіз.-мех. ін-т НАН України, центр «Леотест-Медіум»;
- Створення універсального вихрострумового дефектоскопа ОКО-01. Доповідач Джаганян А. В., НВФ «Промприлад»;
- До питання автоматизації радіаційної дефектоскопії. Доповідач Білий М. Г., ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАН України;
- Контроль напруженого стану біля монтажних кільцевих швів на ділянках надземних переходів магістральних газопроводів. Доповідач Кичма А. О., НУ «Львівська політехніка».

Інформаційне повідомлення підготував Кісіль І. С., зав. каф. МПКЯ і СП ІФНТУНГ

**НОВОСТИ****НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КОНТРОЛЯ ВЕТРОВЫХ ТУРБИН —
ПРОЕКТ КРАФТ РЕНЕВИТ**

РЕНЕВИТ — это двухлетний проект сотрудничества по ЕС на 2 млн. евро, направленный на решение важного вопроса контроля лопаток ветровых турбин для выработки электричества. Лопатки, которые в основном изготавливаются из композитных материалов, таких, как стеклополимеры, углеродные волокна и т. д., могут быть любого размера — до 60 м длиной и 4 м шириной. Лопатки следующего поколения будут еще больше, а предполагаемая длина лопаток на морских установках — 100 м.

Разрушение ветровой турбины. Вопрос обеспечения срока службы этих очень больших конструкций связан с рядом проблем, в частности, из-за того, что эти материалы очень трудно контролировать с помощью неразрушающих методов, а из-за размера лопаток контроль связан с большими затратами времени. Проект РЕНЕВИТ направлен на решение обеих этих проблем путем разработки многоцелевого инструмента для НК с использованием ширографии, импульсной термографии, «сухого» УЗК и рентгеновского контроля в обратно-отраженных электронах Комптона для покрытия критических областей лопатки как во время изготовления, так и эксплуатации. Суть заключается в том, что результаты контроля, полученные с помощью нескольких методов, будут одновременно подаваться на роботизированный сканер, установленный на подь-



емнике для технического обслуживания. Это обеспечит выявление таких опасных дефектов, как трещины, расслоения и повреждения при ударе в течение ограниченного времени.

Одним из британским партнеров является Британский институт сварки. Есть также партнеры из Болгарии, Греции, Дании и Германии. В настоящий момент прошла уже половина срока, отведенного для его выполнения. Следует отметить, что технические работы по этому проекту хорошо продвигаются вперед.

**5-А НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ
«ПРИЛАДОБУДУВАННЯ: СТАН І ПЕРСПЕКТИВИ»**

25–26 квітня 2006 року в Національному технічному університеті України на приладобудівному факультеті відбудеться 5-а Науково-технічна конференція «Приладобудування: стан і перспективи».

Конференція буде проводитися за такими напрямками:

1. Теорія та практика навігаційних приладів і систем
2. Оптичні та оптико-електронні прилади і системи
3. Процеси виготовлення приладів, методи і засоби їх контролю
4. Теорія і проектування наноприладів і систем вимірювання механічних величин і нанопереміщень
5. Наукове аналітичне та екологічне приладобудування
6. Медичне приладобудування
7. Неруйнівний контроль, технічна та медична діагностика
8. Прилади і системи обліку витрат енергоносіїв.

Адреса оргкомітету по проведенню конференції:

Кафедра «Прилади та системи неруйнівного контролю» приладобудівного факультету Національного технічного університету України «КПІ»

**03056, Київ, пр. Перемоги 37,
приладобудівний ф-т
тел. (8-044) 454-95-47, 454-95-48,
e-mail: maevskiy@ntu-kpi.kiev.ua**



ПОЗДРАВЛЯЕМ С ЮБИЛЕЕМ!



21 февраля 2006 г. исполнилось 70 лет доктору технических наук, профессору Владимиру Александровичу Троицкому — руководителю одного из ведущих отделов Института электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины. Свою научную деятельность он начал в 1958 г. после окончания с отличием Московского электромеханического института. В первые годы инженерной и научной

деятельности он занимался различными электромагнитными устройствами. В 1961 г. впервые начал использовать магнитодиэлектрики в низкочастотной технике. Это научное направление радикально изменило технологию производства некоторых электрических машин (например, серия «Украина», выпускаемая на ХЭМЗ и др.), реакторов и других электромагнитных устройств. По проблеме низкочастотных магнитодиэлектриков В. А. Троицкий защитил кандидатскую диссертацию, получил много авторских свидетельств, написал две книги, опубликовал 26 статей в ведущих научных журналах, включая зарубежные. Начиная с 1964 г. Владимир Александрович плодотворно занимался различными электромагнитными вопросами сварочной техники. В этот период им разработаны теоретические основы принципа амплитудного регулирования, получившего название магнитной коммутации, методики расчета различных сварочных источников питания, созданы сварочные источники с ускоренными переходами тока и напряжения через нулевое значение, резонансные источники сварочного тока. Созданное в этот период под руководством В. А. Троицкого оборудование освоено на 12 предприятиях СНГ. По данной проблеме В. А. Троицкий в 1973 г. защитил докторскую диссертацию.

С 1976 г. В. А. Троицкий руководит отделом «Не разрушающих методов контроля качества сварных соединений» в Институте электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины. В отделе представлены все основные физические методы (радиационные, магнитные, акустические, капиллярные, вихретоковые, тепловые и т. п.). При отделе функционируют Аттестационный центр неразрушающего контроля, Центр сертификации персонала УО НКТД и штаб-квартира Украинского общества неразрушающего контроля и технической диагностики, что содействует быстрому внедрению разработок научного отдела ИЭС.

Владимир Александрович является членом многих обществ НКТД мира, в том числе Германии, России, Англии, США и др. Он активно работает во Всемирном конгрессе (ISNDT) и в Европейской федерации (EFNDT), принимает участие в подготовке специалистов по линии МАГАТЭ, занимается гармонизацией правил аттестации персонала НК.

Им созданы теоретические основы намагничивания сложных магнитных цепей, возникающих при магнитных видах НК, сформулированы условия, ограничивающие возможности магнитных методов с учетом конфигурации детали, форм частиц магнитного по-

рошка. Впервые магнитная суспензия представлена как магнитодиэлектрик, использованию которой в низкочастотной технике В. А. Троицкий посвятил много работ, в том числе написал две книги. Под его руководством разработана и внедрена в различных отраслях промышленности гамма магнитных дефектоскопов МАГЭКС, три выпускаются серийно. Результаты этих работ обобщены в монографии «Магнитопорошковый контроль сварных соединений и деталей машин». На протяжении 30 лет Владимиром Александровичем ведется разработка концепций систем и организации служб НК на различных заводах, в том числе на трубопрокатных и машиностроительных. Так, системы НК, внедренные на Харцызском, Выксунском и других трубных заводах, на многих машиностроительных предприятиях, включают участки рентгеновского, магнитного, ультразвукового, визуального контроля.

Под руководством В. А. Троицкого созданы уникальные методики и приборы для неординарных задач дефектоскопии, таких, как УЗК продольных и кольцевых швов с раздельной фиксацией дефектов шва и зон термического влияния, с точным слежением за осью сварных швов; УЗК ванной сварки арматуры, способы для послыйного контроля толстостенных конструкций, тренажеры различных систем для подготовки операторов УЗ контроля, устройства для запоминания и анализа результатов УЗК; ультразвуковые методы TOFD, SAFT, для точного определения размеров внутренних дефектов, основанные на использовании дифрагированных волн и математических методов построения искусственных апертур; УЗ методики и устройства для нахождения дефектов типа матовых пятен и оксидных пленок, не имеющих раскрытия (объема), являющихся предвестниками будущих усталостных трещин, встречающихся при контактном, диффузионном и т. п. случаях сварки и другие.

