

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

Издатель: Международная ассоциация «Сварка»

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор

Б.Е.ПАТОН

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

Адрес редакции

03680, Украина, г.Киев-150,
ул.Боженко, 11
Институт электросварки
им.Е.О.Патона НАН Украины
Тел.: (044) 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

15 ЛЕТ СПУСТЯ	3
<i>ВЕНГРИНОВИЧ В. Л., ЗОЛОТАРЕВ С. А., ШЛЕГЕЛЬ В., ХЕССЕ Б.-М.</i> Двухшаговая реконструкция трехмерных изображений при ограниченном угле обзора и разреженных проекциях	11
<i>СКАЛЬСЬКИЙ В. Р., СЕРГІЄНКО О. М., ОКРЕПКИЙ Ю. С.</i> Підходи до оцінки руйнування включень в твердому тілі (Огляд)	18

НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ

<i>ТРОИЦКИЙ В. А., БОНДАРЕНКО А. И., ГОРБИК В. М.</i> Особенности создания и применения намагничивающих устройств на постоянных магнитах для магнитной дефектоскопии	26
<i>МАЛАЙЧУК В. П., МОЗГОВОЙ А. В., КЛИМЕНКО С. М.</i> Безэталонная обработка измерений в задачах ультразвукового динамического контроля труб	33
<i>ПОПОВ А. В., КОСЕНКОВ И. В., ЖУМАЙ В. Э.</i> Модификация критерия оценки акустико-эмиссионных процессов на основе инвариантов	40

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ РАЗДЕЛ

<i>МАКОВСКИЙ А. М., ТАРОВИК Н. Г.</i> Определение остаточного режимного ресурса крана и расчет циклической прочности его конструкций при диагностировании	42
<i>МЯСНИКОВ В. Е.</i> Оценка сходимости результатов испытаний при межлабораторных сличениях	45

ХРОНИКА И ИНФОРМАЦИЯ

Отчет по выставке	47
Национальному обществу неразрушающего контроля Болгарии — 45 лет	50
Научно-методический семинар «Новые методы контроля качества сварных соединений металлоконструкций»	51
Новости	53
Патенты в області ТД і НК	55
Поздравляем юбиляра!	57

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

№ 3, 2007

Founded in January, 1989

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

Publisher: *International Association «Welding»*

EDITORIAL BOARD:

Editor-in-Chief
B. E. PATON

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

- 15 YEARS AFTER 3
*VENGRINOVICH V. G., ZOLOTAREV S. A., SHLEGEL V., KHESSÉ
B. M.* Two-step reconstruction of 3-d images at a limited angle
of vision and rarefied projections 11
SKALSKII V. R., SERGIENKO O. M., OKREPKII Yu. S. Approac-
hes to inclusion fracture in a solid (Review) 18

NONDESTRUCTIVE TESTING

- TROITSKII V. A., BONDARENKO A. I., GORBIK V. M.* Features of
development and application of magnetization devices using per-
manent magnets for magnetic flaw detection 26
MALAICHUK V. P., MOZGOVOJ A. V., KLIMENKO S. M. Stand-
ard-free processing of measurements in the problems of ultraso-
nic dynamic testing of pipes 33
POPOV A. V., KOSENKOV I. V., ZHUMAJ V. E. Modification of
the criterion of evaluation of acoustic emission processes based
on invariants 40

INDUSTRIAL

- MAKOVSKII A. M., TAROVIK N. G.* Determination of the residual
specified life of the crane and cyclic strength analysis of its
structures
at diagnostics 42
MYASNIKOV V. E. Evaluation of the convergence of testing re-
sults in interlaboratory comparisons 45

NEWS AND INFORMATION

- Exhibition account 47
National NDT Society of Bulgaria is 45 50
Science-methodological seminar «Advanced methods of testing
the quality of metal structure welded joints» 51
News 53
Patents in the field of technical diagnostics and nondestructive
testing 55
Jubilee greetings 57

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



15 ЛЕТ СПУСТЯ

(по материалам статьи академика Б. Е. Патона и д-ра техн. наук А. Я. Недосеки «Концепция технической диагностики трубопроводного транспорта» в журнале «Техническая диагностика и неразрушающий контроль» № 3 за 1992 г.)

15 лет назад в третьем номере журнала «Техническая диагностика и неразрушающий контроль» (1992 г.) была опубликована статья академика Б. Е. Патона и д-ра техн. наук А. Я. Недосеки «Концепция технической диагностики трубопроводного транспорта». В статье изложены основные задачи и мероприятия, сформулированные и предложенные ранее группой специалистов Украины и России, которые необходимо выполнить для создания системы анализа и управления техническим состоянием магистральных трубопроводов. Как показала практика, многие вопросы этой концепции охватывают более широкий круг задач и могут быть отнесены и к другим промышленным конструкциям, таким как крупногабаритные хранилища, мосты, гидросооружения, конструкции и оборудование энергетических установок, требующим непрерывного диагностического контроля их безопасности. Концепция вышла за рамки только трубопроводного транспорта и разработки на ее основе постепенно реализуются в различных отраслях народного хозяйства как у нас в стране, так и за рубежом, что подтверждает ее актуальность и правильность намеченных направлений. Практика эксплуатации конструкций диктует свои требования к контролю их технического состояния, этапы которого в основе своей представлены в концепции, опубликованной 15 лет назад. Основные идеи концепции актуальны и продолжают развиваться в настоящее время. Так, в Украине специалистами ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины созданы и смонтированы на четырех хранилищах аммиака емкостью по 34 тыс. м³ каждое четыре системы непрерывного АЭ-мониторинга, первая из которых уже более шести лет осуществляет контроль состояния корпусов хранилищ. Такие же системы установлены на технологических трубопроводах и некоторых элементах оборудования цеха производства аммиака. Осуществляется контроль и подземной части аммиакопровода. Первые АЭ-датчики и датчики напряжений устанаовлены на подземной части аммиакопровода в районе Тилигульского и Григорьевского лиманов. Вот уже 2 года подвергается непрерывному контролю километровой участок трубы аммиакопровода, проходящей по мосту через реку Днепр. Подготовлена большая программа работ по непрерывному мониторингу оборудования и трубопроводов в энергетике. Можно отметить, что работы в этом направлении расширяются, приобретая все большее значение для промышленности. Идеи, высказанные коллективом ученых и разработчиков ИЭС 15 лет назад, постепенно осуществляются специалистами разных стран как в области трубопроводного транспорта, так и других смежных областях, где большое значение приобретают вопросы непрерывного контроля состояния конструкций. Учитывая актуальность концепции в наше время и необходимость сосредоточения усилий ученых и разработчиков в планомерном выполнении работ по обеспечению безопасности эксплуатации сварных конструкций любого назначения и, в том числе, трубопроводного транспорта, считаем целесообразным еще раз акцентировать внимание специалистов на основных положениях опубликованной работы и приводим текст статьи «Концепция технической диагностики трубопроводного транспорта» без сокращений и изменений.

В журнале «Техническая диагностика и неразрушающий контроль» № 1 за 1992 г. опубликована информация о разработанной системе мероприятий, направленных на обеспечение безопасности эксплуатации трубопроводного транспорта на территории СНГ (НТЦ «Нефтепромдиагностика» (С. Л. Добрынин, А. С. Генералов), ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины (Б. Е. Патон, А. Я. Недосека, А. А. Грузд), ГГК (В. Н. Розов, С. П. Зарицкий)). Представленные этими разработчиками материалы тщательно рассмотрены в комиссии темы 10 и приняты уже в виде концепции Координационным советом ассоциации «Высоконадежный трубопроводный транспорт». Разработанная концепция охватывает проблему в целом, но не дает детального анализа каждого из представленных в ней направлений. Соответствующие материалы постепенно появляются и публикуются по мере разработки их специалистами. Ниже в виде общей концепции представляется обоснование исследований и работ в одном из таких направлений — обеспечение безопасности эксплуатации труб и трубных узлов путем диагностики их технического состояния с последующей оценкой их реального остаточного ресурса.

Раздел первый. Обоснование. Надежная эксплуатация системы трубного хозяйства, включающая агрегаты и узлы перекачивающих станций, линейную часть трубопроводов, их промысловую часть, должна обеспечиваться на всех этапах создания трубопроводов.

1. На стадии изысканий и проектирования, когда происходит выбор конструкции газонефтегазотранспортирующих узлов и систем. При этом должны быть проработаны природоохранные мероприя-

тия, надежность и безопасность конструкции, предусмотрены средства диагностики.

2. На стадии подготовки производства должны быть предусмотрены все необходимые мероприятия, обеспечивающие качественное изготовление как самих труб, так и их монтаж при строительстве, включая транспортировку. Важным вопросом этого этапа является обеспечение возможности проведения контрольных операций на трубах,



их узлах, а также устройствах и агрегатах, обеспечивающих подачу газа и нефти.

3. Строительство трубопровода — самое ответственное звено всей цепи создания трубопровода. На этой стадии должны быть проведены работы по контролю геометрии наращиваемого трубопровода, контролю дефектов стыковки и изоляции, должны быть получены все необходимые данные для последующей оценки ресурса.

4. Очень большой объем работ должен проводиться при эксплуатации трубопровода. Подвижка грунтов, коррозия, изменение состава перекачиваемого продукта — все это существенно влияет на работоспособность труб, агрегатов и устройств. На этом этапе предусматривается ряд операций, от качества выполнения которых зависит надежная работа трубопровода. Наиболее важным звеном контрольных операций на этой стадии является оценка остаточного ресурса как конструкции в целом, так и отдельных узлов труб и агрегатов. Этому вопросу и посвящена приведенная во втором разделе концепция.

5. Большое значение для сохранения работоспособности трубопровода имеют ремонтно-восстановительные работы. Здесь необходимо отметить важность разработки технологии осуществляемого ремонта. В некоторых случаях неправильно или наспех выбранная технология может привести к быстрому повторению аварии в месте ремонта. Ремонт трубопровода почти всегда базируется на применении сварки, где она используется для ликвидации дефектных мест после их разделки или вварки вставок в месте износа. В этом случае весьма важны как подготовительные мероприятия, так и заключительные, позволяющие обеспечить надежную работу соединения или заплаты. Важна также последующая оценка их прочности и ресурса.

6. Весьма важным мероприятием, которое должно выполняться на всех стадиях создания трубопровода, является подготовка базы данных обо всех работах, которые проводились как при создании, так и при эксплуатации и ремонте трубопровода. Банк данных должен быть автоматизирован и иметь легкий доступ. Данные банка должны давать исчерпывающую информацию о работах на каждом этапе создания трубопровода.

7. Одним из наиболее важных этапов, связанных с обеспечением безопасности эксплуатации газонефтепроводов, является система подготовки кадров. Практика работы с конкретными предприятиями показывает, что подготовка кадров в системе диагностики является важнейшим залогом успеха. Недостаточное внимание к надлежащей подготовке кадров во многом ответственно за те неприятности, которые происходят при строительстве и эксплуатации агрегатов и узлов газонефтепроводов. Такая система должна включать

элементы как подготовки, так и повышения квалификации обслуживающего персонала, их сертификацию по международным стандартам. На этом этапе должна разрабатываться нормативно-техническая документация по аттестации систем контроля. Банк данных этого этапа должен войти составной частью в общий банк данных по трубопроводу.

8. Завершающей частью системы обеспечения безопасности эксплуатации трубопроводного транспорта должна быть автоматическая система обнаружения и предупреждения аварийных ситуаций. Такая система должна быть многоступенчатой: от центра диспетчерского управления движением и распределением продукта до конкретного рабочего места. Задача этой системы — вовремя обнаружить аварийно-опасный участок, определить степень опасности создавшейся ситуации, время, которое может быть отведено для предотвращения аварии, дать возможность перекрыть аварийный участок, обеспечить подачу продукта, ранее текшего по предаварийному участку, по другим участкам, принявшим на себя повышенные нагрузки на время ликвидации аварийной ситуации.

Рассматривая более подробно пункты **3, 4, 8** как систему научно-исследовательских, научно-технических, производственных и организационных мероприятий, необходимо прежде всего ответить на следующие три вопроса:

1. Существуют ли в настоящее время теория, методы и средства, которые при применении к конкретным промышленным объектам могут ответить на вопрос — безопасна ли эксплуатация данных конструкций, а если да, то в течение какого периода времени?

2. Если такие методы существуют, то какова их структура и состав в применении к конструкциям трубопроводного транспорта как в его линейной, так и промышленной частях?

3. Какова стоимость реализации проекта обеспечения безопасности эксплуатации объектов трубопроводного транспорта? В какие сроки и при каких организационных структурах такая система может быть осуществлена?

Все три вопроса требуют серьезного анализа, и только их полное решение позволит решить поставленную задачу.

Отвечая на первый вопрос, необходимо отметить, что прочность объектов, как правило, хорошо обеспечена еще на стадии их проектирования. Проведены расчеты, выбран материал, даны соответствующие запасы, просчитан ресурс конструкции или, что точнее, обеспечен ресурс, заданный сроком службы. Однако длительная эксплуатация изделия, нарушение технологии производства приводят к необратимым процессам прежде всего в материале, особенно в зонах тех-



нологического воздействия, где некоторые прочностные свойства нарушаются еще на стадии изготовления. Таким образом, основную ответственность за дальнейшую судьбу конструкции в эксплуатации несут именно отклонения свойств и структуры материалов конструкции от принятых при расчетах условий ее работы, появившиеся в процессе эксплуатации. Следовательно, скорость нарастания таких негативных изменений в материале является решающим фактором.

Учитывая изложенное, основное внимание при разработке мер безопасности должно быть уделено, во-первых, организации по приведению условий эксплуатации конструкций в соответствие с техническими требованиями, разработке систем, оборудования и нормативных материалов, обеспечивающих поддержание заданных этой документацией норм и режимов, во-вторых, учитывая возможность 100%-й гарантии соблюдения технических норм на эксплуатацию в течение длительного срока, а также необратимость процессов в материалах труб, происшедших за это время, — поисков методов и средств, которые бы анализировали несущую способность материалов и своевременно предупреждали об ее исчерпании, в-третьих, должна быть подготовлена система оргтехмероприятий по ремонту и восстановлению полностью или частично утративших несущую способность элементов конструкции.

Эти большие работы включают в себя как научно-исследовательские, так и производственные разработки.

Продолжая рассматривать первый вопрос, можно отметить, что в настоящее время наука о прочности располагает тремя методами, способными ответить на поставленную задачу.

1. Методы, основанные на привлечение общих теорий прочности материалов. Они могут быть использованы лишь в случаях, когда предполагаемая авария может произойти в результате не появления трещин, а ослабления несущего сечения конструкции за счет, например, утонения стенки или изменения механических свойств материалов. Такая методика должна применяться как вариант после того, как проверка тем или иным способом показала, что трещин в материале нет.

2. Методы, основанные на общих законах механики разрушения для материалов с появившимися и прогрессирующими трещинами. Этот метод наиболее общий. Однако он труден в применении, так как требует, во-первых, обнаружения места и параметров трещины, анализа напряженного состояния в ее окрестности, анализа изменившихся за многолетнюю эксплуатацию механических свойств материала в районе образовавшегося дефекта.

3. Группа методов третьего типа может быть условно охарактеризована как группа интеграль-

ных методов, которые реагируют лишь на активизацию того или иного дефекта по сопутствующим ему процессам, например, по излучению упругих волн, вызванных перемещением дислокаций, появлением их опасной концентрации в каком-либо месте конструкции, появлением и развитием трещины. Группа этих методов наиболее перспективна, поскольку может давать информацию самостоятельно и в совокупности со второй группой методов, используя их информацию как дополнительную, повышающую достоверность принятого решения. К этой группе прежде всего следует отнести метод акустической эмиссии (АЭ), достаточно разработанный и используемый в мировой практике в настоящее время.

Следует, однако, отметить две весьма важные особенности в применении метода АЭ. Первая связана с тем, что хотя и есть определенные представления о механизме явлений, связанных с образованием и излучением упругих волн при возникновении и развитии локальных дефектных мест в материалах при их деформировании, все же не всякая аппаратура из ныне существующей может быть использована для целей диагностики. Необходима строгая оценка технических возможностей такой аппаратуры, возможностей ее применения для решения тех или иных задач.

Второй особенностью применения метода АЭ в том случае, если возможность использования имеющейся аппаратуры обоснована, есть необходимость точного и неукоснительного соблюдения всех методических материалов и инструкций. Уже незначительные отклонения могут привести к невоспроизводимым результатам, которые в связи с отсутствием метрологии метода не смогут быть пересчитаны. Обе особенности весьма важны при выборе и применении АЭ-аппаратуры.

Мы специально остановились более подробно на возможностях метода АЭ, поскольку в настоящее время просто не существует другого неразрушающего метода, позволяющего прямо, минуя трудоемкие и малоточные расчеты, решать задачу оценки состояния материалов изделий, находящихся в реальных условиях эксплуатации. Учитывая сложность метода, его новизну для многих исследователей и специалистов контрольных служб предприятий и управлений, а также относительную дороговизну аппаратуры, метод рекомендуется применять только после соответствующей подготовки специалистов, приобретения ими навыков работы.

Рекомендации по выбору и применению АЭ-аппаратуры в целях технической диагностики могут быть даны организациями, специализирующимися в этой области и имеющими соответствующие полномочия. В частности, такие рекомендации могут быть даны ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины, уже разработавшим положение по



применению АЭ в целях испытания сосудов, которые работают под давлением и имеющим согласованную с Горгостехнадзором Украины комиссию по аттестации и сертификации специалистов в этой области.

Таким образом, отвечая на первый вопрос, необходимо отметить, что к настоящему времени существует достаточно отработанный арсенал методов и средств, способных решать задачу оценки реального остаточного ресурса материалов, а значит, и конструкций.

Второй вопрос требует ответа на то, все ли существующие методы разработаны так, чтобы их можно было использовать уже сейчас на конкретных узлах и конструкциях трубопроводного транспорта. Здесь можно дать четкий ответ — теория общая и разработана применительно к любым конструкциям и материалам. В то же время конкретная привязка этих разработок к конструкциям требует в большинстве своем проведения работ, связанных с особенностями эксплуатации этих конструкций. Поэтому существующие конкретные методы и разработки должны быть постепенно приспособлены (адаптированы) к конкретным физическим объектам. В некоторых случаях (механика разрушения) это может быть связано с разработкой новых методов и аппаратуры для получения информации, недостающей для принятия решения.

И, наконец, приступим к ответу на третий вопрос: стоимости, срока и организации работ. Применение общих теорий прочности не требует специальных научно-исследовательских работ. В этой области разработаны теория, методы и средства оценки состояния конструкций. Схема действия в этих случаях следующая:

- а) оценка напряженного (деформированного) состояния опасной области конструкции;
- б) анализ геометрии конструкции для определения коэффициента концентрации напряжений (деформаций);
- в) учет состояния материала на момент изменений;
- г) наличие таблицы допускаемых напряжений для сравнения с действующими;
- д) принятие решения после сравнения действующих напряжений с допускаемыми.

В этом перечне наиболее проблематичным становится пункт в), где требуется разработка специальной методики и оборудования, или жесткое обоснование косвенных приемов оценки материала с указанием предполагаемого запаса такой оценки. Метод может быть использован на доступных к конструкции участках, так как требует прямого контакта измерительной аппаратуры с объектом.

Применение механики разрушения, как было сказано выше, требует знания координат распо-

ложения дефекта и его геометрии; напряженного состояния в районе дефекта; механических свойств материала в районе дефекта.

Наиболее сложным является вопрос обнаружения дефекта, определение его геометрии и определение механических свойств материала.

Работы должны выполняться поэтапно в следующем порядке.

На первом этапе (до пяти лет) должно быть научно обосновано и выбрано из существующего в наличии, в соответствии с предлагаемой концепцией, измерительное оборудование и методики его применения. Это оборудование должно быть проверено и отработано на реальных объектах. Должны быть выданы технические задания на разработку нового оборудования и приборов, необходимых для диагностирования труб.

На втором этапе (ориентировочно пять лет) должна осуществляться опытная эксплуатация выбранного оборудования и методик его применения силами созданных региональных центров диагностики со специально подготовленным и сертифицированным персоналом. Эти центры постепенно будут оснащаться все более новым и совершенным оборудованием. На этом этапе отдельные наиболее опасные участки газонефтепроводов должны находиться под непрерывным контролем.

На третьем этапе (около десяти лет) создается и поэтапно вводится в эксплуатацию комплексная автоматизированная система сбора, обработки данных и принятия решения о состоянии всего трубопроводного транспорта (создается аппаратура и оборудование, осуществляется ее отработка и наладка, проводятся ограниченные научно-исследовательские работы, связанные с внедрением аппаратуры, обобщается система подготовки кадров, осуществляется их подготовка).

Представленный выше срок и этапы предусматривают выполнение всего огромного комплекса работ по обеспечению безопасности эксплуатации конструкций газонефтепроводов вплоть до полной автоматизации принятия решения. В то же время программа должна быть составлена таким образом, чтобы на каждом этапе работы постепенно вводились в действие (практически ежегодно) все новое оборудование, аппаратура и методики, обеспечивающие безопасность эксплуатации сначала отдельных, наиболее опасных участков трубопроводов, с постепенным наращиванием мощности до необходимой для контроля всего хозяйства. Сроки выполнения того или иного этапа являются ориентировочными и, естественно, будут уточняться по мере выполнения и развития работ, причем каждый новый этап должен носить преемственный характер.

Создание систем диагностики промышленных объектов, обеспечение безопасности их эксплуа-



тации является сложнейшей научно-технической задачей, решение которой требует не меньшего количества усилий и средств, чем те, которые были израсходованы на создание самого объекта. Поэтому можно предполагать, что стоимость всех трех этапов работ по технической диагностике трубопроводного транспорта может составить от 40 до 80 % стоимости затрат на его строительство, в зависимости от состава и сложности выполняемых системой поручений.

Самым сложным в решении поставленной задачи является вопрос организации работ, отбора специалистов и разработок, формирование рабочих групп и направлений. Необходимо продолжить последовательный, в рамках ассоциации «Высоконадежный трубопроводный транспорт», и поэтапный отбор специалистов и разработок через тематические совещания, семинары, конкурсы работ в свете предлагаемой ниже концепции. Работа по отбору специалистов и работ в основном должна быть завершена в течение первого этапа. При этом должен быть определен контингент специалистов и утверждены практические опробованные основные направления работ.

Выводы

1. Анализ состояния конструкции определяется анализом состояния ее материала. Поэтому прогнозирование остаточного ресурса является прогнозированием работоспособности материала.

2. Оценка состояния материала, а следовательно, и конструкций, может определяться тремя методами: а) на основе общих законов теории прочности; б) на основе механики разрушения; в) на базе АЭ.

3. В настоящее время существуют теоретические и практические разработки, которые могут быть применены для решения задачи технической диагностики трубопроводного транспорта. При этом достоверность принятого решения, наверное, не будет превышать 85 % при самых благоприятных стечениях обстоятельств.

4. Практически все разработанные к настоящему времени методы и аппаратура должны быть доработаны применительно к контролируемым объектам газонефтепроводов. Объем доработок зависит от сложности аппаратуры и предъявляемых требований к ее работе.

5. Внедрение методов и аппаратуры должно быть поэтапным, с тем, чтобы на каждом последующем этапе были учтены особенности применения аппаратуры, выявленные при ее работе в течение предыдущих этапов. При этом каждый последующий этап должен формироваться в предыдущем.

6. Необходимо создание системы подготовки кадров испытателей и контролеров, хорошо владеющих современными методами применения из-

мерительной техники и приборов. Аттестация кадров должна быть организована по отдельным направлениям при крупных научно-исследовательских институтах или центрах и проводиться на международном уровне.

7. Для повышения достоверности в принятии решения о состоянии газонефтепроводов, а также создания замкнутой сети контрольного оборудования при выполнении работ третьего этапа потребуется более углубленная проработка вопросов теории, разработка новых методов, методик, аппаратуры и оборудования.

8. Стоимость выполняемых работ будет составлять от 40 до 80 % затрат, вложенных в строительство.

Раздел второй. Собственно концепция. Прежде чем перейти к рассмотрению структур систем и методик диагностики трубопроводного транспорта, дадим определение самому понятию диагностики, с тем, чтобы это понятие не отождествлялось с понятием дефектоскопии.

Под диагностикой понимают оценку с заданной степенью вероятности состояния объекта по основному (основным) признаку, характеризующему возможность его функционирования.

Необходимо отметить существенную особенность в определении диагностики — это вероятность, с которой оценка состояния объекта может быть сделана. Без вероятности такая оценка теряет всякий смысл, ибо 100%-я гарантия чего-либо невозможна.

Дефектоскопия же только находит дефекты.

А. Направление в диагностике.

К настоящему времени сложились и независимо друг от друга развиваются два направления диагностики объектов: 1 — диагностика по косвенным признакам; 2 — диагностика прямыми методами.

В первом случае решение о состоянии объектов принимается группой экспертов по некоторым косвенным признакам, полученным с объекта в процессе его эксплуатации.

В случае диагностирования трубопроводов такими признаками могут быть:

- а) утонение стенки;
- б) состояние изоляции;
- в) катодная защита;
- г) состав движущегося агента;
- д) подвижка грунтов и изменение геометрии трубы;

е) стабильность давления в трубе и другие характеристики, каждая из которых или их совокупность не позволяют принять решение о состоянии объекта, используя математические или физические модели, описывающие его функционирование.



Группа экспертов в каждом случае подбирается на основании статистических оценок каждого эксперта. Оценки подобранной группы также проходят статистическую обработку и решение принимается с определенной степенью достоверности. Как видно из самой сущности вопроса, эта достоверность будет невысока и в среднем не превысит 5...10 %.

Во втором случае оценка состояния объекта принимается на основании анализа и обработки текущей информации с действующего объекта, совокупность которой позволяет принимать решение, используя математические и физические модели, описывающие работоспособность объектов. К таким моделям в случае оценки работоспособности трубопроводов можно отнести: общие теории мгновенной прочности, куда входят данные о напряженном (деформированном) состоянии объекта, описание его геометрии и материала; модели механики разрушения (предполагают возможность измерения напряженного состояния объекта в местах дефекта, а также его конфигурацию и ориентацию, знание механических характеристик материала вблизи дефекта); модели квантовой механики разрушения, когда интегральные признаки образования очагов разрушения и их развития (например, упругие волны деформаций, сопутствующие разрушению) могут быть зарегистрированы и расшифрованы.

Точность оценки состояния объекта в приведенных случаях намного выше, но и здесь она, очевидно, не превысит 80...85 %.

Б. Способы получения информации для диагностирования объектов.

В трубопроводном транспорте можно выделить два основных способа получения информации для диагностирования.

Внутритрубный способ предусматривает перемещение внутри трубы установки, снабженной соответствующей измерительной аппаратурой, которая выдает информацию для срабатывания той или иной модели и описывает процессы разрушения материала трубы. К сожалению, в настоящее время на этих установках нет приборов, которые бы давали возможность принимать решение, используя методы прямого диагностирования. Наиболее надежно проводится измерение лишь толщины стенки трубы — важного, но недостаточного для принятия прямого решения о состоянии трубы параметра. Планируется измерение отклонения оси трубопровода от линейной, которое даст после перерасчета значения действующих в трубе напряжений. Последние данные сомнительны, так как в трубе протекают с течением времени релаксационные процессы и данные расчета могут не соответствовать реальным. Необходимы прямые методы измерения напряжений. Предполагается измерение наличия и разме-

ров трещин. Но по данным разработчиков таких методов и аппаратуры можно судить, что разрешающая способность таких методов будет недостаточна.

Наружные методы. Оборудование работает в более благоприятных условиях, чем внутритрубное. Однако этим методам труднодоступны скрытые в земле участки труб. Наиболее эффективно они могут быть использованы на открытых участках промысловой части разработок, на компрессорных и перекачивающих станциях, контролируя агрегаты и узлы труб, а также там, где трубы выходят на поверхность. В отдельных случаях при специальной раскопке небольших участков труб они могут применяться и для подземных прокладок. В этом случае может быть использован целый набор приборов и решение о состоянии трубопровода или его участка может приниматься прямыми методами, дающими более высокую достоверность.

В. Готовность методик и оборудования для диагностики.

Методики. В настоящее время полностью готовых методик, дающих возможность принимать решение о состоянии несущих элементов трубопроводов, нет. Их необходимо разработать, приспособив подобные разработки, имеющиеся для других отраслей промышленности.

Оборудование и аппаратура. Из измерительных средств, которые могут быть использованы в настоящее время для целей диагностирования трубопроводов, имеются: приборы для измерения напряженного состояния (магнитные, на основе эффекта Баркгаузена, ультразвука); аппаратура для обнаружения дефектов (акустоэмиссионная, ультразвуковая, рентгеновская); аппаратура для оценки состояния объекта (аустико-эмиссионная).

Требования повышения достоверности информации при принятии решения о состоянии конструкции или ее узлов может привести к необходимости совершенствования существующей и к разработке новой аппаратуры.

Выводы

При разработках, выполняемых в настоящее время в соответствии с существующей программой по обеспечению безопасности эксплуатации трубопроводного транспорта, основное внимание уделяют вновь строящимся трубопроводам, и лишь их незначительный объем бесконцептуально посвящен действующим.

2. Техническая диагностика труб и трубного хозяйства в соответствии с предлагаемой концепцией должна осуществляться двумя методами:

косвенным, выполняемым группой из 15...20 человек, специально отобранных экспертов (их прямое присутствие необязательно; их мнения будут внесены в ЭВМ). Метод необходимо разви-



вать. Для этого нужно создать соответствующую экспертную систему. Работы над такой системой ведутся, однако требуется их систематизация и корректировка. Необходимо также помнить, что точность оценки состояния объектов в этом случае невысока;

прямым, когда данных измерений для принятия решения о состоянии трубы таким путем достаточно. Наиболее готовой к применению для этого случая является аппаратура АЭ, хотя методики ее применения сложны и требуют квалифицированного подхода. Однако такая аппаратура выпускается серийно практически для любых условий эксплуатации и ее необходимо обрабатывать на реальных объектах газонефтепроводов. Остальные методы прямой оценки требуют разработки специальных приборов и оснастки. Для некоторых из них, например, таких, как определение механических свойств материала без разрушения, в настоящее время нет предложений на разработку. На базе прямых методов и с учетом косвенных могут быть созданы более эффективные комплексные экспертные системы.

3. Во всех случаях необходимы разработки и совершенствование носителей измерительных систем, приборов и оборудования: внутритрубных снарядов, работающих в непрерывном и шаговом режимах; наружных носителей — автоматов, вездеходов, вертолетов, спутников. Такие работы уже проводятся и, в частности, в ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины.

4. Внедрение оборудования должно происходить поэтапно.

Этап I. На первом этапе (до пяти лет) должно быть научно обосновано и выбрано из существующего в наличии, в соответствии с предлагаемой концепцией, измерительное оборудование и методики его применения. Это оборудование должно быть проверено и отработано на реальных объектах. Должны быть выданы технические задания на разработку нового оборудования и приборов, необходимых для диагностирования труб.

На первом этапе должны быть созданы: аппаратура для оценки состояния трубопроводов, а также методики ее применения; мобильные малоканальные до 8...12 каналов информации передвижные лаборатории для работы в различных регионах страны (ориентировочно до 100 единиц подвижного оборудования, смонтированного в автобусах, вездеходах или вертолетах); созданы и обучены работающие по единому плану инспекционные диагностические посты и службы в различных регионах страны.

Первый этап должен предусматривать эксплуатацию техники на реальных объектах газонефтепроводов для набора статистики и корректирования методик по применению аппаратуры. В этот

же период времени должны быть проведены работы по созданию условий перехода к многоканальным системам (например, разработка автоматической системы передачи данных по радиоканалу, разработка математического обеспечения с учетом многоканальности и другие работы, определенные ходом эксплуатации подвижных установок).

На первом этапе должна быть подобрана группа экспертов, проведены предварительные работы по выбору и разработке экспертной системы оценки состояния объекта газонефтепроводов и связанных с их функционированием агрегатов и устройств.

Этап II. На втором этапе (до пяти лет) в результате работы подвижных лабораторий будут созданы условия для перехода к стационарным встроенным системам диагностики трубопроводов. Должны быть созданы экспериментальные участки стационарно контролируемых трубопроводов (два-три участка длиной до 50 км). На всем протяжении трубопровода определяются контролируемые точки и устанавливаются или перемещаются преобразователи. Информация передается по радиоканалу к системам переработки информации (разработки первого этапа). Эксплуатация стационарных систем позволит расширить количество и протяженность опытных участков и подготовить переход на стационарное слежение через спутники связи.

Должна начать функционировать опытная экспертная система диагностики отдельных участков трубопроводов.

Этап III. На третьем этапе (до 10 лет) значимость промежуточных систем контроля будет постепенно усиливаться за счет вступающей в действие стационарной спутниковой системы диагностики состояния трубопроводов, действующей на всей сети трубопроводного транспорта. Такая сеть образует автоматическую межгосударственную эксплуатационно-контрольную систему с региональными и местными диспетчерскими пунктами, обеспечивающую движение продуктов и ремонт дефектных и аварийных участков. На этом этапе вводится в строй комплексная экспертная система технической диагностики в полном объеме со следующими функциями:

1. Измерение, обработка и представление с заданной степенью вероятности исходных данных, необходимых для оценки несущей способности конструкций.

2. Экстраполяция полученных исходных данных в направлении принятой прогнозной координаты.

3. Расчет несущей способности конструкций по поступившей прогнозной и дополнительной, характеризующей условия производства и эксплуатации конструкции, информации.



4. Оценка состояния конструкции и возможных последствий аварии. Обработка вариантов последствий по степени опасности.

5. Выбор оптимального варианта. Принятие решения.

6. В соответствии с принятым решением выдача команды исполнительным механизмам для изменения режима работы конструкции с целью выхода из аварийного состояния, а также сообщение о возможности выполнения ремонтно-восстановительных работ, необходимости частичного или полного прекращения функциональной деятельности узла или конструкции в целом.

7. Передача информации о состоянии конструкции в центральный диагностический пост для принятия решения по всему объекту.

8. Должен быть осуществлен последовательный, в рамках ассоциации «Высоконадежный трубопроводный транспорт», и поэтапный отбор специалистов и разработок через тематические совещания, семинары, конкурсы работ в свете предлагаемой концепции. Работа по отбору специалистов и работ в основном должна быть завершена в течение первого этапа. При этом должен быть определен и обоснован контингент специалистов

и утверждены практически опробованные основные направления работ.

Для того, чтобы выполнить работы в указанные выше сроки и представлять ежегодный практический выход, к рассмотрению должны приниматься в основном законченные разработки, требующие лишь привязки к объектам диагностирования.

9. Необходимо создание системы подготовки кадров испытателей и контролеров, хорошо владеющих современными методами применения измерительной техники и приборов. Аттестация кадров должна быть организована по отдельным направлениям при крупных научно-исследовательских институтах или центрах и проводиться на международном уровне. Например, часть направлений подготовки кадров могла бы быть организована на базе ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины.

10. Стоимость работ по технической диагностике трубопроводного транспорта может составить от 40 до 80 % стоимости затрат на его строительство, в зависимости от состава и сложности выполняемых системой поручений.

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

*Материал для публикации подготовил
д-р техн. наук, проф. А. Я. Недосека*

ОГАНІЗАТОРИ: ТОРГОВО-ПРОМИШЛЕННА ПАЛАТА УКРАЇНИ
УКРАЇНЬСЬКА АСОЦІАЦІЯ КІЛЬОСТІ

ДНІ КІЛЬОСТІ В КІЄВІ - 2007

СТАНДАРТИ І КІЛЬОСТІ

3-Я СПЕЦІАЛІЗОВАНА ВИСТАВКА-ФОРУМ
ОБОРУДОВАННЯ І ПРИБОРІВ ДЛЯ КОНТРОЛЮ І
УПРАВЛІННЯ КІЛЬОСТЮ

ТЕМАТИКА ВИСТАВКИ-ФОРУМА:

- комплексное оснащение современных промышленных лабораторий (лабораторные стенды, оборудование, приборы, инструменты, материалы, химреактивы, мебель, защитные средства, спецодежда)
- аналитические техника и испытательные установки для контроля качества (контрольно-измерительные оборудование, весоизмерительная техника, оптические приборы, оборудование для хроматографии др.)
- дефектоскопия - неразрушающий контроль и техническая диагностика
- автоматизация и роботизация лабораторных процессов
- мобильные лаборатории контроля качества
- компьютерная поддержка контроля качества
- экология производства, экологический контроль
- сертификация и контроль свойств материалов и качества готовой продукции для всех отраслей промышленности

07 - 09 ноября 2007

Выставочный центр
Торгово-промышленной палаты Украины
Большая Житомирская, 33, Киев, Украина

Контакты:
Торгово-промышленная палата Украины
Управление международных и иностранных выставок
Ул. Большая Житомирская, 33, 01601, Киев, Украина
Тел.: +38 044 494 0397; 272 2805. Факс: +38 044 568 5751
E-mail: expo@ucci.org.ua
http://expo.ucci.org.ua/quality



ДВУХШАГОВАЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ ТРЕХМЕРНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПРИ ОГРАНИЧЕННОМ УГЛЕ ОБЗОРА И РАЗРЕЖЕННЫХ ПРОЕКЦИЯХ

В. Л. ВЕНГРИНОВИЧ, С. А. ЗОЛОТАРЕВ, В. ШЛЕГЕЛЬ, Б.-М. ХЕССЕ

Рассмотрена проблема реконструкции изображений для ограниченного угла обзора и разреженных проекций в перспективе применения к обследованию технических объектов, для которых коэффициенты ослабления рентгеновского излучения отличаются незначительно. При использовании априорных сведений предполагаются известными возможный фазовый состав объекта и значения коэффициентов ослабления реконструируемых фаз. Количество фаз, значение коэффициента ослабления каждой отдельной фазы и их расположение предполагаются известными, но ничем не ограниченными. Многошаговая концепция реконструкции выбирается как противовес недостатку используемых данных. На первом шаге реконструкции используется байесовский подход, на втором так называемая оболочечно-воксельная итерационная техника, которая обеспечивает оптимальную конфигурацию поверхностей фаз и позволяет достигнуть глобального минимума в конфигурационном пространстве.