Под руководством Владимира Александровича созданы комплексы для цифровой радиографии, так называемые рабочие места рентгенолога для обработки и архивации R-информации, улучшения качества R-изображений, документирования результатов R-контроля; разработана методика диагностики тел вращения (трубы, реакторы и т. п.) без снятия изоляции и других защитных покрытий, так называемый метод тангенциального просвечивания, который нашел широкое применение. Основные работы В. А. Троицкого по радиационной дефектоскопии обобщены в монографии «Пособие по радиографии сварных соединений».

Будучи заместителем председателя Технического комитета ТК-78 Госпотребстандарта Украины, В. А. Троицкий принимает активное участие в подготовке и гармонизации более 30 стандартов по проблеме НК качества.

Дирекция и сотрудники Института электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, редколлегия и редакция журнала «Техническая диагностика и неразрушающий контроль» сердечно поздравляют Владимира Александровича с юбилеем, желают ему доброго здоровья и успехов в его многогранной научной деятельности!

**ПОЗДРАВЛЯЕМ ЮБИЛЯРОВ!****В. П. РАДЬКО — 70 ЛЕТ**

10 января 2006 г. старшему научному сотруднику отдела неразрушающих методов контроля Института электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины Радько Вадиму Петровичу исполнилось 70 лет.

В. П. Радько пришел в отдел неразрушающих методов контроля 27 лет тому назад уже сформировавшимся специали-

стом высокой квалификации, пройдя путь от студента Киевского политехнического института до кандидата технических наук, старшего научного сотрудника. С его приходом отдел получил мощный импульс в решении теоретических и прикладных проблем неразрушающего контроля качества сварных соединений и изделий.

За время работы В. П. Радько в Институте при его непосредственном участии проведен большой комплекс исследований по обнаружению и оценке параметров дефектов сварных соединений, выполненных контактной стыковой сваркой оплавлением, электронно-лучевой, сваркой полиэтиленовых труб и др.

Вадим Петрович руководил направлением, связанным с разработкой автоматизированных комплексов

ультразвукового контроля ответственных конструкций с использованием средств вычислительной техники, а также разработкой методологии контроля изделий из пластмасс.

Обладая широкой научной эрудицией, Вадим Петрович является автором 150 научных трудов, в том числе трех монографий и девяти изобретений, охватывающих такие области, как теория информации, электро- и гидроакустика, ультразвуковая техника и др.

Большое внимание Вадим Петрович уделяет научно-организационной и учебно-методической деятельности. Член редколлегии журнала «Техническая диагностика и неразрушающий контроль».

Своей честностью, принципиальностью, скромностью В. П. Радько заслужил уважение и любовь сотрудников.

В день юбилея мы искренне желаем Вам, дорогой Вадим Петрович, крепкого здоровья, долгих лет жизни, деловой и творческой активности, счастья и радости.

*Дирекция и сотрудники ИЭС им. Е. О. Патона
НАН Украины*

*Редакция журнала «Техническая диагностика
и неразрушающий контроль»*

**В. И. БАЛДАКОВУ — 70 ЛЕТ**

Исполнилось 70 лет Виталию Федоровичу Балдакову — одному из патриархов украинского неразрушающего контроля, завоевавшему известность и непререкаемый авторитет среди специалистов по НК бывшего СССР своими разработками в области автоматизации неразрушающего контроля на крупнейших промышленных предприятиях Украины, России и др. стран.

Вот уже на протяжении 40 лет Виталий Федорович плодотворно работает в Институте электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, пройдя путь от инженера-конструктора до руководителя конструкторского отдела проектирования оборудования для неразрушающего контроля, в котором проектировалось более 100 установок для НК. Один перечень этих установок говорит о путях развития средств НК в Украине: НК-100, НК-101, НК-106, НК-173 и НК-180 для автоматизированного ультразвукового контроля труб большого диаметра (внедрены на Харцызском трубном, Челябинском трубопрокатном и Выксунском металлургическом заводах); НК-164 для АУЗК сварных соединений толстостенных изделий из алюми-

ниевых сплавов, выполненных контактной сваркой; НК-179 для ЭМА-контроля чугунных гильз для изготовления двигателей машин; НК-138 для магнитного контроля изделий сложной конфигурации; НК-109 для автоматизированного контроля обечаек многослойных труб магнитографическим методом; НК124 и НК-154 для визуализации ультразвукового контроля и много др.

Конструкторский талант В. Ф. Балдакова продолжает оставаться востребованным и сегодня. Сейчас он работает над проектом механоакустической установки для прецезионного измерения скорости распространения ультразвуковых волн в металлах. Не оставляя свой проверенный временем кулман, он успешно освоил современные компьютерные технологии проектирования. К нему идут за профессиональными и житейскими советами для его коллеги.

Желаем Вам, Виталий Федорович, крепкого здоровья, творческого вдохновения и дальнейших успехов на ниве неразрушающего контроля.

*Дирекция и сотрудники ИЭС им. Е. О. Патона
НАН Украины*

*Редакция журнала «Техническая диагностика
и неразрушающий контроль»*



КАЛЕНДАРЬ КОНФЕРЕНЦИЙ И ВЫСТАВОК ПО НК В 2006 г.

Дата	Место проведения	Название мероприятия	Организатор (адрес)
07–09.02	Ченнаи, Индия	Международная конференция и выставка «Сосуды давления и трубопроводы»	e-mail: bkc@igcar.ernet.in
13.02–18.02	Сел. Славське, Львівської обл.	11-а Міжнародна науково-технічна конференція і виставка «ЛЕОТЕСТ-2006. Електромагнітні та акустичні методи неруйнівного контролю матеріалів та виробів»	т./ф. (+380 322) 75-08-69 e-mail: leotest@lviv.net www.usndt.com.ua
15–17.02	Набережные Челны, Россия	Выставка «Металлургия. Металлообработка. Машиностроение. Сварка»	КаМАЗ
20–24.02	Пос. Славское, Карпаты, Украина	Промышленная конференция с международным участием и блиц-выставка «Эффективность реализации научного, ресурсного и промышленного потенциала»	УПЦ «Наука. Техника. Технология» т./ф. (044) 5733040 e-mail: office@conference.kiev.ua
28.02–03.03	Киев, Украина	7-я Международная выставка «Intertool Kiev» с разделом «Сварка»	MSI (Австрия) т. +431 402895447 ф. +431 402895454 e-mail: msi@msi.fairs.com
08–10.03	Кейптаун, ЮАР	Конгресс МИС «Сварка и смежные методы контроля»	www.saiw.co.za
20–23.03	Киев, Украина	Международная выставка «Сварка Украина 2006»	ТД «Сварка» e-mail: olga@welding.kiev.ua
10–13.04	Киев, Украина	3-я Международная выставка «Сварка. Родственные технологии-2006» Выставка «Трубопроводный транспорт-2006»	ЭкспоПлаза, НТК ИЭС им. Е. О. Патона т. (044) 2871238
10.04–14.04	Киев, Украина	5-а Національна науково-технічна конференція і виставка «Неруйнівний контроль та технічна діагностика»	т. (+380 44) 287-26-66 ф. (+380 44) 289-21-66 e-mail: usndt@ukr.net www.usndt.com.ua
25.04–27.04	Москва, Россия	V Международный трубопроводный форум, выставка и конференция «Трубопроводный транспорт-2006»	т. (495) 1056561, (495) 5025433, ф. (495) 2480734, (495) 2073535
09.05–15.05	Анталья, Турция	Научно-практическая конференция «Организация неразрушающего контроля качества продукции в промышленности»	т./ф. (+380 44) 247–67–18 e-mail: kozin@ndt-ua.com www.ndt-ua.com
16.05–19.05	Москва, Россия	5-я Международная выставка и конференция «Не-разрушающий контроль и техническая диагностика в промышленности» — NDT Russia	т. (812) 3806002, ф. (812) 3806001 e-mail: ndt@primexpo.ru www.ndt-ua.com
28.05–02.06	Сан-Франциско, США	16-я Международная конференция-выставка по сооружению морских и полярных конструкций	www.iso-pe.org
30.05–02.06	С.-Петербург, Россия	XII Международная специализированная выставка по сварке, резке и родственным технологиям	Ленэкспо, п. 6 и 7, т./ф. (812) 3212631, 3212722 e-mail: averkina@mail.lenexpo.ru
25.09–29.09	Берлин, Германия	9-я Европейская конференция по неразрушающему контролю	e-mail: info@dgzfp.de www.ecndt2006.info
26.09–29.09	Киев, Украина	4-й Международный форум «Топливо-энергетический комплекс Украины: настоящее и будущее»	т./ф. (+380 44) 271-22-49 e-mail: usndt@ukr.net
09.10–13.10	Ялта, Украина	14-я Международная конференция и выставка «Современные методы и средства неразрушающего контроля и технической диагностики»	т./ф. (+380 44) 573-30-40 e-mail: office@conference.kiev.ua www.conference.kiev.ua
25–28.10	Уфа, Россия	Международная специализированная выставка «Машиностроение. Сварка. Контроль. Реновация»	БК «Башкартостан» т. (3472) 565180, 908710, ф. (3472) 908707 e-mail: info@bashexpo.ru
12.11–16.11	Остин, Техас, США	32-й Международный симпозиум по испытаниям и анализу разрушений ISTFA-2006	ASM Int.
28.11–01.12	Киев, Украина	V Международный промышленный форум-2006 с разделами «УкрСварка» и «Неразрушающий контроль»	ЗАО «МВЦ» т. (044) 2011165, 2011156
28.11–01.12	Киев, Украина	4-й Международный форум «Производство и защита - 2006» Выставка «Образцы, стандарты, эталоны, приборы»	т./ф. (+380 44) 201-11-57 e-mail: tech-expo.com.ua/eng/pz, silova@ieec-expo.com.ua