The paper deals with the problem of image reconstruction for a limited angle of vision and rarefied projections with the prospect of application to examination of technical facilities, for which the coefficients of weakening of X-ray radiation differ only slightly. When a priori data are used, the likely phase composition of the object and values of the coefficients of weakening of the reconstructed phases are assumed to be known. Phase number, value of the coefficient of weakening of each individual phase and their arrangement are taken to be known, but totally unlimited. Multistep concept of reconstruction is selected as a countermeasure to make up for the lack of used data. In the first step of reconstruction Bayesian approach is used, in the second- the so-called shell-voxel iteration technique, which provides the optimum configuration of the phase surface and allows achieving the global minimum in the configuration space.

В последние годы реконструкция изображений из неполных и зашумленных рентгеновских проекций при ограниченном угле обзора привлекает все большее внимание, вызванное практическими потребностями уменьшения времени съемки объекта, дозы радиационного облучения, а также необходимостью в режиме реального времени получить изображение интересующей области объекта (например, изделий из сочетания керамики и пластмасс или, например, полостей в сварных швах, заполненных шлаковыми включениями или интерметаллидами, или в медицинских приложениях для идентификации злокачественной опухоли или обследуемого органа). Одной из важных тенденций является переход к алгоритмам реконструкции изображений, использующим просвечивание коническим пучком вместо двухмерного веерного пучка, а также использование неполных наборов исходных данных (малое количество проекций). Эти факторы непосредственно влияют на радиационную дозу и время реконструкции.

Если используемая система сбора данных обеспечивает круговой доступ к объекту, то используется классическое преобразование Радона [1], либо итерационный подход [2] для получения двух- или трехмерных изображений из одномерных или двухмерных проекций соответственно. Однако когда в нашем распоряжении имеются только данные, полученные при ограниченном уг-

ле обзора или ограниченном количестве разреженных проекций, либо при этих обоих ограничениях, тогда проблема обращения данных становится некорректной [3, 4], и применяется, как правило, традиционный алгоритм фильтрованных обратных проекций (ФОП). Это приводит к деградации реконструируемого изображения, сопровождающейся появлением значительных артефактов, как, например, размыванием изображения в направлении распространения рентгеновского излучения, причем, чем меньше угол обзора, тем большую степень размывания мы получим.

Существует общепринятое мнение [5], что для преодоления недостатка данных и улучшения качества реконструкционных алгоритмов необходимо использовать итерационную технику и вводить в численный алгоритм качественную и количественную априорную информацию. Установлено, что принятие во внимание априорной информации является ключевым моментом для обеспечения высококачественной реконструкции из нескольких проекций. Адекватный учет априорных данных позволяет ограничить количество возможных решений обратной задачи и обеспечить сходимость глобальной минимизации в конфигурационном пространстве [3]. В работах [6–8] такой подход был успешно применен для реконструкции бинарных изображений с одновременной минимизацией различных поддерживающих фун-



кционалов. Многоступенчатая реконструкция (МСТ) на основе технологии синтеза данных была предложена в качестве основного стратегического направления. При этом на первом этапе необходимо получить оптимальное начальное приближение путем применения некоторых стандартных вычислительных алгоритмов. На следующем шаге используются специализированные алгоритмы, обеспечивающие ввод априорной информации об искомом решении и глобальную сходимость итерационного процесса при условии, что на первом этапе была достигнута необходимая величина невязки вероятностного функционала.

Байесовская реконструкция изображений (БРИ) из ограниченных данных. Наиболее надежным путем для введения априорных сведений в реконструкционный алгоритм является использование вероятностного подхода [9–11]. Успешное применение такой методологии обеспечивается непосредственным присутствием в формуле Байеса члена $P(\mu|p, \eta)$, учитывающего условную функцию распределения плотности вероятности (ФРПВ) неизвестного значения коэффициента ослабления μ , априорно известной функции $P(\mu)$:

$$P(\mu | p, \eta) = \frac{P(p | \mu, \eta)P(\mu)}{P(p | \eta)}, \quad (1)$$

где $P(p|\mu, \eta)$ — условная ФРПВ, которая формально описывает отклик измерительной системы на единицу изменения коэффициента ослабления μ и шумовой составляющей соответственно; $P(p|\mu, \eta)$ — глобальная нормировочная составляющая, не учитываемая в дальнейших расчетах; p — измеренные данные; μ — коэффициент линейного ослабления материала.

Преобразование входных данных в предположении, что шум является аддитивным, может быть описано следующим операторным уравнением:

$$p(y) = O\mu(x) + \eta, \quad (2)$$

где p — проекционные данные, полученные для некоторой пространственной области; O — оператор, преобразующий входные данные в выходные проекционные данные; $\mu(x)$ — вектор неизвестного решения, зависящего от пространственного аргумента x ; η — шум, сопутствующий процессу измерения.

В случае ограниченных данных система уравнений (2) всегда плохо обусловлена. Дополнительной трудностью является то, что, во-первых, обратный оператор O^{-1} является неизвестным и, во-вторых, шум в общем случае является неизвестным и неаддитивным. Из математической теории следует, что уравнение (2) не имеет в этом случае однозначного решения $\mu(x)$. Однако регуляризованное решение уравнения (2), так назы-

ваемое псевдо- или квазирешение может быть получено с помощью следующей вариационной процедуры:

$$\mu = \arg \min \{ \|O\tilde{\mu}(x) + \eta - p(y)\|^2 + \alpha B(\mu) : \mu(x) \in R^n \}, \quad (3)$$

где R^n — n -мерное пространство значений; $O\tilde{\mu}(x)$ и $p(x)$ — модельные и измеренные проекционные данные соответственно; $B(\mu)$ — априорный поддерживающий функционал, учитывающий заранее известные свойства объекта и накладывающий качественные ограничения на искомое решение.

Хорошее качество реконструкции, сравнимое с КТ (компьютерная томография)-изображением, может быть получено для сильно ограниченных данных путем использования статистики Гиббса [6, 7, 12, 13], применительно, главным образом, к сложным бинарным объектам. Например, даже в критическом случае просвечивания стальных труб коллимированным веерным источником с углом обзора менее 90° при сканировании вдоль оси трубы [13, 14], предлагаемая итерационная процедура восстанавливает продольный профиль трубы с высокой точностью, в то время как традиционный метод ФОРП полностью не способен осуществить реконструкцию для данной геометрии просвечивания.

Теория статистической реконструкции изображений из нескольких проекций рекомендует несколько возможных форм описания априорных сведений, наиболее пригодных для введения в поддерживающий вероятностный функционал. Некоторые из известных в настоящее время видов априорной информации, обеспечивающих наибольшую эффективность, следующие:

- априорные сведения о гладкости либо положительности решения, используемые в методе регуляризации Тихонова [3];
- статистика Гиббса [15];

- сведения о статистическом характере шума в данных [16];

- функционалы для поддержки многофазных объектов [7, 12];

- оценка структуры ядра по эталонным образцам [17];

- сведения о структуре объекта, характерные для медицинских изображений, полученные на основе анатомической информации, либо из медицинских изображений, полученных с помощью других реконструкционных методик [18];

- применение теории марковских случайных процессов [19].

В данной работе рассматривается новая двухступенчатая технология реконструкции изображений, названная оболочечно-воксельной реконструкцией (ОВР).



Конкретизация задачи. Рассмотрим задачу томографии при планарной технологии сбора проекционных данных (рис. 1). Согласно этой геометрии съемки рентгеновский источник и двухмерный детектор рентгеновского излучения находятся с противоположных сторон от объекта, причем, детектор неподвижен, а источник излучения вращается в T -плоскости, перпендикулярной главной оси системы (в данном случае вертикальной оси Z). При этом объект наблюдаем только внутри пространственного угла α . Информация об объекте за пределами этого угла полностью отсутствует. Недостаток проекционных данных, если его преодолевать в рамках известных томографических концепций, является фатальным и не позволяет получить качественное трехмерное изображение в принципе. Данная геометрия съемки использована нами только для конкретизации задачи и доведения расчетов до получения трехмерных изображений и не ограничивает область применения предлагаемого метода реконструкции.

Базовые принципы ОВР-алгоритма. Идея алгоритма ОВР основана на следующих априорных допущениях:

объект может иметь различные фазовые включения, причем, каждая фаза ограничена замкнутой трехмерной оболочкой;

внутри каждой фазы, называемой «виртуальная область фазы» (ВОФ) коэффициент линейного ослабления рентгеновского излучения является однородным и информация о его численном значении может быть получена;

количество заданных ВОФ и значения коэффициентов ослабления не ограничиваются. ОВР-алгоритм является двухступенчатым, который на первом шаге использует поточечный алгоритм коррекции типа байесовской реконструкции [19], а на втором — деформирование трехмерных фазовых границ.

На первом этапе реализуется приближенная реконструкция с помощью метода Байеса. На полученном размытом изображении автоматически приближенно задаются центры связанных групп вокселей с однородными коэффициентами линейного ослабления, вокруг которых будут формироваться ВОФ, причем, внешние границы заранее неизвестны, а будут гибко «деформироваться» на каждом итерационном шаге второго этапа. В рамках модели с линейными коэффициентами поглощения лучевые суммы $p_{n,i}$ каждого вокселя на $2D$ детекторе рассчитываются как линейные интегралы от коэффициентов поглощения вокселей, лежащих на пути луча:

$$p_{n,i} = \sum_{j=1}^J \mu_j J_{n,ij}; \quad n = \overline{1, N}; \quad i = \overline{1, I}; \quad j = \overline{1, J}, \quad (4)$$

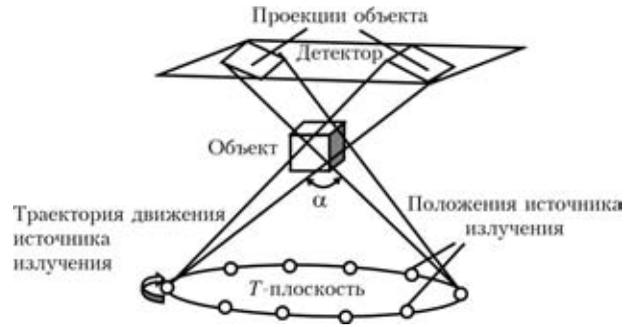


Рис. 1. Планарная схема сбора разреженных рентгеновских проекционных данных внутри ограниченного пространственного угла α

где N — количество используемых проекций; I — количество пикселей на детекторе; J — количество реконструируемых вокселей в объекте.

Априорная информация о структурном качестве объекта может быть задана с помощью следующего квадратичного функционала:

$$B(\mu) = \sum_{j=1}^J \sum_{a=1}^A (\mu_j - \mu_{j,a})^2, \quad (5)$$

где индекс a определяет воксели, соседние к j -му вокселю.

На первом шаге реконструкции, который обычно реализуется поточечной коррекцией, решается следующая оптимизационная проблема:

$$\tilde{\mu} = \arg \min \left[\sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^I \left(\sum_{j=1}^J \mu_j J_{n,ij} - p_{n,i}^m \right)^2 + \alpha \sum_{j=1}^J \sum_{a=1}^A (\mu_j - \mu_{j,a})^2 \right]. \quad (6)$$

Минимизация этого функционала осуществляется с использованием метода сопряженных градиентов, описанном в работах [6, 7]. В результате данной оптимизационной процедуры получена грубая аппроксимация трехмерного изображения объекта. Она представляет для нас интерес по следующим причинам:

во-первых, мы получаем вероятностную функцию распределения коэффициентов линейного поглощения в объекте одновременно с приближенными максимальными значениями коэффициентов поглощения каждой фазы, которые в дальнейшем принимаем в качестве коэффициентов поглощения каждой ВОФ;

во-вторых, приближенно можно определить расположение центра каждой фазы (точка фазового ядра).

На втором шаге ОВР-алгоритма начинается автоматическое деформирование замкнутых оболочек минимального размера, которыми окружаются центральные точки каждой фазы. Кроме того,



вводятся в рассмотрение так называемые внешние оболочки, которые заключают фазовые оболочки внутри себя. В отличие от фазовых внешние оболочки остаются фиксированными во время всего процесса реконструкции. Они просто ограничивают максимальную пространственную область, внутри которой могут деформироваться фазовые оболочки. Оба типа оболочек образуют «звездные» поверхности относительно центров каждой из фаз, т. е. каждый луч, проведенный из фазового ядра, пересекает каждую из них только в одной точке.

Второй шаг итерационной процедуры. Как упомянуто выше, каждая очередная итерация второго шага реконструкции начинается с заполнения области внутри фазовой оболочки вокселями, имеющими коэффициент линейного поглощения данной конкретной фазы. Пространство между фазовой и внешней оболочками заполняется вокселями с коэффициентом линейного поглощения материала, окружающего фазу, который тоже заранее определяется на первом шаге ОВР. В конце итерации, после решения прямой задачи, фазовые оболочки деформируются для компенсации расхождения заданных и смоделированных лучевых сумм. Для численного расчета фазовые оболочки аппроксимируются набором треугольных элементов с узловыми точками в вершинах с использованием STL формата. Таким образом, любая фазовая оболочка рассматривается как набор треугольных элементов S_u : $u = 1, \bar{U}$.

Следующая цепочка процедур осуществляется во время второго шага ОВР:

— заполнение всех вокселей реконструированного изображения соответствующими значениями коэффициентов поглощения, а именно: вокселей внутри фазовой оболочки значениями μ_j^{ph} , между двумя оболочками — μ_j^{mt} , а для всех остальных вокселей — $\tilde{\mu}_j$, представляющими собой очередное приближение решения оптимизационной процедуры (6);

— определение набора лучей, проходящих из точки фазового ядра через узлы фазовой оболочки для каждой из фаз;

— проецирование на плоскости детекторов N лучей, проходящих через каждый узел фазовой оболочки и расчет локальных рассогласований для данного луча (7), а затем расчет средней взвешенной разности между рассчитанными и измеренными проекционными данными для каждого узла данной фазовой оболочки. Локальное рассогласование имеет следующий вид:

$$\Delta p_{n,i} = P_{n,i}^c - P_{n,i}^m \quad (7)$$

где верхние индексы c и m обозначают рассчитанные и измеренные данные, а каждая средняя взвешенная разность определяется по следующей формуле:

$$\bar{\Delta p}_{n,i} = \sum_{n=1}^N \Delta p_{n,i} \cos(\varphi_{n,i}) / N(\mu_i^{ph} - \mu_i^{mt}), \quad (8)$$

где $\varphi_{n,i}$ — угол между направлением смещения узла фазовой оболочки и лучом от n -го источника, проходящего через данный узел;

— смещение всех узловых точек на величину, пропорциональную средней взвешенной разности для данного узла вдоль луча, идущего от центра фазы к данному узлу. Величина смещения рассчитывается по формуле:

$$h_i = \lambda^{(k)} \bar{\Delta p}_{n,i}; \quad 0 < \lambda^{(k)} < 1, \quad (9)$$

где $\lambda^{(k)}$ — параметр релаксации на k -й итерации;

— воксели, расположенные внутри фазовой оболочки, приобретают значение μ_j^{ph} , а воксели, лежащие между фазовой и внешней оболочками, — μ_j^{mt} .

Разработанный двухступенчатый алгоритм имеет существенные преимущества по сравнению с обычной, основанной только на воксельном представлении, трехмерной байесовской технологией, применяемой к задаче с ограниченными данными. Во-первых, применение оболочечного представления для описания фазовых включений позволяет регуляризовать процесс построения связной области вокселей, имеющих однородный коэффициент поглощения. Некорректная задача расчета коэффициентов поглощения внутри такой области заменяется на устойчивую, сходящуюся процедуру определения оптимального геометрического положения замкнутой фазовой оболочки. Во-вторых, как следствие, существенно уменьшаются артефакты, вызванные недостаточным углом обзора для вокселей, лежащих вблизи данной фазы. В-третьих, для самой фазы практически полностью устраняется размывание границ.

Проверка алгоритма с использованием модельных и экспериментальных данных. Для проверки возможности использования ОВР-алгоритма для реконструкции по ограниченными данным (ограниченный угол обзора и разреженные проекции) использовали реальный фантом, имеющий форму шара, который заполнили материалом, относительный коэффициент поглощения которого нормирован к единице (его центральное фронтальное сечение показано на рис. 2). Шарообразный фантом имеет шесть внутренних вставок в форме дисков диаметром 30 мм, сделанных из материалов с различными относительными коэффициентами ослабления — соответственно

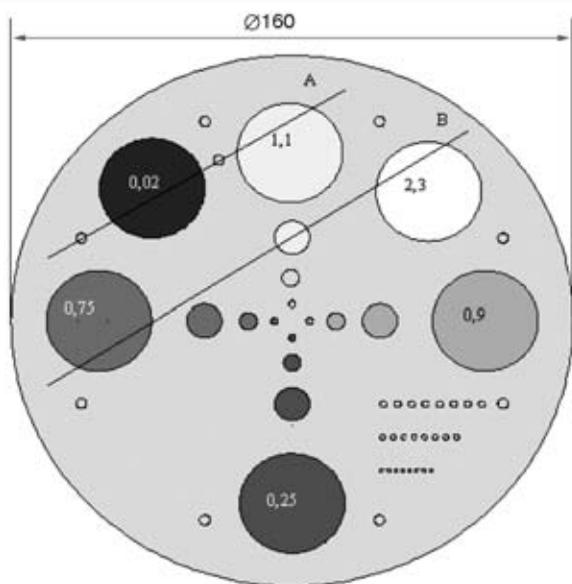


Рис. 2. Центральное сечение шарообразного фантома, имеющего сферические поверхности и заполненного эквивалентным воде материалом, относительный коэффициент поглощения которого равен 1

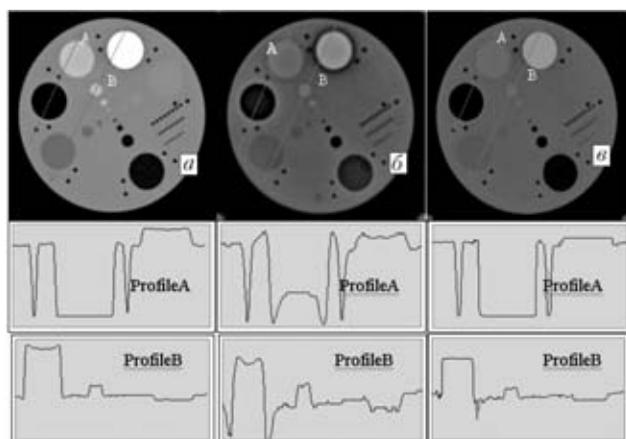


Рис. 3. Фронтальное XOY-сечение трехмерного изображения шарового фантома (верхний ряд), реконструированного с помощью стандартной КТ-техники по экспериментальным данным (а). Реконструкция фантома с помощью байесовской технологии согласно уравнению (6) (б) и ОВР (в). Профили в соответствующих рядах показывают изменение серых уровней вдоль направлений A и B соответственно

0,25; 0,75; 0,02; 1,1; 2,3 и 0,9. Четыре одинаковых группы цилиндрических вставок с диаметрами 10, 5 и 2 мм (по три вставки в каждой группе) имеют тот же коэффициент ослабления, что и ближайший из дисков диаметром 30 мм. Все другие внутренние включения представляют собой цилиндрические пустоты, заполненные воздухом. Для данного трехмерного объекта по семистам экспериментальным коническим проекциям была произведена его реконструкция методом ФОП. Соответствующее изображение, которое является центральным фронтальным сечением фантома в плоскости XOY, показано на рис. 3, а, а отдельные поперечные сечения в плоскостях, перпендикулярных плоскости XOY, показаны на рис. 4, а–б,

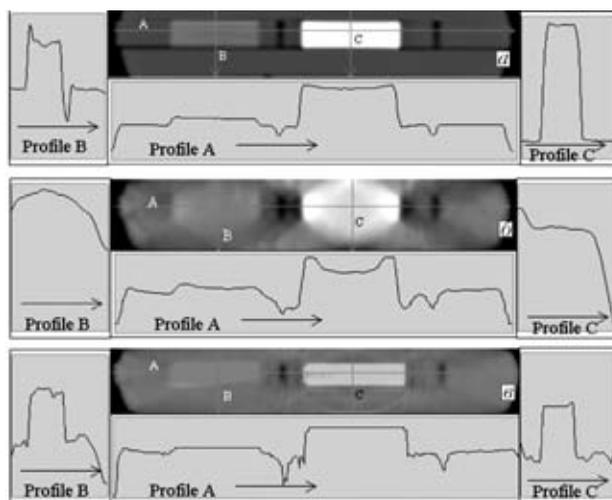


Рис. 4. Изображение поперечного сечения фантома для 110 слоя, параллельного плоскости XOZ, реконструированное с помощью стандартного КТ алгоритма (а), байесовской технологии (б) и ОВР (в)

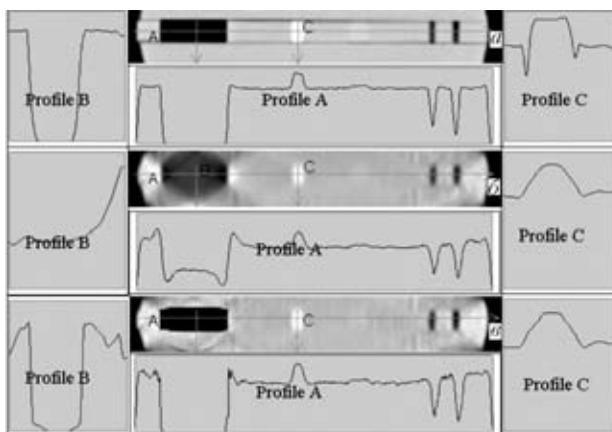


Рис. 5. Изображение поперечного сечения фантома для слоя 232 параллельного плоскости XOZ, реконструированное с помощью стандартного КТ алгоритма (а), байесовской технологии (б) и двухшаговой ОВР (в)

а. Распределения серых уровней изображений вдоль некоторых выбранных направлений, обозначенных стрелками, изображены соответственно слева, справа или ниже каждого изображения. Это реконструированное КТ-изображение объекта было использовано для получения новых смоделированных проекций, равномерно распределенных в T-плоскости, т. е. для планарной геометрии сбора проекционных данных. Профили серых уровней A, B и C показывают различия в реконструкционных возможностях б и в технологий и преимущества использования ОВР-технологии для предотвращения размытия и уменьшения артефактов. Изображенные профили серых уровней соответствуют направлениям A, B и C, показанным на рис. 4–6. Прямое моделирование проекций было осуществлено в соответствии с уравнением (4). Угол расхождения конического пучка 90°. Модельные данные были использованы для реконструкции объекта с применением байесовской тех-

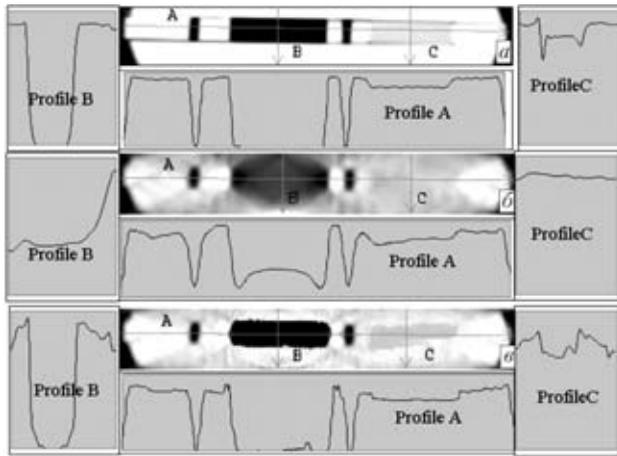


Рис. 6. Изображение поперечного сечения фантома для 100 слоя, параллельного плоскости YOZ, реконструированное с помощью стандартного КТ алгоритма (а), байесовской технологии (б) и двухшаговой процедуры (в)

нологии в соответствии с уравнением (6) и с применением процедуры, описанной с помощью уравнения (8) и названной, как упомянуто выше, двухступенчатым подходом с использованием ОВР. БРИ с априорной информацией в форме функционала Гиббса первого порядка (рис. 3, б – 6, б) дает существенно лучшее качество реконструированного изображения, чем метод ФОП.

Однако возможности новой ОВР-технологии (рис. 3, в – 6, в), оцененные путем сравнения результатов, полученных с использованием ОВР и БРИ технологий, а также оригинальных изображений, полученных с помощью ФОП-технологии для полного набора данных (рис. 3, а – 6, а), являются существенно выше, чем при БРИ-технологии. Даже визуальный анализ изображений, полученных, с одной стороны, путем применения ОВР и БРИ, а с другой, путем использования ФОП, показывает следующие преимущества от применения ОВР:

во-первых, удалось в большинстве случаев избежать сильного размывания изображения;

во-вторых, близость профилей серых уровней для ОВР и ФОП реконструкции для полных данных намного выше,

в-третьих, артефакты, вызванные недостаточным углом обзора, практически полностью устранены.

Разработанные алгоритмы реконструкции распараллелены с использованием системы MPI. Время реконструкции на 64 процессорах суперкомпьютера СКИФ составляет две-три минуты, но в принципе может быть доведено до нескольких секунд, что фактически может рассматриваться как реконструкция в режиме реального времени.

Выводы

Развитая новая технология реконструкции изображений для сильно ограниченного угла обзора и разреженных проекций имеет бесспорные преимущества по сравнению как с традиционной байесовской технологией, так и с методом ФОП, примененных к задачам с сильно ограниченными данными.

К числу недостатков можно отнести принятие допущения о том, что внутреннюю структуру объекта можно описать с использованием модели фазовых включений, имеющих достаточно контрастные границы.

1. *Natterer F.* The mathematics of computerized tomography. Stuttgart, Germany, 1986. — 200 p.
2. *Numerical recipes in C.* / W. H. Press, S. A. Teukolsky, W. T. Wetterling, B. P. Flannary. — Cambridge, University Press, 1992. — 300 p.
3. *Nonlinear Ill-posed problems* / Tichonov A. S., V. Leonov, A. Yagola. — Kluwer Academic Publishers, 1997. — 230 p.
4. *Smith K. T.* Practical and mathematical aspects of the problem of reconstructing objects from radiographs / D. C. Solomon, S. L. Wagner // *Bulletin of the AMS.* — 1977. — V. 83. — P. 1227–1270.
5. *Siltanen S.* Statistical inversion for X-ray tomography with few radiographs. I: General theory / V. Kolehmainen, S. Jarvenpaa, J. P. Kaipio. et. al. — 2002. — P. 1–29.
6. *Vengrinovich V.* Reconstruction of three-dimensional binary structures from an extremely limited number of cone-beam x-ray projections. Choise of Prior / Yu. Denkevich, G.-R. Tillack // *J. of Phys., D: Applied Physics.* — 1999. — V. 32. — P. 2505–2514.
7. *Vengrinovich V.* Bayesian 3D x-ray reconstruction from incomplete noisy data / Yu. Denkevich, G.-R. Tillack // In book: *Maximum Entropy and Bayesian Methods*, ed. by W. von der Linden et. al.. Kluwer Academic Publishers, 1999. — P. 73–83.
8. *Quinto E. T.* Singularities in the X-ray transform and limited data tomography in R^2 and R^3 // *SIAM J. Math. Anal.* — 1993. — V. 24. — P. 1215–1225.
9. *Hanson K. M.* Bayesian and related methods in image reconstruction from incomplete data // In *image recovery: theory and applications* / H. Stark ed. Academic. — Orlando, 1987. — P. 79–125.
10. *Mosegaard K.* Monte Carlo analysis of inverse problems / M. Sambridge // *Inverse Problems.* — 2002. — V. 18. — P. 29–54.
11. *Hanson K. M.* Uncertainty assessment for reconstruction based on deformable geometry / G. S. Cunningham, R. J. McKee // *Int. J. Imaging system Technology.* — 1997. — V. 8. — P. 506–512.
12. *Vengrinovich V.* Limited projection 3D X-ray tomography using the maximum entropy method / Yu. Denkevich, G.-R. Tillack // *Review of progress in QNDE*, ed. by D. O. Tompson and D. E. Chimenti, Plenum Press, N.Y., 1998. — V. 17. — P. 403–410.
13. *Vengrinovich V.* Bayesian Restoration of Crack Images in Welds from Incomplete Noisy Data. / Yu. Denkevich, G.-R. Tillack, U.Ewert // *Review of Progress in QNDE*, ed. by D. O. Tompson and D. E. Chimenti, American Institute of Physics, Melville-N.Y. — 2000. — V. 19A. — P. 635–642.
14. *Vengrinovich V.* Inner pipe's surface 3D reconstruction for double-connected object from limited projections / S. Zolotarev, G.-R. Tillack // *J. of technical diagnostics and NDE.* — 2001. — № 2. — P. 8–11.
15. *Besag J.* Spatial interaction and the statistical analysis of Lattice Systems // *J. Roy. Statist. Soc.* — 1974. — № 36. — P. 192–236.



16. *Maximum entropy and the near black object* / D. L. Donoho, I. M. Johnstone, J. C. Hoch, A. S. Stern // *J. of the Royal Statistical Society*. — 1992. — B54(1). — P. 41–81.
17. *Thompson J. R., Tapia R. A. Nonparametric function estimation, Modeling and Simulation*. SIAM, Philadelphia, PA, 1990.
18. *Kaipio J. P., Kolehmainen V., Vauhkonen M., Somersalo E. Inverse problems with structural prior information. Inverse Problems*. — 1999. — №5. — P. 713–729. G. K. Nichols and C. Fox. *Prior Modeling and Posterior Sampling in Impedance Imaging*. In A. Mohammad-Djafari, editor, *Proc. SPIE*, vol. 3459 «Bayesian Inference for Inverse Problems, 1998. — P. 116–127, SPIE, P.O.Box 10, Bellingham WA, USA.
19. *Gabor T. Herman. Image reconstruction from Projections. The fundamentals of computerized tomography*. — Academic Press. New York. — 1980. — 350 p.

ИПФ НАНБ, Минск, Республика Беларусь,
Немецкий центр исследований рака, Гейдельберг, Германия

Поступила в редакцию
05.08.2006

ПІДСУМКИ МІЖНАРОДНОГО ПРОЕКТУ УАЯ «СУЗІР'Я ЯКОСТІ»

Цього року 24–30 червня уже восьме проходили в Україні заходи Міжнародного проекту «Сузір'я якості», організаторами якого виступили: Європейський фонд управління якістю (EFQM), УАЯ, Міжнародна гільдія професіоналів якості та Все-російська організація якості.

Туристично-оздоровчий комплекс «Судак» (АР Крим, м. Судак) гостинно зустрів майже 150 учасників проекту яскравим сонцем, теплим морем, увагою та піклуванням з боку організаторів.

Серед учасників — представники підприємств промисловості і сфери послуг, керівники державних установ і громадських організацій, які представляли Україну, Росію, Беларусь, Німеччину, Казахстан, Латвію, Литву, Молдову, Угорщину. Більше половини учасників — перші керівники організацій та їхні заступники. Кожен третій з них брав участь у проекті «Сузір'я якості» у минулі роки.

Приємно було бачити щоденно заповнену конференц-залу бізнес-центру: ні сонце, ні море не могли спокусити учасників проекту. Та це й не дивно! Адже серед доповідачів — визнані корифеї у сфері якості: Ю. П. Адлер, Г. П. Воронін, П. Я. Калита, О. В. Глазунів та ін. Було проведено обговорення актуальних проблем у сфері якості та досвіду кращих компаній на шляху удосконалення.

Учасники виявили зацікавленість і презентацією А.Пайзера, директора General Motors Powertrain Hungary за темою: «Глобальні виклики — місцеві рішення. Як бути та залишатись конкурентоспроможними на ринку серед нових конкурентоспроможних країн», а також виступами керівників підприємств з Казахстану, Росії, України — переможців національних нагород з якості.

А з яким захопленням та жвавістю проходили авторські семінари, дискусії, вікторина тощо! Без сумніву, професійний рівень учасників та самого проекту «Сузір'я якості» з року в рік зростає.

Подивіться на фото, позздріть учасникам і наступного року приєднуйтеся до нас!

Організатори проекту дуже вдячні за інформаційну підтримку РІА «Стандарты и качество» (Росія), журналам «Світ якості України» (Україна), «Техническая диагностика и неразрушающий контроль» та багаторічним партнерам Міжнародного проекту «Сузір'я якості» — підприємствам-власникам торгових марок «Союз-Віктан», «Сандора», «Коктебель».





ПІДХОДИ ДО ОЦІНКИ РУЙНУВАННЯ ВКЛЮЧЕНЬ У ТВЕРДОМУ ТІЛІ (Огляд)

В. Р. СКАЛЬСЬКИЙ, О. М. СЕРГІЄНКО, Ю. С. ОКРЕПКИЙ

Проведено аналіз і синтез результатів досліджень моделювання процесів руйнування включень у твердому тілі, зокрема чавунів. Описано теоретично-експериментальні підходи до оцінки механізмів руйнування. Показано деякі закономірності, зміни фізико-механічних властивостей чавуну з різною формою графіту і типом матриці. Окремо проаналізована доцільність застосування методу АЕ в дослідженнях зародження і розвитку руйнування чавуну в умовах квазістатичного навантаження і відзначена висока ефективність цього методу неруйнівного контролю.

Analysis and synthesis of the results of investigation of inclusion fracture processes modeling in a solid, in particular, cast iron, was conducted. Theoretical-experimental approaches to evaluation of fracture mechanisms are described. Some regularities are demonstrated of variation of physico-mechanical properties of cast iron with different graphite shape and matrix type. Rationality of applying AE method in investigation of initiation and propagation of cast iron fracture under the conditions of quasi-static loading has been separately analyzed, and a high effectiveness of this NDT technique is noted.

Математичні моделі стану твердих тіл з включеннями та їх руйнування. Під час роботи конструкцій включення, пори, прошарки, які містяться у матеріалах, призводять до виникнення біля них високих градієнтів напружень, значення яких залежить як від механічних характеристик включень, так і від їх форми та розмірів. Розв'язки задач, що моделюють певну структуру матеріалу з урахуванням впливу всіх факторів, зокрема форми включень, доволі громіздкі і незручні для практичного використання, а інколи і некоректні за своєю постановкою. Тому у прикладному аспекті важливим є розробка ефективних підходів щодо отримання простого аналітичного розв'язку задач про вплив конфігурації включення на величину напружень у ньому та їх концентрацію біля його вершини.

Так, чисельне визначення узагальнених коефіцієнтів інтенсивності напружень (КІН) в однорідному середовищі з ізольованим тонким включенням неканонічної форми здійснене в наближеній модельній постановці задачі у працях [1, 2]. Побудові математичних моделей про руйнування та взаємодію тонких пружних включень у твердому тілі присвячено чимало праць [3–8]. У деяких з них, зокрема у праці [5], припущення про податливість включення дозволило виразити реакцію включення на деформацію матриці відносно простою моделлю типу основи Вінклера. У рамках цієї моделі отримано наближені аналітичні розв'язки для різноманітних схем зовнішнього навантаження та розміщення включення у матриці [8]. В інших — навпаки, до спрощення рівнянь приводило припущення про велику жорсткість включення [4, 6].

Найзагальнішою математичною моделлю, що відображає деформацію тонкого пружного включення в суцільному середовищі, можна вважати співвідношення, встановлене у праці [6]. Виходячи з тривимірної постановки задачі, у праці описаний метод і одержані умови стрибка напружень і переміщень на тонкостінному пружному включенні, з яких, як частинні випадки, випливають умови ідеального контакту та умови на розрізі з вільними від напружень поверхнями, а також на абсолютно жорсткому включенні.

Точний розв'язок тривимірних пружних задач для тіл з включеннями наштовхується, як відомо, на значні труднощі. Тому багатьма дослідниками запропоновано наближені підходи до розв'язання задач такого класу, що базується на модельному представленні взаємодії поверхонь тонких включень з матрицею [3–5, 9–18], де розглядалися як двовимірні, так і тривимірні задачі. Короткий огляд літератури, присвячений таким математичним моделям, приведено в роботі [9]. З метою отримання простіших рівнянь досліджувались випадки відносно м'яких [5, 13, 15, 16] і жорстких включень [4]. Встановлено характер асимптотики напружень поблизу тонкого жорсткого включення [4] і пружного клиноподібного включення [19]. Модельні співвідношення для тонкого пружного включення [6] повніші, оскільки враховують всю інформацію про деформацію поверхонь включення і задовольняють диференціальні рівняння рівноваги. За їх допомогою побудовані інтегродиференціальні рівняння відносно стрибків зміщень і напружень на поверхні включення під час дії на тіло силових і температурних факторів [20–23]. Однак на основі цих рівнянь поки що не отримані наближені замкнуті або точні розв'язки



відомих у літературі задач про еліптичне чи еліпсоїдальне включення в пластині чи у просторі за однорідного поля напружень.

Щодо просторових задач для тіл із жорстким включенням, то існують дослідження осесиметричних та асиметричних задач для нескінченного тіла з дископодібними включеннями, а також включеннями у вигляді еліптичного диска [12]. Найобґрунтованішим для отримання ефективних граничних умов, що визначають взаємодію включення з матрицею у випадку статичних задач теорії пружності є асимптотичний підхід [24–26]. Він базується на використанні параметра, що характеризує відношення товщини до лінійного розміру об'єкта. Такий метод дозволяє спростити умови контакту. Слід зазначити, що кількість наукових праць, що використовують цей метод — нечисленна.

У праці [27] запропоновано нову математичну модель тонкого пружного включення. З її допомогою задача зводиться до розв'язування системи сингулярних інтегро-диференціальних рівнянь, які, зокрема, дають змогу отримати замкнутий розв'язок згаданих вище задач. Крім цього, виведено нові формули для обчислення розподілу напружень в околі вершини пружного включення, якщо відомий розв'язок відповідної сингулярної задачі, тобто задачі для тріщини, яка займає середню область включення. Такий підхід дозволяє врахувати вплив торцевих напружень у включенні на концентрацію напружень у матриці.