ЭЛЕКТРОМАГНИТНО-АКУСТИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ДЛЯ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ РЕЛЬСОВ И ДРУГИХ ПРОТЯЖЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

(иллюстрации см. на 1-й стр. обложки)

В. И. ГОРДЕЛИЙ, В. Е. ЧАБАНОВ

Приведен краткий обзор современных электромагнитно-акустических преобразователей, применяемых для неразрушающего контроля рельсов. Они могут также широко использоваться для УЗК и других объектов.

В настоящее время **электромагнитно-акустические преобразователи (ЭМАП)** уже прошли стадию научно-исследовательской проработки и становятся полноправными средствами, применяемыми для неразрушающего контроля (НК) самых разнообразных объектов контроля.

Их преимущества по сравнению с пьезоэлектрическими преобразователями (ПЭП):

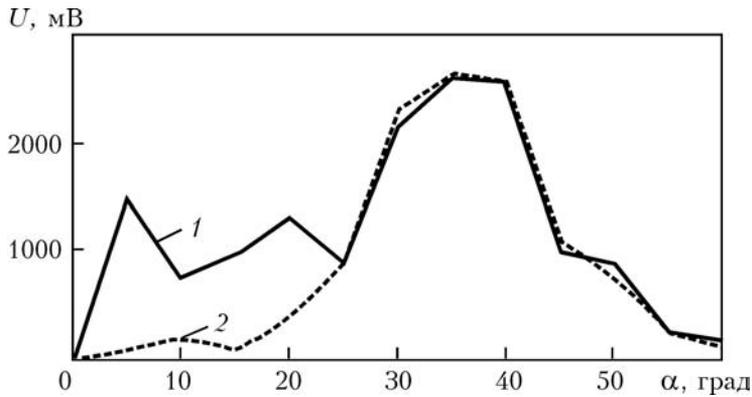
- ❖ *способность излучать и принимать УЗ импульсные сигналы бесконтактно, без использования промежуточных контактирующих сред;*
- ❖ *существенно меньшая зависимость дефектоскопии от шероховатости поверхности, от скорости контроля, от температуры и наличия всевозможных нетокопроводящих загрязнений: масла, краски, ржавчины и проч.;*
- ❖ *возможность излучать и принимать сигналы в широком диапазоне частот, углов излучения, характера волн и типов их поляризации.*

При этом массогабаритные характеристики **ЭМАП** соизмеримы с таковыми типовых ПЭП, что обеспечивает удобство их эксплуатации. Соотношение сигнал—помеха акустических сигналов при излучении и приеме сравнимо с получаемой при использовании ПЭП, в результате чего чувствительность контроля с применением **ЭМАП** не уступает таковой при использовании типовых дефектоскопов, базирующихся на применении пьезопреобразователей. При использовании **ЭМАП** выполняется теорема взаимности, а поэтому они одинаково надежно работают как в режиме излучения, так и в режиме приема. Достаточно надежный физико-математический аппарат, разработанный авторами, позволяет уверенно осуществлять проектирование **ЭМАП** с заданными характеристиками. По мере развития стоимость и эксплуатационные качества аппаратуры с применением **ЭМАП** приближаются к аналогичной аппаратуре, применяющей ПЭП.

В основу излучения ультразвука с помощью **ЭМАП** положен принцип наведения токов Фуко в электропроводных материалах, когда вблизи них располагаются электропроводы, по которым протекают импульсные токи. Вступая во взаимодействие со специально создаваемым постоянным магнитным полем, указанные токи пробуждают силы Ампера, которые и являются источником приповерхностных механических напряжений, возбуждающих УЗ поля. Обратный эффект проявляется при колебании электронов металлов под действием падающего ультразвука в магнитном поле, что приводит к генерированию токов в расположенных вблизи токопроводах. Причем, временные характеристики этих токов аналогичны УЗ импульсным сигналам, попадающим на поверхность контролируемых изделий, а чувствительность и пространственное распределение полей, излучаемых преобразователями, в полном соответствии с принципом взаимности оказываются точно такими же, когда они принимают УЗ сигналы.

Кроме вихретокового механизма излучения—приема на работу **ЭМАП** с ферромагнетиками может также влиять магнитострикционный механизм. Однако в конструкциях ЭМАП, обычно применяемых в настоящее время, этот механизм проявляется слабо, а поэтому во внимание не принимается.

Особенности работы **ЭМАП** определяются конструкцией применяемых постоянных магнитов и используемых катушек. При этом при разработке магнитов реализуется требование минимизации их массогабаритных характеристик при получении максимально большой индукции магнитного поля при одновременном понижении зависимости его величины от зазора между преобразователем и поверхностью контроля. Кроме того, на пространственные характеристики генерируемого звука существенно влияет материал магнитопровода или располагаемого за ним специального



Направленности излучения типового (1) и сконструированного авторами ЭМАП (2) при работе под углом 35°

экрана. При неудачном их подборе возникает реверберация, увеличивающая «мертвую зону» преобразователя, а также возникают паразитные сигналы на нерабочих углах (рисунок). И это в значительной мере ухудшает соотношение сигнал—помеха акустической природы.

Однако наиболее сложным элементом, в наибольшей мере влияющим на работу ЭМАП, является катушка, по которой проходит импульсный ток при работе ЭМАП в режиме возбуждения и с которой снимаются сигналы при их работе в режиме приема.

Когда ставится задача сконструировать ЭМАП, работающий по нормали к

поверхности контроля, в настоящее

время применяют круговые катушки. В случае проектирования ЭМАП, работающих как под нормальным, так и под наклонными углами, применяются катушки с прямыми параллельными токопроводами, проходящими под магнитопроводами. Причем, в первом случае токи в различных токопроводах синфазные, а в других случаях токи в соседних токопроводах противофазны. Однако и в том, и в другом случае акустические сигналы, излучаемые и принимаемые такими преобразователями, обладают поперечной SV-поляризацией. Аналогична конструкция катушек ЭМАП рэлеевских волн, но здесь кроме прямых токопроводов иногда применяют сфокусированные. При этом управление углом наклона лучей и типом волн осуществляется вариацией рабочих частот.

Выполненными научно-экспериментальными исследованиями установлено, что наиболее простыми и надежными в работе являются прямые ЭМАП, а также ЭМАП рэлеевских волн. Более сложные в эксплуатации преобразователи, работающие под наклонными углами. Из них наиболее устойчивы ЭМАП, работающие под углами $\pm 35^\circ$ и $+60^\circ$, а на других углах они работают нестабильно.