Впливові жорстких включень на напружено-деформований стан пластини присвячено чимало робіт [28]. Більшість з них стосувалася встановлення напружень в пластині в околі лінійних або криволінійних включень канонічної форми. Отримано точні замкнуті розв'язки пружної задачі у випадку кругового чи еліптичного включення у пластині [29–31]. Задачу для обмеженої пластини зі впаєм абсолютно жорстким еліптичним ядром розв'язано в комплексних потенціалах [32].

Актуальність проблем експериментальних досліджень руйнування чавунів. Для виготовлення окремих виробів і несучих елементів конструкцій в багатьох областях машинобудування застосовують чавуни. Використання цього матеріалу обумовлене унікальним узгодженням фізико-механічних і технологічних властивостей. Добрі ливарні властивості та оброблюваність різанням, здатність гасити вібрації, низька чутливість до концентраторів напружень, висока корозійна стійкість та низька собівартість — найважливіші переваги, що дають змогу застосовувати чавуни для виготовлення широкої гами деталей, елементів конструкцій та виробів. Високі статичні та динамічні міцнісні властивості чавуну сприяють використанню цього матеріалу в машинобудуванні [33–35].

Однак у літературі відомі непоодинокі випадки руйнування елементів конструкцій та виробів із чавуну, які не досягли свого критичного терміну експлуатації. Таким чином, часті випадки спонтанного руйнування засвідчують важливість дослідження чавуну, зокрема, впливу структури на механізми його руйнування та міцнісні характеристики.

Включення графіту у структурі чавуну в літературі прийнято розглядати як внутрішні дефекти відповідних розмірів, форми і розташування, які є концентраторами напружень та місцями зародження і розвитку руйнування. У теоретичному плані важлива задача визначення геометричних параметрів таких включень. Вирішення її полягає у розробці нових методів досліджень прямих контактних задач динамічної теорії пружності. Їх теоретична сторона передбачає математичне моделювання динамічної взаємодії складових композиту, яким фактично є чавун, а також розробку числових аналітичних алгоритмів дослідження механічних явищ, які при цьому виникають. Щодо алгоритму розв'язання відповідних обернених задач, то виникають певні труднощі теоретичного та обчислювального характеру, зумовлені нелінійністю та некоректністю обернених, а також недостатнім вивченням прямих задач.

Сучасні методи оцінки здатності матеріалів чинити опір розвитку тріщин зводяться, в основному, до визначення критеріїв, що характеризують перехід руйнування до закритичної стадії. Чисельні значення критеріїв встановлюються шляхом експериментальних випробувань зразків з надрізами чи введеними тріщинами від утомленості, які потім використовують для розрахункових оцінок. Як критерій опору крихкому руйнуванню використовують класичний критерій [36], який полягає у знаходженні певної величини навантаження, що характеризується точкою перетину діаграми руйнування з 5%-ю січною. Відповідні зусилля в цій точці прийнято вважати за навантаження старту введеної макротріщини від утомленості.

Для оцінки опору матеріалу руйнуванню в пружно-пластичній області найчастіше застосовують J -інтеграл, а стабільність розвитку руйнування оцінюють величиною динамічного КІН K_{Id} . Так, у праці [37] виконана експериментальна оцінка показників в'язкості руйнування (J -інтегралу) для зварного з'єднання чавуну (з кулеподібним графітом), що містить тріщини і здійснено аналіз напружено-деформованого стану за наявності тріщин різних розмірів. На основі одержаних результатів розглянуто вплив відмінностей $\sigma_{0,2}$ у зоні навколо вершини тріщини, виходячи з показника тривісності напруження та величини пластичної деформації. Встановлено, що зі зростанням довжини тріщин показник тривісності



збільшується. Показано, що величина пластичної деформації матеріалу залежить від зони зварного з'єднання.

Експериментальна оцінка механізмів руйнування чавунів методами неруйнівного контролю. Виходячи з літературних даних чавуни класифікують у такій залежності: від ступеня графітизації (що обумовлює вид злому) — на сірий, білий і половинчастий (чи відбілений); від форми включень графіту — на чавуни з пластинчастим, кулеподібним (високоміцний чавун), вермикулярним графітом (ковкий); від характеру металічної основи — на перлітний, феритний, перлітно-феритний, аустенітний, бейнітний і мартенситний; від призначення — на конструкційний і чавун зі спеціальними властивостями; за хімічним складом — на легований і нелегований [38].

Механізм руйнування (крихкий або в'язкий) чавунів залежить від відстані між графітовими включеннями, форми цих включень (рис. 1) і складу матриці [39, 40].

У праці [41] експериментально вивчено вплив макроструктури високоміцних чавунів феритного, феритно-перлітного і перлітного класів на їх міцність і циклічну тріщиностійкість. На підставі отриманих результатів встановлено зв'язок міцнісних характеристик чавунів з параметрами їх структури та складу. У праці [42] вивчені особливості процесу зародження та росту тріщини у чавунах з різною формою графітових включень і експериментально визначені значення K_{Ic} матеріалів методом лазерної спекл-інтерферометрії. Встановлено, що зміна динаміки спеклів відбувається на завершальній стадії деформації, що передуює початку росту магістральної тріщини. У працях [43–45] розглянуто вплив кількості графітної фази на руйнування залізобуглецевих сплавів у залежності від параметра форми включень графіту та мікронапружень біля них, встановлено межі з підвищеною щільністю параметра форми включень.

Зменшення відстані між включеннями і збільшення їх гостроти, яка зростає під час зміни

форми включення від кулеподібної до вермикулярної і далі до пластинчастої, веде до підвищення концентрації напружень і виникнення локального тривісного напруженого стану на продовженні вершини макротріщини, що призводить до зменшення пластичної текучості. Звідси крихкий механізм руйнування чавунів (наприклад, сірого) [46, 47], де за невеликої відстані між графітовими включеннями атомарно тонкі пластинки графіту разом з макротріщиною створюють високу концентрацію напружень. Руйнування ж ковкого чавуну проходить за в'язким механізмом, оскільки через великі відстані між включеннями локальна концентрація напружень біля гострокутних виступів вермикулярного графіту не впливає істотно на розподіл напружено-деформованого стану біля вершини тріщини.

Проміжне місце займає високоміцний чавун. У ньому, не дивлячись на меншу концентрацію напружень через кулясту форму графіту, в 1,5...2 рази менша відстань між включеннями, ніж у ковкому. Тому високоміцний чавун, залежно від складу матриці, руйнується за крихким, в'язким або змішаним механізмом руйнування. Пластичність матриці зростає в наступній послідовності: пластинчастий перліт, зернистий перліт, перліт-ферит, ферит. Мікромеханізми руйнування є крихкими для матриці з пластинчастого і зернистого перліту, в'язкими з ділянками сколу — для перлітно-феритної матриці, в'язкі — для феритної матриці [48, 49].

У низці інших робіт [50–59] зроблено огляд ультразвукового методу дослідження структури чавунів, а також показано вплив форми графітових включень, їх розміру та кількості на механічні характеристики чавуна. Розглянуті залежності швидкості поширення поздовжньої хвилі ультразвуку і зміни коефіцієнта зникання від структури металічної основи чавуна та його хімічного складу. Досліджено зміну швидкості розповсюдження пружних хвиль від характеру і об'ємного вмісту графітових включень. Розглянуто вплив кількості графітової фази на руйнування залізобуглецевих сплавів у залежності від параметра форми включень графіту та мікронапружень біля них. Описано розподіл мікронеоднорідної деформації в сталі поблизу неметалевих включень різних типів, які не мають схильності до утворення порожнин. З'ясовано особливості впливу температури, пластичності включення та міжповерхневих напружень на розподіл мікронеоднорідної деформації. Вивчено природу сплесків мікродоформаций, спричинених руйнуванням включень і розвитком проковзування уздовж границь включення-матриця.

У працях [50–59] також встановлено, що у матеріалах, які містять неоднорідності з різко відмінними пружними характеристиками (високоміцні чавуни з пластинчастими або кулеподібни-

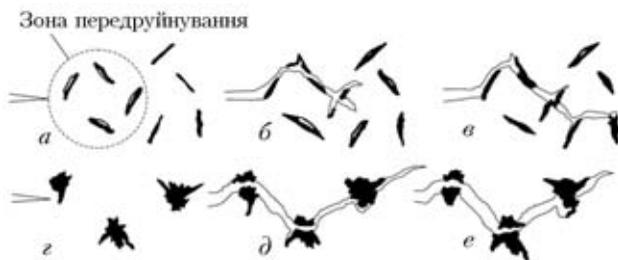


Рис. 1. Схеми процесів, що проходять під час росту тріщини в сірому (а–е) та ковкому (з–е) чавунах: а, з — формування зони передруйнування; б — розгалуження тріщини; в — закриття тріщини внаслідок попадання графітового включення між береги тріщини; д — ріст тріщини по міжфазних границях і через графітові включення; е — закриття тріщини внаслідок високої рельєфності злому [40]



ми включеннями), спостерігається залежність швидкості поздовжніх хвиль c від форми включень. На рис. 2 по осі абсцис відкладене відношення швидкості поздовжніх хвиль у даному матеріалі до швидкості поздовжніх хвиль у сталі 40. Частота ультразвукових коливань 2,5 МГц; нуль відповідає наявності тільки пластинчатого графіту.

Подібна залежність може бути отримана також шляхом вимірювання коефіцієнта зникання α на різних частотах. Однак вимірювання швидкості забезпечує більшу точність під час визначення впливу включень, особливо на частотах до 5 МГц, а для деяких сплавів роздільну здатність визначення структури можна суттєво підвищити шляхом вимірювання відношення α/c .

Розробка методів, що базуються на зв'язку магнітних і електричних властивостей чавунів з їх мікроструктурою та механічними властивостями, і створення на їх основі засобів неруйнівного контролю, має великий практичний інтерес. Окрім того, знання фізичних властивостей, експлуатаційних характеристик може допомогти у розумінні механізмів і процесів структуроутворення чавунів, що дозволить вирішити шляхи підвищення експлуатаційних характеристик їх виливок у кожному конкретному випадку.

Праці [60–62] присвячені вивченню магнітних, електричних, термоелектричних і механічних властивостей чавунів з різною формою графіту і хімічним складом, що використовуються для виготовлення виливок різного призначення, з метою відшукування параметрів неруйнівного контролю їх властивостей. Для випробовувань використовували промислові і спеціально виплавлені чавуни. Зразки чавуну марки ВЧ42-12 розмірами 10×10×63 мм вирізали із різних ділянок литих заготовок, відібраних у виробничому потоці. Залежності між хімічним складом (C, Si, Mn) і магнітними параметрами чавуну не встановлено, оскільки окрім хімічного складу великий вплив на магнітні властивості спричиняє кількість і форма включень графіту. Відзначено, що за вмісту магнію менше 0,03 % отримуються перлітні чавуни, які містять лише пластинчатий графіт. Показана можливість неруйнівного контролю структури і твердості відливок з високоміцного чавуна. Запропонована методика і розроблений первинний перетворювач, що дозволяє визначати пластинчасту форму графіту потенціалометричним методом на локальній ділянці виливки чавуну. Контроль твердості, наявності кулеподібного графіту і складу відбілу можна здійснити за результатами вимірювань струму розмагнічення за допомогою коерцитиметра. Підтверджено, що з підвищенням вмісту фосфору росте твердість чавуна; металічна основа складається з перліту і фосфідної евтектики, збільшення кількості якої приводить до рос-

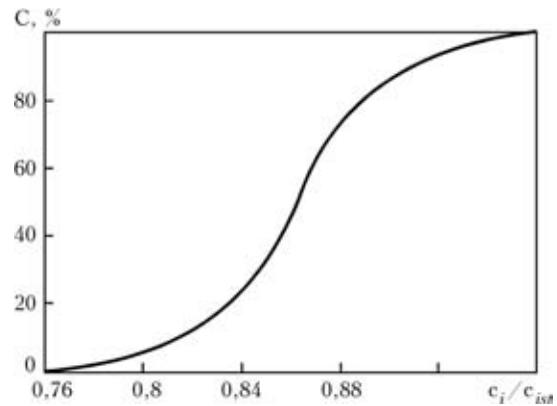


Рис. 2. Залежність відношення c/c_{ist} від відсоткового вмісту кулеподібного графіту в чавуні

ту твердості, коерцитивної сили і електроопору. Збільшення вмісту фосфору від 1,6 до 3,0 % слабо впливає на зміну досліджуваних характеристик чавуна. Показано принципову можливість експресного визначення термоелектричним методом, за допомогою пристрою ТЭС-4 за умови $C < 3,4\%$ і $Si < 2,5\%$ вмісту у чавуні без урахування впливу вмісту марганцю.

Встановлені закономірності зміни фізико-механічних властивостей чавунів з різним структурним станом можуть бути використані для модернізації відомих і розробки нових принципів отримання інформації про дефекти структури і фізико-механічного стану чавунних виробів.

Акустико-емісійне дослідження розвитку руйнування чавунів. Як показано в роботах [48, 63, 64], на початкових стадіях руйнування пошкоджені області розвиваються всередині матеріалу і локально поширюються в стиснутій зоні зразка, тому виявити їх оптично, як того вимагають методики нормативних документів, неможливо. Після цього, унаслідок злиття мікротріщин у макротріщини, відбувається вихід останніх на бокову поверхню зразка вже після суттєвого розвитку руйнування [63]. Тому для ефективного виявлення скритих початкових стадій руйнування чавунів застосовують метод акустичної емісії (АЕ) [63, 64]. Аналіз одержаних результатів АЕ-контролю, фрактографії і літературних джерел [48, 49, 64–68] дав можливість описати механізми і динаміку процесів руйнування високоміцного, ковкого і сірого чавунів і сформулювати моделі докритичного розповсюдження в них макротріщин, що супроводжується випромінюванням АЕ. Показано високу ефективність методу АЕ для оцінки стадій та механізмів руйнування чавунів різноманітної модифікації. У роботі [48] приведені результати сумісних АЕ- і фрактографічних досліджень руйнування чавунів. Випробування триточковим згином проводили на зразках з сірого, ковкого і високоміцного чавунів. Результати показали, що параметри сигналів АЕ відрізняються залежно від механізму руйнування чавунів.



Запропоновані моделі, що описують руйнування чавунів за монотонного навантаження зразків, на підставі яких одержана залежність між сумарним рахунком АЕ і КІН. Одержана добра відповідність теоретичних і експериментальних результатів. Як і під час випробування сталей [69], сигнали АЕ з більшою амплітудою реєструвалися за руйнування зразків сколом, а за в'язкого руйнування їх амплітуди мали тенденцію зменшуватись.

У роботі [65] оцінювали вплив модифікацій матриці високоміцного чавуну (ВЧ) на початок розвитку макротріщин. Визначали момент старту макротріщин і відповідних йому КІН за сигналами АЕ у ВЧ, який мав різні типи матриць: феритну, із пластинчатим перлітом, із зернистим перлітом і феритно-перлітну. Для експериментів були виготовлені призматичні зразки перерізом 12×18 мм з виведеними крайовими тріщинами від утомленості. Хімічний склад ВЧ наступний, мас. %: 2,44 С; 0,42 Мп; 1,37 Si; < 0,05 Cr; 0,13 P; 0,11 S. Випробовували зразки за схемою навантаження триточковим згином. Для кожного типу чавунів, залежно від складу матриці, параметри сигналів АЕ були різними (рис. 3). Проте на кожній акустограмі чітко виділяється момент різкого наростання амплітуд сигналів АЕ (САЕ). Фрактографічний аналіз показав [48], що САЕ на ранніх етапах на-

вантаження генеруються під час відшарування графіту від металічної матриці, руйнування графітових включень, утворення мікротріщин, їх підростання і зливання з утворенням макротріщин. А різке наростання амплітуд САЕ відповідає моменту старту макротріщини [63].

На діаграмах руйнування в координатах «навантаження P —розкриття берегів тріщини v » (рис. 3), показано навантаження, за яких в зразках починається субкритичний ріст магістральної тріщини P_S^A , зафіксований за допомогою методу АЕ, і визначені за стандартною методикою P_S та максимальне навантаження, за якого зразок руйнується P_{\max} .

За типом діаграм $P-v$ і акустограм чавуну з різними модифікаціями матриці суттєво відрізняються. Так, для ВЧ з матрицею пластинчатого і зернистого перліту характерне спонтанне руйнування і висока акустична активність, яка стрибкоподібно зростає ще до того, як наступає руйнування зразка. За даними мікрофрактографічних досліджень, зона переходу тріщини від утомленості до долому у ВЧ зі структурою пластинчатого і зернистого перлітів чітко фіксується під час розповсюдження магістральної тріщини міжзеренного сколу. На поверхні долому виявлено куле-

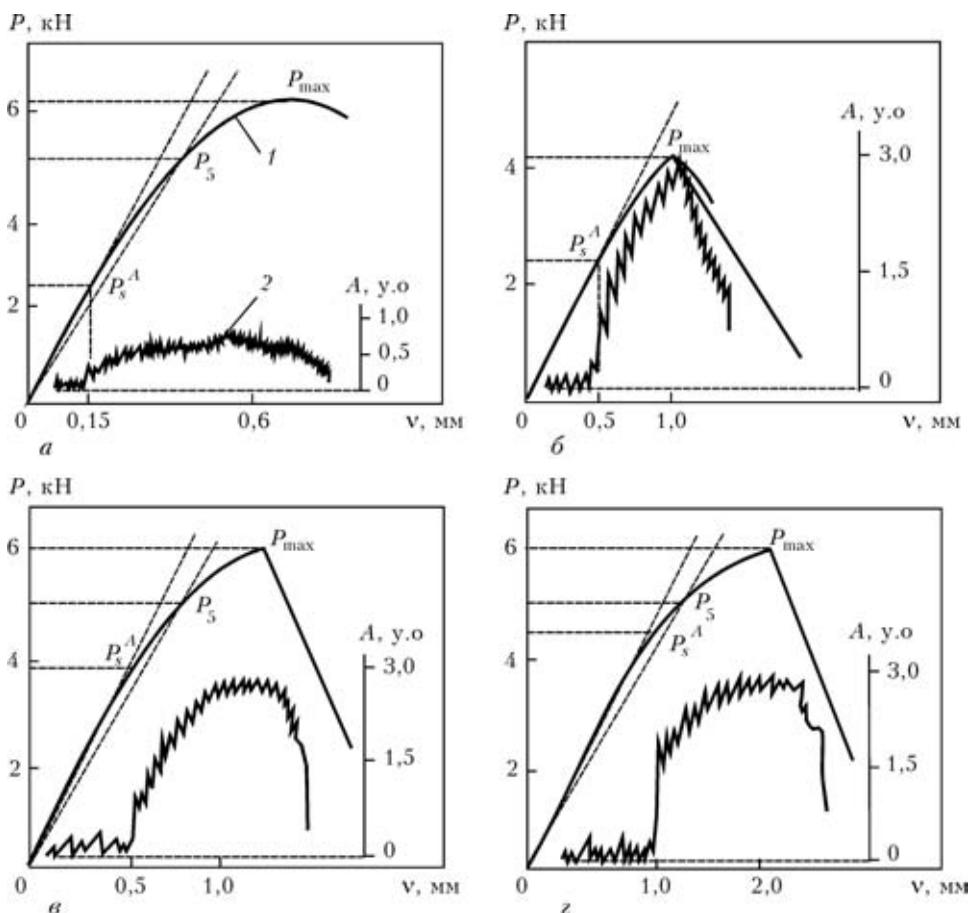


Рис. 3. Діаграми руйнування чавунів з різними типами матриць: а — феритна матриця; б — пластинчатий перліт; в — зернистий перліт; з — феритно-перлітна матриця



подібні частини графіту, як правило, відшаровані від матриці. В доломах ВЧ з перлітно-феритною матрицею поміж елементами міжзеренного сколу є обширні ділянки в'язкого ямкового руйнування [48].

Як впливає із експериментів, визначені величини P_S^A є меншими від величин P_S і значно меншими від P_{max} , тому для чавунів, залежно від складу матриці, відношення $K_{I_{max}}$ до K_{I_S} знаходиться в межах від 1,15 до 2,42. Значення цих КІН визначають за відомою формулою

$$K_I = \frac{PL}{t\sqrt{b^3}} Y\left(\frac{l}{b}\right),$$

де P — зусилля навантаження; L — відстань між опорами; t — товщина, b — висота зразка; Y — поправочна функція; l — довжина тріщини.

У працях вітчизняних і зарубіжних авторів описані підходи до визначення стану конструкцій за величиною K_{Ic} , J -інтегралу або K_d . Відомі праці, в яких встановлена теоретична залежність між K_{Ic} і активністю АЕ [70–73]. Дослідженню зв'язку між критеріями руйнування K і K_I та параметрами випромінювання АЕ присвячено праці [71–75].

Узагальнюючи дослідження, де вивчали взаємозв'язок між тріщиностійкістю матеріалу і АЕ, відзначимо, що встановлені залежності, як правило, не є універсальними і справедливі лише для певних умов навантаження, конфігурацій тріщин тощо. У всіх роботах не визначений однозначно коефіцієнт електромеханічного зв'язку. Його величина може істотно змінюватись залежно від швидкості навантаження, резонансних характеристик первинних перетворювачів, діапазону частот. Сумарна емісія не завжди пропорційна об'єму матеріалу, залученого в пластичну деформацію. Проте розглянуті моделі відображають сучасні уявлення про природу АЕ, добре корелюють з експериментальними даними, тому потребують подальшого розвитку та удосконалення.

Висновки

Руйнування включень у твердому тілі є основною причиною початкової фази руйнування. Ці процеси в літературі розглядаються як з точки зору математичного моделювання, так і з позицій оцінки даних експериментальних досліджень.

Широке застосування чавунів зумовлює всестороннє дослідження їх властивостей з метою покращення структурних, а відтак і фізико-механічних характеристик. З цією метою застосовують як теоретичне моделювання, так і різноманітні методи експериментальних випроб. Серед останніх неухильно розширюється сфера застосування методів неруйнівного контролю.

Метод АЕ успішно застосовується для діагностування виробів і елементів конструкцій із ча-

вунів. Для цього використовують кореляційні залежності між комплексними інформативними характеристиками АЕ і критеріями руйнування. АЕ-методики дозволяють визначати момент старту макротріщини під квазістатичним навантаженням точніше ніж за методиками, що регламентовані у нормативних документах.

Проведен анализ и синтез результатов исследований моделирования процессов разрушения включений в твердом теле, в частности, чугунов. Описаны теоретические и экспериментальные подходы к оценке механизмов разрушения. Показаны некоторые закономерности изменения физико-механических свойств чугуна с различными формами графита и типом матрицы. Отдельно проанализирована целесообразность применения метода АЕ в исследовании зарождения и развития разрушения чугуна в условиях квазистатического нагружения и отмечена высокая эффективность этого метода неразрушающего контроля.

1. Сулим Г. Т. Влияние формы тонкостенного включения на концентрацию напряжений в пластине // Физ.-хим. механика материалов. — 1981. — № 3. — С. 64–68.
2. Сулим Г. Т. Антиплоская задача для системы линейных включений в изотропной среде // ПММ. — 1981. — 45, № 2. — С. 308–318.
3. Грилицький Д. В., Сулим Г. Т. Напряженное состояние кусочно однородной плоскости с тонкостенным упругим включением конечной длины // Прикл. механика. — 1972. — 8, № 11. — С. 58–65.
4. Канаун С. К. Тонкий дефект в однородной упругой среде. Исследование по теоретическим основам расчета строительных конструкций // Межвуз. темат. сб. тр. ЛИ-СИ. — 1983. — С. 75–84.
5. Панасюк В. В., Андрейкив А. Е., Стадник М. М. Пружина рівновага необмеженого тіла з тонким включенням // Доп. АН УРСР. Сер. А. — 1976. — № 7. — С. 636–639.
6. Підстригач Я. С. Умови стрибка напружень і переміщень на тонкостінному пружному включенні в суцільному середовищі // Там же. — 1982. — № 12. — С. 29–31.
7. Силованюк В. П. Жесткое пластическое включение в упругом пространстве // Физ.-хим. механика материалов. — 1984. — № 5. — С. 80–84.
8. Панасюк В. В., Стадник М. М., Силованюк В. П. Концентрация напряжений в трехмерных телах с тонким включением. — Киев: Наук. думка, 1986. — 216 с.
9. Стадник М. М. Об одном методе приближенного решения трехмерной упругой задачи для тела с тонким включением // Физ.-хим. механика материалов. — 1988 — № 1. — С. 53–65.
10. Стадник М. М. Интегро-дифференциальные уравнения трехмерной задачи теории упругости для тела с системой тонких включений // Там же. — 1984. — № 1. — С. 15–21.
11. Стадник М. М., Андрейкив А. Е. Прочность материалов, содержащих системы тонких включений // Там же. — 1986. — № 1. — С. 29–35.
12. Силованюк В. П. Руйнування попередньо напружених і трансверсально-ізотропних тіл із дефектами // НАН України. Фіз.-мех. ін-т ім. Г. В. Карпенка. — 2000. — 300 с.
13. Чобаняк К. Р., Хащяк А. С. Плоское деформированное состояние упругого тела с тонкостенным гибким включением // Изв. АН АрмССР. — 1967. — № 6. — С. 19–29.



14. Грилицький Д. В., Сулим Г. Т. Периодическая задача для упругой плоскости с тонкостенным включением // ПММ — 1975. — 39, № 3. — С. 520–529.
15. Chez R. Equilibre mecanique et de forme de petits cristaux // Helvetica phys. Acta. — 1968. — 41, № 3. — P. 287–309.
16. Солтыкова О. В., Черепанов Г. П. Некоторые задачи неоднородной теории упругости // Физ.-хим. механика материалов. — 1974. — № 3. — С. 539–550.
17. Грилицький Д. В., Опанасович В. К., Тисовський Л. О. Упругое состояние пластины с круговой шайбой и прямолинейным включением // ПММ. — 1982. — № 6. — С. 993–1000.
18. Александров В. М., Мхитарян С. М. Контактные задачи для тел с тонкими покрытиями и прослойками. — М.: Наука, 1983. — 487 с.
19. Мовчан А. Б., Назаров С. А. Асимптотика НДС вблизи пространственного пикообразного включения // Механика композит. материалов. — 1985. — № 5. — С. 792–800.
20. Предельно-равновесное состояние упругопластических тел с тонкими включениями, подвергающихся воздействию температурных и силовых факторов / В. В. Панасюк, А. Е. Андрейкив, М. М. Стадник, Я. Ю. Морозович // Тез. докл. I Всесоюз. конф. «Механика неоднородных структур». Львов, 6–8 сент. — 1983, Киев: Наук. думка, 1983. — С. 170–171.
21. Хай М. В. Интегральні рівняння задачі про визначення напружень в тілі з тонким чужорідним включенням // ДАН УРСР Сер. А. — 1984. — № 3. — С. 43–46.
22. Хай М. В. Визначення температурних полів і напружень в тілах з тонкими теплопровідними включеннями // Там же. — 1984. — № 11. — С. 48–52.
23. Стадник М. М., Морозович Я. Ю. Термоупругая задача для выпуклого многогранника с системой тонких включений // Физ.-хим. механика материалов. — 1986. — № 2. — С. 39–43, № 3. — С. 89–96.
24. Кит Г. С., Емец В. Ф., Кунец Я. И. Асимптотическое поведение задачи рассеяния упругой волны тонкостенным инородным включением // Известия РАН. Механика твердого тела. — 1999. — № 3. — С. 55–64.
25. Порховський В. В., Кунець Я. І. Дифракція імпульсів пружних хвиль тонкими слабкими неоднорідностями // Мат. методи та фіз.-мех. поля. — 1999. — 42, № 2. — С. 168–174.
26. Кунець Я. І., Матус В. В., Міщенко В. О. Дистанційне визначення фізико-механічних параметрів тонкостінних дефектів // Физ.-хим. механика материалов. — 2000. — № 5. — С. 117–118.
27. Стадник М. М. Метод розв'язування тривимірних термопружних задач для тіла з тонким включенням // Там же. — 1994. — № 6. — С. 30–40.
28. Бережницький Л. Т., Панасюк В. В., Стацук Н. Г. Взаємодія жорстких лінійних включень і трещин в деформуючому тілі. — Киев: Наук. думка, 1983. — 228 с.
29. Hardiman N. J. Elliptic elastic inclusion in an infinite elastic plate // Quart. J. Mech. And Math. — 1954. — 7, № 2. — P. 25–43.
30. Труш І. І., Панасюк В. В., Бережницький Л. Т. О влиянии формы включения на начальную стадию разрушения двухкомпонентных композиционных материалов // Физ. хим. механика материалов. — 1972. — № 6. — С. 48–53.
31. Черепанов Г. П. Механика разрушения композиционных материалов. — М.: Наука, 1983. — 296 с.
32. Мухелисвили Н. И. Некоторые основные задачи математической теории упругости. — М.: Наука, 1966. — 636 с.
33. Statische und dynamische Festigkeitswerte zeigen das mögliche Potenzial von unlegiertem Gusseisen mit Lamellengraphit // Konstr. — Giessen. — 2004. — 29, № 3. — S. 12–15.
34. Колодезний Л. А., Козырев Г. В., Митерев Г. И. Сравнительная оценка работы распространения трещины в высокопрочных чугунах и сталях / Алтайск. гос. техн. ун-т. Резервы пр-ва. строит. матер. — Барнаул, 1999. — С. 159–163.
35. Wieland R. Über die Geschichte des Eisenbaus und das Entstehen des Konstruktiven Ingenieurbau. Stahlbau — 2001. — 70, № 9. — 628 p.
36. ГОСТ 25.506–85. Методы механических испытаний металлов. Определение характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) при статическом нагружении. — М.: Изд-во стандартов, 1985. — 62 с.
37. Hakan C., Bahadir U., Teyfik A. The effect of yield strength mismatch on the fracture behavior of welded nodular cast iron / 13 Intern. Conf. on the Strength of Materials, Budapest, 25–30 Aug. 2003. — № 1. — 3. 387–389; 2004. — № 2. — P. 357–360.
38. Структура та опір руйнуванню залізобуглецевих сплавів / О. П. Остап, І. П. Волчок, О. Б. Колотілкін та ін. // НАН України. Фіз.-механіч. ін-т ім. Г. В. Карпенка, 2001. — 272 с.
39. Красовский А. Я., Калайда В. В. Прочность и трещиностойкость чугунов с шаровидным графитом. — Киев: Наук. думка, 1989. — 136 с.
40. Рост усталостной трещины в чугунах. II. Серый и ковкий чугуны / О. Н. Романив, А. Н.Ткач, Т. Я. Юськив и др. // Физ.-хим. механика материалов. — 1990. — № 3 — С. 33–40.
41. Андрейко І. М., Остап О. П., Попович В. В. Вплив мікроструктури на міцність і циклічну тріщиностійкість чавунів // Те саме. — 2002. — № 5. — С. 48–56.
42. Мониторинг процесса разрушения серых чугунов методом лазерной спекл-интерферометрии / А. П. Владимиров, С. В. Смирнов, С. В. Гладковский // Тез. 3-й Международ. конф. «Микромеханизмы пластичности, разрушения и сопутствующих явлений» (MPFP) на базе 41-го Международ. семинара «Актуальные проблемы прочности», Тамбов, 23–27 июня, 2003. — Тамбов: Изд-во ТГУ, 2003. — С. 131–132.
43. Колотілкін О., Нагорний Ю. Вплив графітної фази на механізм руйнування FeC сплавів // Машинознавство. — 2004. — № 2. — С. 49–51.
44. Бережницький Л. Т., Панасюк В. В., Стацук Н. Г. Взаємодія жорстких включень і трещин в деформуючому тілі. — К: Наук. думка, 1983. — 288 с.
45. Колотілкін О. Взаємозв'язок між концентрацією напруження біля включення графіту і властивістю FeC сплавів // Машинознавство. — 2000. — № 10. — С. 9–14.
46. Мельников В. П., Садовский Е. А. Влияние графита на прочность серого перлитного чугуна в крупных отливках // Литейн. пр-во. — 1994. — № 8. — С. 7–8.
47. Haenny L., Zambelli G. The Role of the Matrix Graphite Interaction in the Tensile Behavior of Grey Cast Iron // Engineering Fracture Mechanics. — 1984. — 19, № 1. — P. 113–121.
48. Лисак Н. В., Скальський В. Р., Сергиенко О. Н. Использование метода акустической эмиссии для исследования разрушения чугунов // Техн. диагностика и неразруш. контроль. — 1989. — № 3. — С. 37–45.
49. Вязкость разрушения высокопрочных материалов / Под ред. М. Л. Берштейна. — М.: Металлургия, 1973. — 309 с.
50. Буденков Г. А., Новожилов В. А., Шабалин В. Г. Ультразвуковой метод контроля твердости поверхности изделий из чугуна // Дефектоскопия. — 1992. — № 8. — С. 18–23.
51. Коваленко А. В., Лебедев А. А. Определение твердости чугуна акустическим методом // Там же. — 1992. — № 8. — С. 31–33.
52. Вакуленко И. А., Надеждин Ю. Л. О связи скорости счета импульсов акустической эмиссии с параметрами деформационного упрочнения углеродистой стали // Там же. — 1992. — № 12. — С. 49–53.
53. Воронкова Л. В. Влияние структуры чугуна на скорость и коэффициент затухания ультразвука // Там же. — 1991. — № 12. — С. 18–23.
54. Воронкова Л. В., Воронков В. А. Спектральный метод определения твердости чугуна // Там же. — 1990. — № 6. — С. 24–28.



55. Бронфин Б. М., Емельянов А. А., Пышминцев И. Ю. Микроструктурные аспекты вязкости разрушения и сопротивления усталости высокопрочных сталей // Физ.-хим. механика материалов. — 1991. — № 5. — С. 95–97.
56. Губенко С. И. Природа всплесков микронеоднородной деформации в стали с неметаллическими включениями // Там же. — 1999. — № 2. — С. 53–59.
57. Андрейко И. М. Особливості втомного руйнування графітових включень у чавунах і сталях // Те саме. — 2003. — № 1. — С. 111–112.
58. Влияние формы графитовых включений на концентрацию напряжений и механические свойства чугуна / И. П. Волчок, М. М. Стадник, В. П. Силованюк, та ін. // Там же. — 1984. — № 3 — С. 89–92.
59. Юзвак В. М., Волчок И. П. Влияние включений графита на механические свойства чугуна // Литейн. пр-во. — 1981. — № 2. — С. 7–8.
60. Контроль формы графита и структуры металлической основы в отливках из чугунов различного назначения / И. А. Кузнецов, С. С. Родионова, Э. С. Горкунов, и др. // Дефектоскопия. — 1996. — № 9. — С. 3–15.
61. Магнитный метод контроля формы графита в чугунах / И. А. Кузнецов С. В. Кочевых, С. С. Родионова и др. // Тез. докл. XII Всесоюз. науч.-техн. конф. «Неразрушающие физические методы контроля». Свердловск, 1990. — С. 157–158.
62. Горкунов Э. С., Сомова В. М., Ничипурук А. П. Магнитные свойства и методы контроля структуры и прочностных характеристик чугунных изделий (Обзор) // Дефектоскопия. — 1994. — № 10. — С. 54–83.
63. Скальський В. Р., Коваль П. М. Акустична емісія під час руйнування матеріалів, виробів і конструкцій. Методологічні аспекти відбору та обробки інформації. — Львів: Сполом, 2005. — 396 с.
64. Методические особенности определения статической трещиностойкости чугунов / А. Н. Ткач, Н. В. Лысак, Т. Я. Юськив и др. // Физ.-хим. механика материалов. — 1988. — № 1. — С. 68–73.
65. Skalsky V. R., Okrepkij Yu. S., Plakhtij R. M. Acoustic emission during cast-irons fracture // Proc. Int. III Sympos. Mechaniki Zniszczenia Materialow i Konstrukcji, Augustow 1–4 czerwca 2005. — Poland. Bialostock, 2005. — P. 369–371.
66. Косников Г. А. Теория и технология получения чугунов с повышенной вязкостью разрушения: — Автореф. дис. ... докт. техн. наук. — Ленинград, 1985. — 39 с.
67. Morgner W., Heyse H. Untersuchung der Bruchkinetik von GGL // Neue Hutte. — 1981. — 26, № 8. — S. 313–314.
68. Xu Chi, Rui-Zhen. Fracture toughness and fatigue of fracture of kare earth-magnesium ductile iron // AFS. International Casting Metals Journal. — 1979. — 4, № 3. — P. 21–28.
69. Связь акустической эмиссии с кинетикой и микромеханизмом усталостного разрушения высокопрочной стали мартенситной структуры / О. Н. Романов, Е. И. Кирилов, Ю. В. Зима, Г. Н. Никифорчин // Физ.-хим. механика материалов. — 1987. — 23, № 2. — С. 51–55.
70. Annual Book of ASTM Standards, E-399-72. — USA, 1972. — 1100 p.
71. Кудряшов В. Г. Методика оценки истинности определяемого параметра вязкости разрушения // Завод. лаб. — 1975. — № 11. — С. 1388–1390.
72. Иванова В. С., Ботвина Л. Р., Маслов Л. И. Фрактографический метод определения вязкости разрушения при пластической деформации пластических металлических материалов // Там же. — 1975. — № 8. — С. 1007–1010.
73. Kassef M. A. Fracture Toughness testing with Small Testpieces. — Welding Research International. — 1974. — № 4. — P. 28–40.
74. Панасюк В. В., Андрейкив А. Е., Лысак Н. В. Акустическая эмиссия субкритически растущих трещин // Тез. докл. I Всесоюз. конф. «Акустическая эмиссия материалов и конструкций». — Ростов. гос. ун-т, 1984. — Ч. I. — С. 229–230.
75. Микитишин С. И., Сергиенко О. Н. Использование параметров акустической эмиссии для оценки разрушения материалов // Там же. — С. 230–232.