С помощью ЭМАП можно также генерировать и продольные акустические волны, когда катушка располагается между полюсами постоянного магнита. Вместе с тем общепринято, что продольные волны излучаются и принимаются такими преобразователями значительно хуже, чем сдвиговые.

В последнее время возрастает интерес к преобразователям SH-поляризованных волн. Они генерируются либо набором чередующихся магнитов, под которыми проходят прямые токопроводы, либо системой переплетающихся токопроводов, располагаемых под полюсом постоянного магнита. Однако ни теории работы таких преобразователей, ни достаточно систематизированных исследований их до настоящего времени нет. Работами, выполненными авторами, установлено, что SH-поляризованные волны, т. е. такие, вектор смещения частиц среды в которых параллелен поверхности, являются поверхностными волнами типа Рэлея. Указанные преобразователи из условий их конструкции являются низкочастотными. Сейчас авторами создается теория SH-поляризованных ЭМАП, проводятся необходимые испытания.

НПП «ВИГОР» сконструирован класс ЭМАП, которые применяются для широкого класса измерений состояния материалов. В частности, в установке УД-ЭМА-РСП-01, предназначенной для НК старогодных рельсов на рельсосварочных предприятиях, применяются прямые преобразователи (угол излучения 0 , рабочая частота — 2 МГц), наклонные (угол излучения 40° , рабочая частота — 1 МГц) и рэлеевские (рабочая частота 0,25 и 0,5 МГц). Их приемно-излучающие катушки и магнитные системы могут быть как совмещенными, так и отдельными. Кроме того, возможны **комбинированные ЭМАП**: в одном корпусе располагается несколько преобразователей, работающих в различных режимах.

Сейчас уже изготовлены и на железных дорогах страны эксплуатируются 19 установок **УД-ЭМА-РСП-01**. Ими обнаруживается немало дефектов в рельсах, не фиксируемых другими современными средствами дефектоскопии, использующими ПЭП.

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



ОПЕРАТИВНЫЙ КОНТРОЛЬ НАПРЯЖЕННОГО И УСТАЛОСТНОГО СОСТОЯНИЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ НЕРАЗРУШАЮЩИМ МЕТОДОМ ПО МАГНИТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКЕ МЕТАЛЛА — КОЭРЦИТИВНОЙ СИЛЕ

(иллюстрации см. на 3-й стр. обложки)

Г. Я. БЕЗЛЮДЬКО, В. Е. ДОЛБНЯ, Б. Е. ПОПОВ, Р. Н. СОЛОМАХА

Постановка задачи. Сразу уточним, что главным в *коэрцитиметрии* при эксплуатационном контроле металлоконструкций и узлов оборудования, включая и сварные соединения, являются не дефектоскопические задачи, а, прежде всего, уровень усталостных изменений в еще бездефектном металле. Именно такой возможности сейчас недостает современной диагностике, которая с ее все растущими затратами на дефектоскопию всех разновидностей уже не обеспечивает необходимую динамику снижения аварийности. Всем сейчас очень хотелось бы контролировать степень усталости, так как только зная этот параметр возможно осуществить переход от практики поиска дефектов к их предупреждению. Без такого знания невозможна достоверная оценка ресурса. Однако, до применения нами *коэрцитиметрии* в начале 90-х годов для решения эксплуатационного контроля усталостного состояния металла в арсенале у экспертов вообще не было эффективного параметра неразрушающего контроля для таких задач. Не говоря уже о требованиях доступности подобного параметра для измерения и понимания рядовым персоналом, включая и удобную приборную реализацию. Подобное единство методических и практических достоинств и удалось обеспечить в изложенном ниже подходе.

Физические основы. Из базовых разрушающих стендовых (статических и циклических — режим малоциклового усталости) испытаний образцов разных марок конструкционных сталей, а также из испытательных нагружений реальных объектов (например, кислородных баллонов), было установлено, что *коэрцитивная сила* возрастает на 100...300 % (в зависимости от марки металла), пока контролируемый металл меняется от состояния поставки до разрушения. Это очень высокая чувствительность к накоплению усталостных деградаций, какой нет у других параметров НК. На этой основе после обследования сотен сосудов давления и грузоподъемных кранов нами был разработан и согласован в органах технического надзора нормативный документ по техническому диагностированию (с оценкой остаточного ресурса) конструкций грузоподъемных кранов (в России — в 1997 г., в Украине — только в 2005 г.). Хотя успешность практики контроля состояния металлоконструкций по измерениям *коэрцитивной силы* в зонах концентрации напряжений специалистами экспертных центров была достигнута и без этих нормативов. Она предопределена простотой метода и очевидностью выявленных закономерностей поведения *коэрцитивной силы* в зависимости от уровня накопления усталостных изменений.

Применение нами этого подхода уже для диагностики сварных соединений (с учетом их специфики как объекта контроля) позволило получить еще более эффективные результаты, изложенные в работе [1] в начале 2004 г. Понятно, что в сварном соединении, кроме классических усталостных деградаций металла шва и в зонах термовлияния, важно было «увидеть» и остаточные сварочные напряжения, оценить эффективность их термообработки, а также «разглядеть» зарождение зон-концентраторов как предвестников будущих разрушений шва. Особенно таких, где остаточные напряжения суммируются с конструкционными, все это суммируется с эксплуатационными нагрузками и осложняется сопутствующими факторами (температурой, вибрацией, агрессивностью сред и т.д.). В таком концентраторе при эксплуатации выстраивается своеобразная повторяющаяся последовательность усугубляющих друг друга процессов: суммирующиеся упомянутые напряжения и рабочие нагрузки, сопутствующие эксплуатационные факторы → ускоренная коррозия всех типов и фазовые превращения → потеря сечения металла и потеря запасов пластичности → рост удельных нагрузок → и т. д. снова уже по тому же циклу до разрушения металла в таком концентраторе. Реально некоторые звенья такого цикла могут отсутствовать или чередоваться в ином порядке. Но конечный результат — разрушение — неизменен. Важно, что все это сопровождается надежным предвестником — непрерывным и ускоренным локальным ростом значений *коэрцитивной силы* в области концентратора. И, что не менее важно, все это происходит в дефектоскопически безупречном металле. Т. е. *коэрцитиметрия* на этой стадии — единственный и, как оказалось, эффективный параметр косвенного слежения за развитием процессов деградации бездефектного металла. Усталостные дефекты — это уже закономерный конечный итог этих процессов. Однако, специалисты экспертизы, в своей массе не подготовленные к восприятию нового подхода в контроле сварных соединений ни практически, ни нормативно, обращаются к нему пока лишь в исключительных, безвыходных ситуациях как к палочке-выручалочке, когда традиционная экспертиза не дает ясности в оценках. И к слову, ни разу в таких случаях метод не подвел авторов и заказчиков. Но систематической и растущей востребованности *коэрцитиметрии* при контроле сварных соединений после публикации работы [1] не складывалось. Основной причиной этому, причем больше психологической, оказалось отсутствие практической оперативности получения конечных результатов контроля у первой приборной версии нашего контроля, показанной в работе [1]. Для дефектоскопистов, особенно в УЗК, давно и привычно стало получать полную информацию о сварном соединении на экране дефектоскопа непосредственно в процессе контроля, а не через час или через день, как это получалось у нас в первой версии, когда на месте контроля получают только таблицу значений *коэрцитивной силы*, отснятую на шве и околошовных зонах. Преобразование этой таблицы в соответствующее состояние металла сварного соединения, отображаемое в цвете на его геометрической развертке, выполнялось уже на персональном компьютере и преимущественно в лабораторных условиях. Устранить это, встроив ПК в коэрцитиметр, технически возможно, но



вело к такому удорожанию симбиоза, которое исключало его доступность рядовому пользователю — основному потребителю новой технологии. Поэтому два года метод и оставался на уровне скорее эпизодической востребованности как последнее средство решения особо экзотических диагностических задач контроля сварных соединений.