Фіз.-мех. ін-т ім. Г. В. Карпенка НАН України,
Львів

Поступила до редакції
16.02.2007

К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

Журнал «Техническая диагностика и неразрушающего контроль» входит в перечень утвержденных ВАК Украины изданий, публикации в котором засчитываются как обязательные для соискателей ученых степеней.

ВАК Украины принял постановление от 15.01.2003 г. № 7-05/01 «Про підвищення вимог до фахових видань, внесених до переліків ВАК України». В соответствии с этим постановлением редакционные коллегии научных специализированных изданий, признаваемых ВАК, должны принимать к печати только те статьи, которые имеют следующие необходимые элементы:

- постановка проблемы в общем виде и ее связь с важнейшими научными или практическими заданиями;
- анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и на которые ссылается автор;
- выделение нерешенных ранее частей общей проблемы, которой посвящена данная статья;
- формулировка целей статьи (постановка задачи);
- изложение основного материала исследования с полным обоснованием полученных научных результатов;
- выводы из представленного исследования и перспективы дальнейших исследований в данном направлении.

Специализированным ученым советам при приеме к защите диссертационных работ предписано засчитывать статьи, опубликованные, начиная с февраля 2003 года, только при условии выполнения изложенных выше требований.

В связи с этим редколлегии журнала «Техническая диагностика и неразрушающий контроль» будет принимать к печати только те статьи, которые отвечают требованиям ВАК Украины.

Редакционная коллегия журнала

ОСОБЕННОСТИ СОЗДАНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ НАМАГНИЧИВАЮЩИХ УСТРОЙСТВ НА ПОСТОЯННЫХ МАГНИТАХ ДЛЯ МАГНИТНОЙ ДЕФЕКТΟΣКОПИИ

В. А. ТРОИЦКИЙ, А. И. БОНДАРЕНКО, В. М. ГОРБИК

Рассмотрены особенности выбора кинематических схем портативных намагничивающих устройств для магнитной дефектоскопии, приведена классификация и описаны конструкции намагничивающих устройств на постоянных магнитах из редкоземельных металлов. Описаны особенности их применения при выполнении магнитного контроля.

Peculiarities of selection of kinematic circuits of portable magnetization devices for magnetic flaw detection have been selected, their classification is given and designs of magnetization devices using REM permanent magnets are described. Features of their application during magnetic inspection are described.

Магнитная дефектоскопия основана на обнаружении незначительных магнитных полей рассеяния, которые возникают в местах расположения поверхностных и подповерхностных дефектов объектов из ферромагнитных материалов. По типу детектора, регистрирующего магнитное поле, различают магнитопорошковый, магнитолюминесцентный, феррозондовый, магнитографический, магнитоакустический, магнитооптический, магниторезисторный и др. методы [1].

Все перечисленные методы предполагают обязательную операцию намагничивания контролируемого объекта, которая является основной при магнитной дефектоскопии и от которой в значительной степени зависит чувствительность контроля.

Одним из самых распространенных магнитных методов неразрушающего контроля (НК) является магнитопорошковый [1, 2], который применяют на различных стадиях жизненного цикла объектов: при их изготовлении, эксплуатации и ремонте. Этот метод используют при подготовке деталей и сборочных единиц к сварке, после изготовления сварных соединений, при выполнении наплавки, после устранения обнаруженных дефектов.

Магнитопорошковый метод контроля (МПК) при относительно высокой производительности отличается достаточно высокой чувствительностью и достоверностью результатов и при этом позволяет осуществлять сплошной контроль всей поверхности деталей, обеспечивает возможность контроля деталей, различных по форме и размерам, при быстром изменении режимов контроля, создает простые условия разбраковки деталей и регистрации результатов контроля.

Независимо от задач контроля эффективность метода, достоверность и вероятность обнаружения дефектов в значительной степени зависят от

совершенства намагничивающего устройства (НУ), которое является основным элементом процесса контроля.

Особенности выбора кинематических схем НУ. Среди большого разнообразия схем и технических средств для намагничивания объектов контроля особое место занимают переносные портативные НУ для полюсного намагничивания способом приложенного поля, среди которых широкое распространение получили НУ на основе электромагнитов постоянного тока и НУ на постоянных магнитах. Такие устройства обеспечивают решение задач контроля в достаточно широком диапазоне. Для контроля большого количества разнообразных по форме, размерам и магнитным свойствам изделий переносные НУ должны быть универсальны. Поэтому магнитные системы таких устройств должны содержать магнитопроводы, состоящие из нескольких звеньев, связанных между собой шарнирами. Магнитопроводы НУ должны иметь возможность изменения углов и расстояний между полюсами, что позволит устанавливать их нормально к поверхности различных по форме изделий и тем самым обеспечивать хороший контакт полюсов с изделием. Конструктивно переносные НУ могут выполняться в виде плоских механизмов, содержащих на полюсах до двух кинематических пар. Однако такие НУ позволяют выполнять перемещения полюсов только в одной плоскости, что значительно ограничивает применение указанных устройств при контроле сложных конструкций, например, сварных. Примером таких устройств может быть НУ в виде электромагнита постоянного тока типа ВММ фирмы «Tiede» (Германия) [1]. Более совершенными являются НУ, магнитопроводы которых выполнены в виде пространственных механизмов с возможностью поворота полюсов в двух плоскостях. Та-



кие устройства имеют три и более степеней подвижности. Примером таких НУ являются приставные устройства дефектоскопов МПД-70 и МД-50П в виде электромагнитов постоянного тока с тремя степенями подвижности. Однако количество степеней подвижности не всегда может служить полной характеристикой механической системы НУ. Так, в приставных электромагнитах дефектоскопов ПМД-70 и МД-50П звенья магнитопровода с катушками намагничивания на полюсах имеют ограниченный угол поворота вокруг осей вращения, что не позволяет контролировать цилиндрические поверхности с малым радиусом кривизны.

Таким образом, необходимый диапазон пространственных перемещений полюсов переносных НУ и соответствующая ему кинематическая схема накладывают существенные ограничения на выбор количества и размеров звеньев магнитопровода НУ. В то же время, как пространственные перемещения, так и размеры НУ определяются конструкцией контролируемого изделия и размерами зоны контроля. Размеры зоны контроля зависят от формы изделия, технологических особенностей МПК конкретного изделия. Важным фактором, определяющим оптимальные геометрические размеры магнитных систем портативных переносных НУ, являются параметры их электрических и магнитных цепей, а также магнитные свойства материалов контролируемых изделий.

Приведенные выше соображения относительно конструирования магнитных систем портативных переносных НУ в равной степени относятся к устройствам, создаваемым на основе электро- и постоянных магнитов. Однако НУ на основе электромагнитов имеют следующие недостатки:

для их питания необходима сеть переменного тока и соответствующий блок управления;

обмотки располагаются непосредственно на полюсах, что увеличивает массу НУ и снижает маневренность при проведении контроля;

невозможность их использования во взрыво- и пожароопасных средах, в условиях отсутствия сети переменного тока (полевые условия), а также трудность применения на строительных площадках, при проведении высотных работ, участках сборки и сварки, при контроле внутренних поверхностей емкостей, трубопроводов и т. п.;

необходимость определенных физических усилий для поддержания длинных кабелей к НУ на основе электромагнитов.

Основным преимуществом НУ на основе электромагнитов постоянного тока является возможность регулирования тока в обмотках электромагнитов и, соответственно, магнитного поля на полюсах.

НУ на постоянных магнитах. Значительным прогрессом в магнитной дефектоскопии стала раз-

работка НУ на мощных постоянных магнитах из редкоземельных металлов для полюсного намагничивания способом приложенного поля. Простейшими из них являются два магнита из магнитотвердых материалов с высокими магнитными характеристиками. Магнитотвердые материалы, из которых изготавливаются постоянные магниты, характеризуются широкой петлей гистерезиса. В настоящее время в НУ используются постоянные магниты на основе сплава неодим–железо–бор (NdFeB), остаточная магнитная индукция которых составляет порядка $B_r = 1,25$ Тл. Постоянные магниты монтируются в магнитопроводы из магнитомягких ферромагнитных материалов, которые позволяют направить магнитный поток по требуемому пути. НУ на постоянных магнитах не требуют электропитания, имеют малую массу, портативны, компактны и могут иметь весьма простое конструктивное исполнение. Регулирование магнитного поля на полюсах НУ может достигаться конструктивным путем (шунтированием магнитного потока, увеличением зазора между полюсами и поверхностью изделия). Масса и габаритные размеры меньше в 10...15 раз, чем у аналогичных электромагнитных устройств. Появление мощных постоянных магнитов открыло новые возможности в электромагнитно-акустическом УЗК, магнитографии, магнитооптическом и других видах НК.

Постоянные магниты из редкоземельных материалов в настоящее время используются при создании эффекта подмагничивания в условиях локального полюсного возбуждения магнитных полей рассеяния поверхностных слоев изделия магнитооптическим методом НК, основанным на магнитной визуализации магнитограмм [3].

В настоящее время известно множество типов НУ для порошковой дефектоскопии на постоянных магнитах, разработанных в разных странах. Определенное представление об их конструктивном разнообразии исполнений дает классификация, приведенная на рис. 1.

В основу классификации НУ на постоянных магнитах положен способ перемещения полюсов по поверхности контролируемых изделий в процессе их намагничивания при проведении контроля: переставные дискретно по контролируемым участкам изделия и передвижные непрерывно по контролируемой зоне на изделии (например, вдоль сварного соединения). При этом участок изделия, подвергаемый намагничиванию с помощью НУ на постоянных магнитах, является магнитопроводом, замыкающим полюса магнитов, в результате чего при проведении контроля создается замкнутая магнитная система.

Значительный вклад в создание НУ на постоянных магнитах внесен ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины, в котором работы по разработке

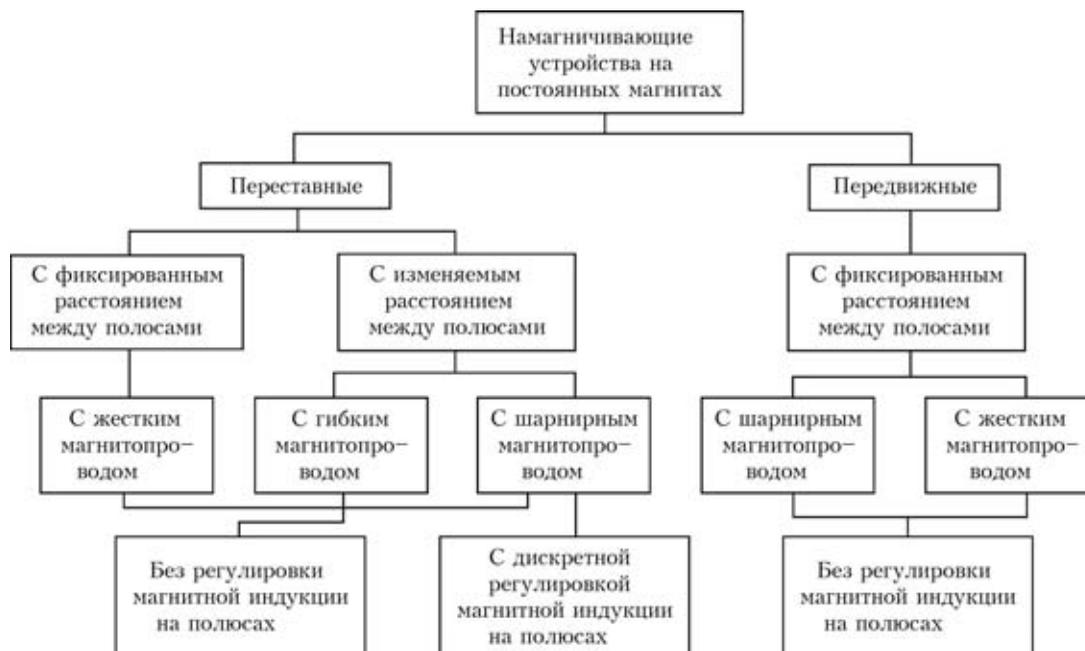


Рис. 1. Классификация НУ на постоянных магнитах

и исследованию таких НУ проводятся с восьмидесятых годов прошлого столетия. Одной из первых разработок ИЭС им. Е. О. Патона было переставное НУ типа ЭМ-1 с фиксированным расстоянием между полюсами за счет соединения их жестким П-образным магнитопроводом, в котором отсутствовали какие-либо звенья для изменения углов и расстояний между полюсами. Более универсальным явилось НУ ЭМ-1м с гибким магнитопроводом между полюсами в виде тросовой перемычки. С помощью такого устройства легко реализуется способ полюсного продольного, поперечного и нормального намагничивания деталей сложной по конфигурации формы.

На рис. 2 приведен общий вид переставного НУ ЭМ-1м в процессе полюсного поперечного намагничивания детали в виде бруска с выявленной на нем продольной трещиной. Для более четкого выявления дефектов поверхность бруска покрыта белым контрастным красителем. В качестве намагничивающих элементов в устройстве ЭМ-1м используются цилиндрические постоянные магниты, которые размещаются в корпусах из немагнитных материалов. Гибкий магнитопровод позволяет осуществлять пространственное перемещение полюсов практически в трех плоскостях, что дает возможность проводить контроль изделий сложной формы и с изменением расстояния между полюсами. К аналогичному типу относятся НУ УН-5 разработки МНПО «Спектр» (Россия) [4] с прямоугольными магнитами в полюсах, «Flaw Finder» фирмы «Helling GmbH» (Германия) [5] и МД-4, МД-6 [4], полюса которых соединены гибким магнитопроводом в виде тросовой перемычки. Намагничивающее устройство МД-4 изготавливается также в модификации с тремя сте-

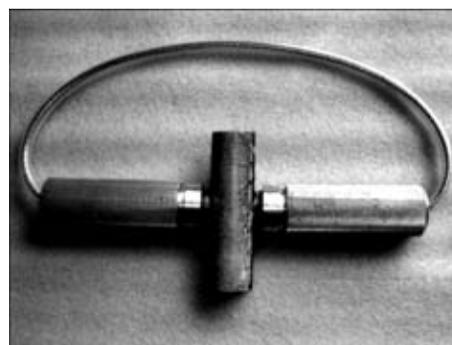


Рис. 2. Общий вид переставного НУ ЭМ-1м при МПК детали в виде бруска с выявленной на нем продольной трещиной

пенями подвижности на магнитопроводе, что позволяет осуществлять поворот полюсов в двух плоскостях. При феррозондовом методе контроля для локального намагничивания контролируемого участка сварного шва с целью обнаружения поверхностных и внутренних дефектов материала сварного соединения и околшовоной зоны используется НУ на постоянных магнитах МСН-14 с гибким магнитопроводом [6]. Технические характеристики рассмотренных НУ на постоянных магнитах с гибким магнитопроводом приведены в таблице. НУ не позволяют регулировать величину магнитного поля на полюсах. Регулирование напряженности магнитного поля при проведении МПК с помощью таких НУ проводится путем изменения расстояния между полюсами.

Дальнейшим развитием переставных НУ является разработка в ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины НУ ЭМ-3, общий вид которого при МПК детали в виде фрагмента трубы приведен на рис. 3.

Конструкция НУ ЭМ-3 представляет собой симметричную магнитную систему, выполненную



Технические характеристики НУ на постоянных магнитах с гибким магнитопроводом

Технические характеристики	Типы намагничивающих устройств					
	ЭМ-1м	УН-5	МД-4К	МД-6	МСН-14	«Flaw Finder»
Длина тросовой перемычки между полюсами, мм	420	320	400	—	800	420
Расстояние между полюсами при контроле, мм	60...160	60...100	60...170	60...150	От 110 и более	60...150
Габаритные размеры полюсов, мм	∅ 32×105	150×45×25	∅ 50×50	40×40×37	∅ 69	∅ 50×150
Тангенциальная составляющая напряженности магнитного поля H , А/см, в центре воздушного зазора между полюсами при межполюсном расстоянии L , мм	$H = 70$ $L = 100$	$H = 170$ $L = 95$	—	—	$H = 520$ $L = 400$	≥ 23
Усилие отрыва от ферромагнитной плиты, кг	≥ 16	—	35...40	—	—	30
Масса намагничивающего устройства, кг	0,8	1,8	2,4	1,8	2,8	1,0

в виде плоского механизма с двумя степенями подвижности полюсов, которые позволяют изменять расстояние от 10 до 110 мм между полюсами в одной плоскости. Такая кинематическая схема НУ реализует способ полюсного продольного, поперечного и нормального намагничивания. В полюса встроены поворотные механизмы, с помощью которых дискретно осуществляется регулирование магнитной индукции на полюсах от нуля до максимального значения путем шунтирования магнитного потока. Наличие режима шунтирования магнитного потока позволяет также легко снимать НУ с контролируемой ферромагнитной поверхности изделия. При максимальном значении магнитной индукции на полюсах тангенциальная составляющая напряженности магнитного поля в середине воздушного зазора при межполюсном расстоянии, равном 100 мм, составляет не менее 110 А/см.

Для повышения производительности МПК в ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины было разработано передвижное НУ ЭМ-2, представляющее собой симметричную магнитную систему колесного типа с кольцевыми магнитами в полюсах [7]. Общий вид НУ ЭМ-2 при МПК участка сварного соединения приведен на рис. 4. Полюсами НУ являются колеса, жестко соединенные между собой через магнитопровод. Колеса и магнитопровод выполнены из магнитомягкого материала. Для вращения магнитной системы магнитопровод НУ размещается в цилиндрической втулке из немагнитного материала. Устройство предназначено для непрерывного намагничивания плоских протяженных участков изделий из ферромагнитных материалов, расположенных в любых пространственных положениях.

Расстояние между полюсами может быть изменено за счет ферромагнитных шайб, надеваемых симметрично на ось НУ в зоне каждого кольцевого магнита. В таких НУ регулировка магнитной индукции на полюсах производится введением на пути магнитного потока неферромагнитных прокладок. При межполюсном расстоянии, рав-

ном 100 мм, тангенциальная составляющая напряженности магнитного поля в середине воздушного зазора составляет не менее 160 А/см.

Для проведения магнитного контроля передвижное НУ устанавливается таким образом, чтобы ось магнитопровода располагалась перпендикулярно оси сварного шва. Перемещение НУ по контролируемой поверхности изделия осуществляется без особых усилий с помощью рукоятки оператором-дефектоскопистом, что позволяет одновременно с перемещением НУ непрерывно выполнять операцию полива контролируемой поверхности магнитной суспензией. После окончания контроля для снятия устройства с ферромагнитной поверхности рукоятку НУ необходимо повернуть вертикально относительно его оси до контакта упоров с поверхностью изделия. При дальнейшем повороте рукоятки произойдет отрыв НУ от поверхности. Отрыв с помощью упоров снижает усилие отрыва в l_1/l_2 раз, где l_1 — длина ручки НУ; l_2 — длина упоров.