Новый уровень контроля. Появление в массовом пользовании так называемых КПК — карманных персональных компьютеров — позволило радикально решить указанную проблему. Здесь *коэрцитиметр* уже выполняет лишь только то, что нельзя поручить КПК — высокотехнологичному изделию, доступному по цене ввиду его массовой серийности, с привлечением ресурсов профессионального программного обеспечения всех предыдущих поколений ПК, но при массе и размерах чуть больше стандартного мобильного телефона.

В новом комплексе (*коэрцитиметр+КПК*) прибор связан с КПК стандартным беспроводным каналом. Это весьма удобно, так как зачастую измерения выполняются в сложных условиях нагромождения оборудования и переплетающихся технологических трубопроводов, как, например, в условиях АЭС. Оператор занят только процессом измерения. Сбор, сортировку, обработку данных *коэрцитиметрии* КПК ведет самостоятельно. По завершении измерений КПК сразу демонстрирует результаты на дисплее: 1) таблицу измерений; 2) гистограмму полученного набора значений; 3) геометрическую развертку сварного соединения с нанесенной на нее информацией о состоянии металла шва и околошовных зон в виде наглядной цветной карты уровней. Таблица измерений содержит наиболее полную информацию об объекте контроля, но в менее наглядном виде. Для улучшения «читаемости» снятых данных КПК преобразует исходную таблицу в две итоговых демонстрационных разновидности — гистограмму и развертку. По гистограмме, не видя объекта контроля, можно сразу оценить состояние сварного соединения. Но нельзя определить местонахождение опасных зон и степень деградации каждой из них. Эта информация отображается уже в развертке. Гистограмма демонстрируется на экране с указанием ее двух численных характеристик, весьма характерных для состояния металла сварного соединения — среднего значения измерений *коэрцитивной силы* МО и СКО — степени разброса этих значений относительно среднего. Эти два числа убедительно характеризуют качество технологий сварки и термообработки, если контроль выполнен на новом или отремонтированном шве — чем лучше технологии, тем меньше величины МО и СКО и тем быстрее они растут с ростом отработанного ресурса. Гистограмма, МО и СКО удобны для экспресс-оценки как металла сварного соединения, так и качества технологий сварки, а также для численного слежения за динамикой накопления эксплуатационной усталости металла.

Однако, гистограмма по своей статистической природе в результате усреднения исходных данных измерений теряет информацию о местонахождении зон концентрации напряжений и степени неблагоприятности каждой из них. Все это видно только на развертке сварного соединения, где в цвете картографически нанесено распределение измерений *коэрцитивной силы*, позволяющее увидеть к тому же еще и степень неоднородности шва на фоне основного металла.

Введение здесь компьютерных технологий не мешает и не довлеет над НК-специалистом, так как КПК отслеживает его работу по контролю, не вмешиваясь в нее. А когда необходимо, компьютер показывает эксперту измеренные данные, а также готовые результаты их анализа. В зонах сварного соединения, благополучных с позиций *коэрцитиметрии*, вероятность обнаружения усталостных дефектов — нулевая. Там могут быть только «спящие» дефекты (металлургические или сварочные), не влияющие на напряженно-деформированное состояние металла, а значит, не влияющие и на величину *коэрцитивной силы* металла в данной зоне. Таким образом, *коэрцитиметрия* не отрицает, а органично дополняет новой информацией все, что накоплено сегодня в традиционной диагностике.

Наблюдая систематически на основе *коэрцитиметрии* гистограмму, МО, СКО и развертку шва в течение эксплуатации, легко отслеживается зарождение и степень развития зон будущих разрушений, так как процесс становления таких зон развивается не лавинообразно, он может идти годами. Степень близости текущего состояния металла в каждой конкретной зоне к состоянию предразрушения однозначно контролируется по наибольшим значениям *коэрцитивной силы* в такой неблагоприятной области. Привлекая в таких случаях мероприятия, конструктивно разгружающие эти зоны, а также технологии регенерации свойств металла, **переходят в эксплуатацию от практики поиска дефектов к их предупреждению, упреждая и связанные с этим отказы в работе оборудования.**

Поскольку хранящиеся в КПК таблица, гистограмма с МО и СКО, карта развертки шва — это готовая формализованная полная информация о состоянии металла, то на такой основе легко и просто формируется эффективная компьютерная база данных о каждом шве на объекте контроля.

Таким образом, новый комплекс коэрцитиметр+КПК, усиливая коэрцитиметрию возможностями вычислительной техники, позволяет просто, оперативно и без значительного удорожания оценить усталостное и напряженное состояние сварного соединения. Это новый уровень диагностики, когда богатые дефектоскопические традиции, эффективные, к сожалению, лишь на последних стадиях срока службы оборудования, впервые и органично дополняются контролем степени усталости, который результативен в течение всего срока эксплуатации. Становится реальностью переход к предупреждению дефектов вместо значительно менее продуктивной тактики их поиска.

1. Безлюдько Г. Я. Практика оценки состояния сварных швов по измерениям магнитной характеристики — коэрцитивной силы металла // Техн. диагностика и неразруш. контроль. — 2004. — № 1. — С. 20–23.

**За более подробной информацией просим обращаться
по тел. (057)738-32-06, 771-65-91
e-mail: bezlyudko@yahoo.com, itl913@online.kharkov.ua**



ВОПРОСЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ РЕАКТОРНЫХ УСТАНОВОК ВВЭР

(иллюстрации см. на цв. вклейке)

**Г. В. АРКАДОВ, Б. М. ФИНКЕЛЬ, В. И. ПАВЕЛКО, А. И. УСАНОВ,
Н. Н. ДАВИДЕНКО, К. А. КОРНИЕНКО, Н. П. КОНОПЛЕВ**

Безопасность АЭС обеспечивается за счет реализации **принципа глубоко эшелонированной защиты**, который основан на применении системы барьеров на пути распространения радиоактивных веществ, а также на системе технических и организационных мероприятий по защите барьеров.

Одним из таких мероприятий является определение и прогнозирование технического состояния оборудования АЭС, реализуемое через системы оперативной диагностики реакторных установок.

Системы оперативной диагностики оборудования в случае их применения на всех этапах жизненного цикла АЭС позволяют:

- при разработке новых проектов РУ ВВЭР обосновывать принимаемые технические решения с использованием баз данных по фактическим условиям эксплуатации и отказам прототипных реакторных установок;
- на пускаемых энергоблоках фиксировать исходное техническое состояние оборудования, на которое следует ориентироваться при последующей промышленной эксплуатации;
- в ходе каждого эксплуатационного цикла контролировать целостность первого контура, неизменность условий закрепления оборудования, отсутствие деградации или сбойных параметров АСУ ТТ;
- оптимизировать объем контроля металла при ревизиях оборудования, оптимизируя тем самым и продолжительность планово-предупредительных ремонтов;
- оценить эффективность проводимых модернизаций и замен элементов оборудования.

Исходными проектами реакторных установок ВВЭР применение систем оперативной диагностики не предусматривалось. Предполагалось, что ресурс безопасной эксплуатации оборудования будет обеспечен за счет последовательной реализации следующих мероприятий:

- обоснование прочности и долговечности оборудования на этапе его проектирования для назначенного срока службы консервативным путем, т. е. с использованием наилучших и наиболее жестких комбинаций нагружающих параметров;
- пусконаладочные испытания и измерения оборудования каждой реакторной установки, вводимой в эксплуатацию, с подтверждением принятых проектных решений и назначенного срока службы;
- неразрушающий контроль металла, осмотры и обмеры оборудования при ежегодных ревизиях.

Принятый подход был оправдан тем, что обоснование прочности и долговечности оборудования РУ ВВЭР на этапе его проектирования имело целью обеспечение назначенного срока службы, при достижении которого предполагалось прекращение эксплуатации энергоблока независимо от технического состояния оборудования. Соответственно, в проект закладывались минимальные объемы эксплуатационного контроля целостности оборудования и темпов выработки ресурса.

Немаловажным является также то обстоятельство, что во времена проектирования действующих РУ ВВЭР отсутствовали отработанные средства и методики диагностирования.

Недостаточность такого объема мероприятий проявилась уже в первое десятилетие эксплуатации РУ ВВЭР в связи с повреждениями оборудования, которые развивались за один межремонтный период.

В последнее десятилетие с учетом старения оборудования стала очевидной необходимость полномасштабного применения систем оперативной диагностики как средства, обеспечивающего определение и прогнозирование технического состояния оборудования. В этой задаче системы диагностики выступают своеобразным компенсирующим мероприятием, учитывающим фактическое старение оборудования.

Новым и весьма серьезным фактором является действующая в России программа управления сроком службы реакторных установок, которая предусматривает в том числе и продление срока службы установок ВВЭР первого поколения. В этих задачах системам оперативной диагностики уделяется большое значение как одному из немногих объективных инструментов, которые определяют как саму возможность, так и условия продления срока службы конкретного энергоблока.



Для реализации указанных выше задач в состав оперативной диагностики введены (**см. цветную вклейку**):

система контроля течей теплоносителя, которая должна выявлять:

- протечки по разъёмным соединениям;
- протечки через дефекты в оборудовании и трубопроводах;
- межсистемные протечки из I во II контур, а также через неплотности арматуры;

система виброшумовой диагностики, предназначенная для выявления аномальных вибрационных состояний, вызванных изменением условий закрепления оборудования, изменением его жесткостных характеристик или возрастанием гидродинамических нагрузок со стороны потока теплоносителя;

система обнаружения свободных и слабозакрепленных предметов, которая должна фиксировать факт появления посторонних предметов в контуре циркуляции, а также возникновение ударов из-за ослабления крепления оборудования;

система определения остаточного циклического ресурса, предназначенная для оценки повреждаемости узлов и единиц оборудования с наибольшей термической нагруженностью; система режимной диагностики, позволяющая по специализированному анализу технологических параметров выявлять непроектные состояния оборудования и систем РУ (течи теплоносителя, сбойные параметры АСУ ТП, непроектные переходные режимы и состояния оборудования, отрицательно сказывающиеся на его сроке службы);

система виброконтроля роторного оборудования, являющаяся весьма эффективным средством обслуживания по реальному техническому состоянию многочисленного парка вращающихся механизмов АЭС (главные циркуляционные насосы, насосы подпитки первого контура, агрегаты в системах вентиляции и т. д.).

В последние годы начались также работы по диагностированию трубопроводной арматуры АЭС в контексте задачи перехода на обслуживание и ремонт по реальному состоянию.

Нынешнее состояние разработки и внедрения систем диагностики можно охарактеризовать следующими положениями.

I. К настоящему времени значительная часть российских энергоблоков с ВВЭР оснащена системами или элементами систем из числа описанных выше. В результате повышается культура эксплуатации, накапливается опыт эксплуатационного контроля состояний оборудования, а в ряде случаев использование систем позволило своевременно выявить аномальные состояния в контролируемом оборудовании.

Кроме того, самостоятельный интерес представляют базы данных по фактическим условиям эксплуатации оборудования, накапливаемые системой диагностики.

Такие базы данных, с одной стороны, позволяют сравнивать и систематизировать условия работы однотипного оборудования, эксплуатируемого на различных энергоблоках. На основе статистического анализа полученных данных в проектную и эксплуатационную документацию могут быть введены критерии приемлемости результатов контроля. С другой стороны, базы данных по фактическим условиям эксплуатации оборудования могут использоваться при проведении работ по его модернизации. Это соответствует духу и букве нормативных документов надзорных органов РФ, согласно которым технические решения, принимаемые при реконструкции или модернизации элементов АЭС, должны быть апробированы прежним опытом, включая опыт эксплуатации прототипа, а также испытаниями и исследованиями.

II. Создан отраслевой Центр диагностики при концерне «Росэнергоатом», который за счет объединения специалистов отрасли различного профиля в состоянии решать комплексные вопросы разработки, внедрения и сопровождения эксплуатации систем диагностики на действующих энергоблоках совместно со специалистами созданных на АЭС лабораторий технической диагностики.

III. Выполнен значительный объем работ по математическому обеспечению систем диагностики в виде методик и алгоритмов диагностирования, включая разработку шумовых, вибрационных, логических диагностических моделей.

Особая важность этого направления работ обусловлена тем, что системы оперативной диагностики (в отличие от традиционных систем контроля целостности, ориентированных на прямые измерения с установлением наличия или отсутствия дефекта) оценивают техническое состояние объекта косвенным образом по параметрам отклика оборудования:

- изменению частот и форм колебаний оборудования при изменении условий его закрепления;
- технологическим шумам, возникающим при работе оборудования и меняющимся в зависимости от его состояния;
- виброакустическим шумам или импульсам при появлении аномалии и т. д.

Очевидно, что для постановки диагноза должна быть установлена взаимосвязь между параметрами состояния оборудования и информативными диагностическими признаками, в наибольшей степени характеризующими каждое из возможных состояний.



В этой связи следует отметить результаты работ по математическому обеспечению системы виброшумовой диагностики [1], которая является наиболее наукоемкой из числа систем диагностики.

Применительно к этой системе разработка математического обеспечения велась в следующих направлениях:

- создание «шумовых» моделей для контроля теплогидравлических и нейтронно-физических параметров (поканальных расходов теплоносителя, недогретого кипения теплоносителя, температурных и барометрических коэффициентов реактивности);
- адаптация к условиям ВВЭР методов взаимного спектрального анализа стохастических сигналов;
- адаптация к условиям ВВЭР методики многомерного авторегрессионного анализа для возможности детального исследования источников колебаний того или иного элемента оборудования;
- расчетное моделирование вибрационных характеристик оборудования и топливных сборок, реализованное в виде набора программ на базе кода ANSYS;
- библиотека сценариев, содержащая диагностические признаки и уставки для наиболее вероятных аномальных вибростояний.

Первые четыре программных продукта предназначены в основном для персонала диагностического Центра, имеющего навыки в обработке и анализе вибрационных сигналов. Библиотека сценариев разработана для персонала АЭС.

Данные программные продукты совместно с эксплуатационными базами данных позволяют конкретизировать понятия «норма—аномалия» для использования в эксплуатационной документации по применению систем виброшумовой диагностики.

IV. Специализированными российскими организациями (**ВНИИАЭС, Диапром, ФЭИ, ВНИ-ИЭФ, СНИИП** и др.) разработана, аттестована и обеспечена техническими условиями большая часть измерительных каналов в системах шумовой диагностики.

Переходя к вопросам практического применения систем, отметим, что на сегодняшний день имеется практическая отдача от большинства смонтированных систем в рамках таких работ, как:

- реализация концепции «течь перед разрушением» на российских установках ВВЭР-440;
- раннее выявление течей теплоносителя на ряде АЭС;
- обоснование возможности продления назначенного срока эксплуатации внутрикорпусных устройств реакторов ВВЭР первого поколения;
- анализ вибронегруженности топливныхборок реакторов ВВЭР в связи с проводимой модернизацией их конструкций.

В указанных задачах системы оперативной диагностики выступили как инструмент, расширяющий наблюдаемость объекта контроля. В ряде случаев были реализованы традиционные этапы диагностирования:

- конкретизация понятия «проектное состояние» по результатам анализа проектной документации и анализа баз данных по фактическим параметрам эксплуатационного нагружения и отклика оборудования;
- регистрация аномального состояния;
- рекомендации по ремонту или модернизации оборудования;
- проверка эффективности выполненной модернизации.

В качестве примера реализации всех указанных выше мероприятий можно привести комплекс работ по снижению вибронегруженности внутрикорпусных устройств и рабочих кассет реактора №2 Кольской АЭС [2].

1. Аркадов Г. В., Павелко В. И., Усанов А. И. Виброшумовая диагностика ВВЭР. — М.: Энергоатомиздат, 2004.

2. Овчаров О. В. и др. Опыт виброшумового контроля внутрикорпусных устройств и рабочих кассет реакторов ВВЭР-440 различных проектов // 4-я Международная конференция «Безопасность АЭС с ВВЭР», Подольск. — 2005.



По вопросам сотрудничества просьба обращаться:
Центр диагностики «Диапром», 109507, РФ, Москва, ул. Ферганская, 25
Тел./факс: (495) 376 14 36
E-mail: diaprom@diaprom.com



ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ТОЛЩИНОМЕРА KRAUTKRAMER DMS2

(см. цветную вклейку)

Ультразвуковые толщиномеры весьма широко распространенные средства НК, разработанные для повышения безопасности и надежности оборудования и объектов, подверженных коррозии или эрозии.

Толщиномеры **KRAUTKRAMER** серии DM предназначены, преимущественно, для измерения остаточной толщины стенок таких объектов, как трубопроводы, резервуары давления, емкости, обшивка судов и т. п.

Толщиномеры **KRAUTKRAMER** серии CL используются для прецизионных измерений толщины, преимущественно, тонкостенных конструкций, причем необязательно металлических, но и изделий из стекла, керамики, пластмассы и др.

Ультразвуковой толщиномер **Krautkramer DMS 2** позволяет измерять толщину с одновременным наблюдением последовательности отраженных сигналов, в том числе с разверткой типа В (модели DMS 2, DMS 2TC). Этот прибор особенно удобен при измерениях остаточной толщины стенки на корродированных изделиях, при работе со слоистыми материалами и при высоких температурах. ЖК-индикатор высокой разрешающей способности и контрастности, с большим углом обзора, четко читаемый при всех условиях освещения. Запоминающее устройство большой емкости с гибкой структурой запоминания результатов измерения вместе с изображением сигналов и комментарием, просмотр сохраненной информации на ЖК-индикаторе.

Основные особенности

- Запатентованная технология TopCOAT для измерений по покрытию. Одновременное отображение толщины стенок и толщины покрытий
- Автоматическое измерение скорости звука в различных материалах без дополнительной калибровки в режиме Auto-V
- Большой ЖК-индикатор высокой разрешающей способности и контрастности, с большим углом обзора, четко читаемый при всех условиях освещения
- Решение большого числа задач благодаря широкому выбору преобразователей
- Встроенная память емкостью до 150 000 результатов измерения и 1100 изображений со всеми параметрами настройки

Другие особенности

- Автоматическая коррекция прохождения лучей в призме преобразователя, автоматическая калибровка нуля
- Световая и звуковая сигнализация выхода за нижний и верхний допуск
- Запоминание минимального значения толщины, возможность временного запоминания изображения
- Различные типы формирования файлов с записанными данными, расширение памяти за счет дополнительного устройства до 318 000 результатов и 2400 изображений на экране
- Программирование от компьютера или непосредственно в приборе, возможность подключения внешней клавиатуры, беспроводная инфракрасная связь с компьютером.

Технические данные

Диапазон измерений, мм	0,2...635
Скорость звука, м/с	1000...9999
Полоса частот усилителя, МГц	0,5...15
Индикатор	ЖК в отраженном свете, 71×95 мм, включаемая подсветка, 240×320 точек
Разрешающая способность, мм	0,01 или 0,1
Тактовая частота	4 или 8 Гц, 32 Гц для режима MIN или развертки типа В
Интерфейсы	RS 232 C, полностью конфигурируемый; внешняя клавиатура через PS 2, параллельный порт
Рабочая температура, °C	-10...+50
Питание	4 сухих батареи или аккумулятора типа AA; от сети переменного тока 220 В через блок питания
Продолжительность работы	До 40 ч при тактовой частоте 4 Гц и подсветке
Размеры, мм	256×129×30
Масса, г	725



**Компания «Сперанца» — официальный дистрибьютор
GE Inspection Technologies в Украине (подразделение Krautkramer)**

а/я 5, 4 ОС, г. Желтые Воды, Днепропетровская обл., 52200

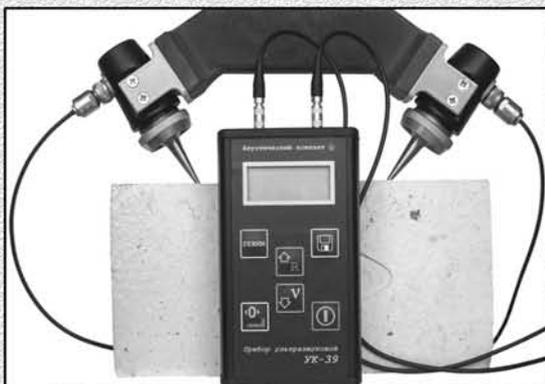
Тел.: 05652 28273, тел./факс: 05652 20633

E-mail: ndt@speranza-ua.com

www.speranza-ua.com



УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ПРИБОР УК-39



Предназначен для измерения времени и скорости распространения ультразвуковых колебаний в твердых материалах импульсным методом, сквозным и поверхностным прозвучиванием.

Прибор измеряет значение времени прохождения ультразвука в материале, которое пересчитывает в значение скорости распространения ультразвуковых волн, а также в величину прочности после получения экспериментальных градуировочных зависимостей согласно ГОСТ17624 и ГОСТ 24332.

Также при наличии методик возможно выявление дефектов (трещин, пустот), оценка несущей способности железобетонных конструкций.

Технические характеристики

Диапазон измерения времени, мкс	15...999
Дискретность измерения времени, мкс	0,1; 1
Пределы основной относительной погрешности измерения времени, не более, %	±1,0
Напряжение возбуждения, В	400±50
Рабочая частота колебаний, кГц	60
Питание от батарей типа 6F22 (Крона), В	7...10
Габаритные размеры электронного блока, мм	145x82x32
Масса, кг	
электронного блока	0,40
датчика	0,60

Базовый комплект поставки:

- электронный блок;
- ручка-держатель для поверхностного прозвучивания с ультразвуковыми датчиками (2 шт.) и конусными титановыми наконечниками (2 шт.);
- настроечный образец из оргстекла;
- соединительные кабели (2 шт.);
- датчики для сквозного прозвучивания (2 шт.);*
- программа передачи данных на ПК;
- кабель соединения с ПК;
- кожаный чехол;
- упаковка.

Примечание. *Поставка производится по желанию заказчика.

ООО НПФ «Ультракон» и ЧП «УК-ТЕСТ»

03126 Украина, г. Киев, а/я 507/8

Тел.: (38044) 599-66-97

Тел./факс: (38044) 404-70-33

e-mail: ultracon@ukrpack.net, ulgroup@iptelecom.net.ua <http://www.ndt-ua.com>

Адрес офиса:

ул. Качалова, 5

Тел.: (38044) 404-03-69



ОАО «ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ «УКРЭНЕРГОЧЕРМЕТ»

УЧЕБНЫЙ И АТТЕСТАЦИОННЫЙ ЦЕНТРЫ ПО НЕРАЗРУШАЮЩЕМУ КОНТРОЛЮ

пр. Ленина, 58, г. Харьков, 61072
тел. (057) 763-03-26, 763-03-27, 763-03-23; факс (057) 340-44-40
E-mail: acnk@energochermet.com, http://www.ndt-vostok.com.ua

ПРОВОДЯТ ПОДГОТОВКУ И АТТЕСТАЦИЮ СПЕЦИАЛИСТОВ ПО НЕРАЗРУШАЮЩЕМУ КОНТРОЛЮ:

- ◆ на I, II и III уровень квалификации согласно требований Международного стандарта ДСТУ EN 473-2001 «Квалификация и сертификация персонала в области неразрушающего контроля»;
- ◆ на I и II уровень квалификации в соответствии с Правилами ДНАОП 0.00-1.27-97 «Правила аттестации специалистов по неразрушающему контролю».

ПО СЛЕДУЮЩИМ МЕТОДАМ НК:

- | | |
|-----------------------|-----------------------------|
| ✓ Радиационный (RT)* | ✓ Капиллярный (РТ) |
| ✓ Ультразвуковой (УТ) | ✓ Визуально-оптический (VT) |
| ✓ Магнитный (MT) | |

* - аттестация только согласно ДНАОП 0.00-1.27-97

Компетентность Учебного и Аттестационного центров подтверждена аудитом **Немецкого головного органа по аккредитации (TGA)**.

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

Учебный и Аттестационный центры оснащены современными приборами и оборудованием, национальной и европейской нормативно-технической и методической базой по неразрушающему контролю.

Свидетельство об аккредитации DAR TGA (Германия) регистрационный №TGA-ZP-06-98-70,

Сертификат компетентности Органа по сертификации персонала Ассоциации «Укрэксперт» №01.ОСП.05.ЕН

Разрешения Органа по сертификации персонала Ассоциации «Укрэксперт» №001.ОСП.03.А №002.ОСП.03.У



НАУКОВО-ВИРОБНИЧА ФІРМА «ПРОМСЕРВІСДІАГНОСТИКА»

Тел./факс: (044) 200-88-13 ♦ Тел.: (044) 200-84-74 ♦ E-mail: promsdiag@ukr.net

Наша фірма на протязі багатьох років, використовуючи власну матеріальну базу та сучасні методи неруйнівного та руйнівного контролю й оцінки результатів випробувань, проводить роботи з неруйнівного та руйнівного контролю, технічного діагностування та чергового і позачергового технічного огляду посудин, що працюють під тиском, в тому числі цистерн; резервуарів для зберігання нафти та нафтопродуктів; вантажопідіймальних механізмів; парових і водогрійних котлів, трубопроводів пари та гарячої води; технологічного обладнання та трубопроводів хімічних, нафтохімічних та нафтогазопереробних виробництв; систем газопостачання; АГНКС; магістральних газо- та нафтопроводів; криогенного обладнання; несучих та огорожуючих конструкцій (Дозволи на продовження робіт № 1447.04.30-74.30.0; 1894.0430-74.30.0; 1930.04.30-74.30.0; 1146.05.30-74.30.0 Держнаглядохоронпраці України та Ліцензія Держбуду України № 105368 від 7 червня 2005 р.).

Нашою фірмою розроблено комплекс акустично-емісійного контролю об'єктів підвищеної небезпеки Мінпромполітики України «АКОРД», що пройшов державні випробування та метрологічну аттестацію в 2005 р. і є значно дешевшим за аналоги зарубіжного виробництва.

Ми тісно співпрацюємо з фахівцями ІЕЗ ім Є. О. Патона НАН України та іншими субпідрядниками і за час діяльності провели спільно з ними дослідження характеру розшарувань газових сепараторів; дослідження причин руйнування підземних магістральних трубопроводів, посудин, що працюють під тиском з технологічними об'язками, резервуарів для зберігання нафти та нафтопродуктів, технологічного обладнання, газорозподільних станцій ВАТ «Укрнафта» (НГВУ «Охтирканафтогаз»), ДП «Харківтрансгаз» та інших підприємств, виявили десятки одиниць обладнання, що мало небезпечні дефекти і усунули їх.

При виникненні у Вас пропозицій щодо неруйнівного та руйнівного контролю, технічного діагностування, технічного огляду (опосвідчення) названих вище об'єктів, придбання комплексу акустично-емісійного контролю ми готові до співпраці.



ИЗОТОП

КОМПЛЕКСНЫЕ ПОСТАВКИ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ТРУБОПРОВОДОВ И СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ:

- рентгеновские аппараты серии "АРИНА", "САРМА", "РАТМИР" и др.;
- рентгеновская пленка, химреактивы и проявочная техника AGFA NDT;
- расходные материалы для капиллярной и магнитопорошковой дефектоскопии ARDROX;
- принадлежности для радиографии



03680, ГСП, г. Киев, ул. Горького, 152, тел./факс: (044) 528-90-00
E-mail: ndt@izotop.kiev.ua

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

ПРОВОДИТ

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



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

АТТЕСТУЕТ

специалистов неразрушающего контроля по следующим методам:

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



ИЗГОТАВЛИВАЕТ

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

03680, г. Киев-150, ГСП, ул. Боженко, 17
Тел.: (044) 200-81-83; 490-71-19

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

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

Тел.: (38044) 271-23-90, 529-26-23

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

Тел.: (38044) 287-63-02, 529-26-23

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

Тел.: (38044) 528-34-84, 529-26-23

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

Тел.: (38044) 287-63-02, 529-26-23

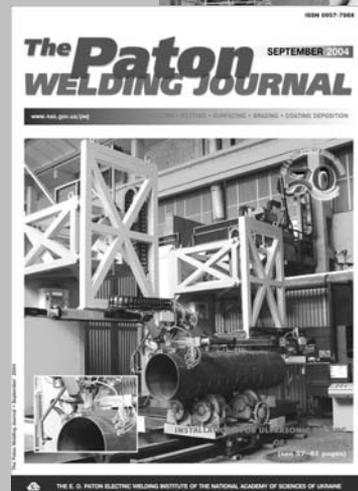
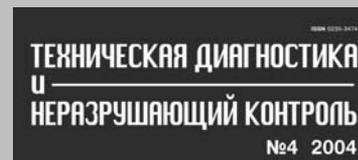
«Advances in Electrometallurgy», 4 номера в год. Полный перевод на английский язык журнала «Современная электрометаллургия».

Тел.: (38044) 528-34-84, 529-26-23

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

Подписка по каталогам подписных агентств, а также через редакцию.

Адрес редакций журналов:
03680, г. Киев, ул. Боженко, 11
Тел./факс: (38044) 271-24-03, 529-26-23,
287-63-02
E-mail: journal@paton.kiev.ua





ПОДПИСКА – 2006 на журнал «Техническая диагностика и неразрушающий контроль»

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

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

Телефоны и факсы редакции журнала «Техническая диагностика и неразрушающий контроль»: тел.: (38044) 271-23-90, 271-24-03, 529-26-23, факс: (38044) 528-34-84, 529-26-23.

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

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

РЕКЛАМА в журнале «Техническая диагностика и неразрушающий контроль»

Обложка наружная, полноцветная

- Первая страница обложки (190×190 мм) — 500 \$
- Вторая страница обложки (200×290 мм) — 350 \$
- Третья страница обложки (200×290 мм) — 350 \$
- Четвертая страница обложки (200×290 мм) — 400 \$

Обложка внутренняя, полноцветная

- Первая страница обложки (200×290 мм) — 350 \$
- Вторая страница обложки (200×290 мм) — 350 \$
- Третья страница обложки (200×290 мм) — 350 \$

Четвертая страница обложки (200×290 мм) — 350 \$

Внутренняя вставка

- Полноцветная (200×290 мм) — 300 \$
- Полноцветная (разворот А3) (400×290 мм) — 500 \$
- Полноцветная (200×145 мм) 150 \$
- Черно-белая (170×250 мм) — 80 \$
- Черно-белая (170×125 мм) — 50 \$
- Черно-белая (80×80 мм) — 15 \$

- Оплата в гривнях или рублях РФ по официальному курсу.
- Для организаций-резидентов Украины цена с НДС и налогом на рекламу.
- Статья на правах рекламы — 50% стоимости рекламной площади.
- При заключении рекламных контрактов на сумму, превышающую 1000 \$,

предусмотрена гибкая система скидок.

Технические требования к рекламным материалам

- Размер журнала после обрезки 200×290 мм.
- В рекламных макетах, для текста, логотипов и других элементов, необходимо отступать от края модуля на 5 мм с целью избежания потери части информации.
- Все файлы в формате IBM PC**
- Corell Draw, версия до 10.0
- Adobe Photoshop, версия до 7.0
- QuarkXPress, версия до 5.0
- Изображения в формате TIFF, цветовая модель CMYK, разрешение 300 dpi.

Подписано к печати 10.03.2006. Формат 60×84/8. Офсетная печать. Усл. печ. л. 7,8. Усл. кр.-отт. 8,92. Уч.-изд. л. 8,91 + 3 цв. вклейки. Цена договорная.