Рис. 3. Общий вид переставного НУ ЭМ-13 при МПК детали в виде фрагмента трубы



Рис. 4. Общий вид передвижного НУ ЭМ-2 при МПК участка сварного соединения

Оценка качества НУ на постоянных магнитах. Независимо от типа НУ и его сложности главное внимание при их изготовлении необходимо обращать на качество НУ и применяемого магнитного индикатора (порошок, магнитографическая лента, металлическая полоса при магнитооптическом методе).

НУ на постоянных магнитах при изготовлении должны быть подвергнуты техническому диагностированию путем проверки параметров и работоспособности системы «НУ—магнитный индикатор».

Основными проверяемыми параметрами НУ на постоянных магнитах при их изготовлении являются [8]:

напряженность магнитного поля на полюсах и в воздушном зазоре между полюсами;

механическое усилие отрыва полюсов от ферромагнитной поверхности.

Для определения и проверки магнитных параметров НУ применяют измерительные приборы с погрешностью измерения не более 5 % [8]. Такими приборами могут быть магнитометры типа МФ-23П, МФ-23ИМ, миллитесламетры, например, МТП (КРМ-Ц-Т), которые измеряют магнитную индукцию B .

Численное значение напряженности H магнитного поля на полюсах НУ и в воздушном зазоре равно:

$$H = \frac{B}{\mu_0},$$

где H — напряженность магнитного поля, А/м; B — индукция магнитного поля, Тл; μ_0 — магнитная постоянная воздуха ($\mu_0 = 1,256 \cdot 10^{-6}$ Гн/м) или

$$H = 0,8B \text{ кА/м}$$

(B — измеренное значение индукции магнитного поля, мТл).

Для измерения усилия отрыва полюсов НУ от ферромагнитной поверхности используют соответствующие динамометры и весы.

Работоспособность НУ оценивают с применением контрольного образца с искусственным дефектом и высококачественного магнитного индикатора. О работоспособности НУ судят по выявляемости искусственного дефекта на контрольном образце. Намагничивание образца осуществляют в соответствии с режимом, который указан в его паспорте, наносят на образец магнитный индикатор и осматривают его индикаторный рисунок. Рисунок на образце должен соответствовать дефектограмме дефекта.

Проверка работоспособности НУ по образцу является качественной оценкой его технического состояния, так как не дает количественных характеристик состояния его магнитной системы и не характеризует чувствительность к дефектам на реальном контролируемом объекте.

В реальных условиях качество МПК, помимо работоспособности системы «НУ—магнитный индикатор» зависит также от многих других факторов, которые должны в определенной степени учитываться при разработке портативных НУ на постоянных магнитах. К таким факторам относятся магнитные характеристики материала контролируемых деталей, узлов и конструкций; форма и размеры деталей в зоне контроля, шероховатость их поверхности; наличие и уровень поверхностного упрочнения, толщина покрытий; местоположение и ориентация дефектов; угол между направлением намагничивания и других факторов.

Анализ режимов намагничивания при МПК. Как известно, МПК изделий проводят в соответствии с технологией или технологической картой. В технологии указывают схему и способ намагничивания объекта контроля, тип магнитного индикатора, способ его нанесения и расположения на объекте, условия и порядок получения информации. Технология МПК характеризуется возможностью обнаружения локального неоднородного магнитного поля рассеяния, которое возникает над дефектом при проведении контроля. В принципе дефекты могут быть выявлены, если при контроле обеспечивается выполнение технологии и выдерживается заданная напряженность магнитного поля. Поэтому для контроля конкретного изделия НУ выбирают таким, чтобы обеспечить схему намагничивания и напряженность магнитного поля, указанные в технологии, т. е. обеспечить режим намагничивания. Выбор режима намагничивания заключается в обеспечении требуемого значения тангенциальной составляющей приложенного магнитного поля. На величину напряженности поля оказывают влияние магнитные свойства материала объекта контроля. В отечественной практике выбор напряженности маг-



нитного поля производят по коэрцитивной силе H_c материала объекта контроля, пользуясь кривыми, приведенными в ГОСТ 21105 [9]. В то же время целесообразно проанализировать подходы к выбору величин тангенциальной составляющей напряженности магнитного поля, рекомендуемые стандартами международных организаций по стандартизации в области МПК. Широкое распространение метода МПК в мировой практике подтверждается наличием большого количества стандартов Международной организации по стандартизации (ISO), в которой представлено около ста стран. Можно утверждать, что в стандартах ISO обобщен опыт специалистов разных стран, а содержащиеся в них решения удовлетворяют как изготовителей продукции, так и ее потребителей. Кроме того, широко применяются в мире при проведении МПК нормы Американского общества по испытаниям материалов (ASTM), Американского общества инженеров-механиков (ASME), стандарты национальных организаций по стандартизации Германии (DIN) и Великобритании (BSI). Для намагничивания деталей из ферромагнитных материалов в некоторых Европейских и Международных стандартах рекомендуются значения тангенциальной составляющей магнитного поля в пределах от 2 до 6 кА/м [10–13]. В стандартных руководствах по выполнению МПК [14, 15] приводятся рекомендованные значения тангенциальной составляющей напряженности магнитного поля в пределах 2,4...4,8 кА/м.

В соответствии с другим стандартным руководством по процедуре МПК напряженность магнитного поля рекомендована в пределах 2,4...4,0 кА/м [16]. В новой редакции ГОСТ 21105 [17], который переиздается в России, предусматривается минимальный диапазон значений тангенциальной составляющей напряженности приложенного магнитного поля от 1,5 до 8,5 кА/м, а максимальный — от 4,5 до 10 кА/м в зависимости от магнитных свойств контролируемого изделия. Такой широкий диапазон значений напряженности магнитного поля позволяет проводить МПК изделий, которые могут значительно отличаться между собой своими магнитными свойствами. Это позволяет также выбирать путем изменения в процессе проведения МПК конструктивных параметров НУ необходимую напряженность магнитного поля в зависимости от формы и размеров контролируемых изделий, вида и толщины покрытий, магнитных свойств материала изделий.

Особенности применения НУ на постоянных магнитах. Следует также провести анализ рекомендаций по применению постоянных магнитов для намагничивания изделий при МПК. Отечественный опыт и разработки НУ на постоянных магнитах ИЭС им. Е. О. Патона, приведенные

на рис. 2–4, показали, что они могут эффективно использоваться при МПК, обеспечивая требуемые значения напряженности магнитного поля для выявления поверхностных и подповерхностных дефектов. В зарубежных стандартах нет единого подхода и обобщений по использованию постоянных магнитов при МПК. Так, в соответствии с [10, 11] применение постоянных магнитов для намагничивания изделий рекомендуется по договоренности с заказчиком. В работах [13, 14] использование постоянных магнитов рекомендовано с оговоркой в связи с тем, что они с течением времени могут терять намагниченность. Наш опыт показывает, что в течение жизненного цикла намагниченность постоянных магнитов из сплава неодим–железо–бор практически не изменяется, а возможность изменения расстояния между полюсами НУ в процессе проведения МПК не позволяет говорить об этом недостатке постоянных магнитов. В стандартном руководстве [16] по процедуре МПК применение постоянных магнитов не разрешается. Даже в основополагающем международном стандарте [12] среди общих требований к НУ для МПК отсутствуют требования к постоянным магнитам (их свойствам). Следует также отметить, что среди терминов, которые применяются в области МПК [18] и отражают практически все составляющие процесса (физические основы метода, свойства аппаратуры, необходимой для выполнения контроля, индикаторные материалы и особенности технологии) отсутствуют термины, связанные с намагничиванием объектов контроля постоянными магнитами.

Несмотря на это, опыт ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины позволяет утверждать, что НУ на постоянных магнитах имеют свою сферу применения, особенно при локальном МПК деталей и узлов различных технических объектов, включая конструктивно сложные и крупногабаритные, прежде всего в цеховых, стапельных, полевых и других условиях, где отсутствует сеть переменного тока или невозможно применить громоздкие НУ с питанием от электрической сети. При этом необходимо учитывать еще одну особенность выполнения технологии МПК, связанную с обеспечением требуемой чувствительности метода на проверяемых участках изделия для увеличения выявляемости дефекта при полюсном намагничивании. Критерием выявляемости дефектов в контролируемой зоне является отношение $\theta = H_n/H_T$, где H_n и H_T — соответственно значения нормальной и тангенциальной составляющей напряженности поля на поверхности детали в зоне дефекта [19].

На участках проверяемого изделия, где $\theta < 3$, достигается высокая чувствительность МПК. Поэтому при выборе режимов намагничивания способом приложенного поля необходимо определять



как значение тангенциальной составляющей поля в зависимости от магнитных свойств материала проверяемой детали, так и обеспечивать значение $\theta < 3$. Невыполнение этого требования может приводить к необнаружению дефектов [19], однако такое требование в рассмотренных зарубежных стандартах отсутствует. В то же время это требование присутствует в ГОСТ 21105–87 и в новой редакции этого стандарта России [17]. Выполнение этого требования при использовании НУ на постоянных магнитах может обеспечиваться путем изменения расстояния между полюсами.

Выводы

Для контроля разнообразных изделий по форме и размерам, магнитным свойствам материалов объектов контроля магнитные системы переносных НУ в определенной степени должны отличаться универсальностью, которая достигается путем конструирования магнитопроводов в виде нескольких звеньев, связанных между собой шарнирами.

Приведенные конструкции НУ на постоянных магнитах позволяют решать ряд задач магнитной диагностики путем локального намагничивания деталей и узлов различных технических объектов в условиях отсутствия сети переменного тока, во взрыво- и пожароопасных, цеховых, полевых и других условиях.

Выполненный анализ НУ на постоянных магнитах позволяет составить обобщенное представление об их конструктивных и магнитных возможностях, особенностях их применения, что расширяет перспективы создания принципиально новых НУ на постоянных магнитах для магнитной дефектоскопии.

1. *Троцкий В. А.* Магнитопорошковый контроль сварных соединений и деталей машин. — Киев: Феникс, 2002. — 300 с.
2. *Шелихов Г. С.* Магнитопорошковая дефектоскопия деталей и узлов. — М.: ГП НТУ «Эксперт», 1995. — 224 с.

3. *Аналиди Ю. С., Левый С. В., Магнев А. М.* Сравнительный анализ магнитопорошкового и магнитооптического методов визуализации пространственного распределения магнитного поля при исследовании остаточных напряжений // *Вісник НТУУ «КПІ»*. Сер. Приладобудування. — 2006. — № 31. — С. 18–24.
4. *Шелихов Г. С.* Магнитопорошковая дефектоскопия в рисунках и фотографиях. — М.: ДПТЦ «Дефектоскопия», 2002. — 324 с.
5. *Неразрушающий контроль.* Проспект фирмы «Helling GmbH». — 2004. — 37 с.
6. *Методика проведения контроля сварных соединений магнитоферрозондовым методом.* — Екатеринбург, ООО «Микроакустика», 1996. — 8 с.
7. *Передвижное намагничивающее устройство для магнитопорошкового контроля изделий и сварных соединений.* Рекламное издание. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1990.
8. *Шелихов Г. С., Глазков Ю. А.* Принципы проверки магнитопорошковых дефектоскопов // *Контроль. Диагностика.* — 2003. — № 9. — С. 6–8.
9. *ГОСТ 21105–87.* Контроль неразрушающий. Магнитопорошковый метод. — М.: Изд-во стандартов, 1987. — 20 с.
10. *ДСТУ EN 1290–2002.* Неруйнівний контроль зварних з'єднань. Магнітопорошковий контроль зварних з'єднань. Метод. — Київ: Держспоживстандарт України, 2003. — 12 с.
11. *EN ISO 9934-1.* Non-destructive testing. Magnetic particle testing. Part 1: General principles. Geneva: ISO, 2001. — 14 p.
12. *EN ISO 9934-3.* Non-destructive testing. Magnetic particle testing. Part 3: Equipment. Geneva: ISO, 2002. — 14 p.
13. *ДСТУ EN 10228-1.* Неразрушающий контроль кованных изделий из стали. Ч. 1: Контроль магнитным порошком. — 7 с.
14. *ASTM. Designation E 709-95.* Standard Guide for Magnetic Particle Examination. — 1995. — № 4. — 31 p.
15. *ASTM. E 1444-01.* Стандартная методика выполнения магнитопорошкового контроля, 2001. — 16 с.
16. *EN 602S.* Magnetic particle examination. Procedure. — 23 p.
17. *ГОСТ 21105–2006.* Контроль неразрушающий. Магнитопорошковый метод. Основные положения. (Терминология).
18. *ДСТУ EN 1330-7:2006.* Неруйнівний контроль. Термінологія. Ч. 7: Терміни, що вживаються в магнітопорошковому контролі. — Київ: Держспоживстандарт України. — 19 с.
19. *Шелихов Г. С.* Зависимость выявления дефектов от распределения намагничивающего поля в зоне дефекта // *Дефектоскопия.* — 2004. — № 6. — С. 52–56.



БЕЗЭТАЛОННАЯ ОБРАБОТКА ИЗМЕРЕНИЙ В ЗАДАЧАХ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ДИНАМИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ТРУБ

В. П. МАЛАЙЧУК, А. В. МОЗГОВОЙ, С. М. КЛИМЕНКО

Рассмотрены вопросы оптимальной обработки измерений при использовании критерия минимума среднего риска и критерия Нейман–Пирсона. Определены оптимальные решающие правила обнаружения дефектных участков труб, приведены вероятностные характеристики ультразвуковой динамической дефектоскопии. Предложена адаптивная обработка измерений ультразвукового контроля труб.

Issues of optimum treatment of measurements when using the criteria of minimum of average risk and Neumann-Pearson criterion are considered. Optimum decision rules for detection of the defective sections of pipes are defined, probabilistic characteristics of ultrasonic dynamic flaw detection are given. Adaptive treatment of UT measurements of pipes is proposed.

Постановка задачи. При динамическом ультразвуковом контроле труб измерения $x(k)$ представляют собой последовательность случайных величин, формируемых эхо-сигналами $s(k)$, модулирующей помехой $m(k)$ и измерительным шумом $n(k)$:

$$x(k) = m(k)s(k) + n(k). \quad (1)$$

Модулирующие помехи порождаются неконтролируемыми изменениями ультразвукового контакта сканирующих пьезодатчиков цифровых дефектоскопов. Измерения $x(k)$ могут запоминаться и обрабатываться после контроля каждой трубы. Целью обработки измерений является обнаружение и оценка эхо-сигналов, содержащих информацию о дефектных участках трубы [1].

Обработка должна удовлетворять двум противоречивым требованиям: необходимо по ее результатам как можно чаще принимать правильные решения, т. е. не пропускать дефектные участки труб; необходимо также как можно реже принимать неправильные (ложные) решения при контроле бездефектных труб. В задачах контроля решения — это случайные события. На контроль могут поступать трубы, находящиеся в одном из двух состояний: при отсутствии дефектных участков (состояние норма H); при наличии хотя бы одного дефектного участка (состояние брак B). Эти состояния — случайные события. Их вероятности $P_T(H)P_T(B)$ характеризуют качество технологии производства труб.

Эхо-сигналы, отраженные от минимального по размерам дефектного участка трубы, содержат n измерений. Их количество зависит от частоты зондирующих импульсов, размеров пьезодатчиков и скорости сканирования. Разделим все измерения на M участков по n измерений. Каждый из участков может находиться в двух состояниях: сос-

тоянии D при наличии дефекта; состоянии H (отсутствие дефекта). По результатам обработки измерений должно приниматься решение о состоянии каждого участка. Эти решения — тоже случайные события. Обозначим эти события D^* (дефектный участок) или H^* (норма, бездефектный участок).

Показателем эффективности (качества) неразрушающего контроля может служить среднее количество ошибочных решений N_0 при контроле некоторого достаточно большого количества труб N . Если вероятности принятия ошибочных решений BH^* и HB^* равны $P_T(BH^*)$ и $P_T(HB^*)$, то среднее значение (математическое ожидание) можно определить по формуле $N_0 = NP_T(BH^*) + NP_T(HB^*)$. Однако последствия ошибочных решений могут отличаться: ожидаемые потери при принятии решений о бездефектности труб, содержащих дефекты, могут быть значительно больше, чем потери за счет перебраковки труб в норме. Если ввести стоимость потерь за ошибочные решения C_{BH} и C_{HB} , то ожидаемая стоимость (плата за ошибки контроля) будет равна

$$\bar{C} = C_{BH}P_T(BH^*) + C_{HB}P_T(HB^*). \quad (2)$$

При обработке измерений динамического контроля решение о состоянии трубы принимается по состоянию ее участков: если хотя бы один участок считается дефектным, то труба должна быть отнесена к классу аномальных (условно дефектных). Если контролируется труба в норме, то вероятность принятия ошибочного решения равна

$$P_T(HB^*) = P_T(H)[1 - P^M(H^*/H)]. \quad (3)$$

Если труба содержит один дефектный участок, то

$$P_T(BH^*) = P_T(B)P^{M-1}(H^*/H)P(H^*/D), \quad (4)$$



где M — количество участков контроля; $P(H^*/H)$ и $P(H^*/D)$ — условные вероятности принятия правильных решений на участках нормы и ошибочных решений на дефектных участках. Поставив (3) и (4) в формулу (2), получим выражение для оценки стоимости ошибочных решений при контроле труб

$$\bar{C} = P_T(B)C_{БН}P^{M-1}(H^*/H)P(H^*/D) + P_T(H)C_{НБ}[1 - P^M(H^*/H)]. \quad (5)$$

Преобразуем (5) к виду, удобному для анализа. Обозначив условные вероятности принятия правильных решений на дефектных участках $P(D^*/D)$ и ошибочных решений на участках нормы $P(D^*/H)$ и учитывая, что

$$P(H^*/D) = 1 - P(D^*/D), P(H^*/H) = 1 - P(D^*/H),$$

получим

$$\bar{C} = P_T(H)C_{НБ}[1 - P^{M-1}(H^*/H)] + P_T(B)C_{БН}P^{M-1}(H^*/H) - P_T(B)C_{БН}P^{M-1}(H^*/H) \times [P(D^*/D) - l_0P(D^*/H)], \quad (6)$$

где постоянная l_0 зависит от априорных данных

$$l_0 = \frac{P_T(H)C_{НБ}}{P_T(B)C_{БН}}. \quad (7)$$

Оптимальное решающее правило, при использовании которого будет минимальной ожидаемая стоимость ошибочных решений, т. е. минимальный средний риск, следует из выражения (6) — решения должны приниматься таким образом, чтобы разность

$$\Delta P = P_0(D^*/D) - l_0P_0(D^*/H)$$

была максимальной и больше нуля.

Предположим, что известны условные вероятности правильных и ошибочных решений для оптимального решающего правила. Тогда имеет место неравенство

$$P_0(D^*/D) - l_0P_0(D^*/H) \geq P(D^*/D) - l_0P(D^*/H), \quad (8)$$

где $P(D^*/D)$ и $P(D^*/H)$ — условные вероятности для любого другого решающего правила. Из (8) следует равносильное неравенство

$$P_0(D^*/D) \geq P(D^*/D) + l_0[P_0(D^*/H) - P(D^*/H)]. \quad (9)$$

Если вероятности ошибочного (ложного) обнаружения равны, то всегда

$$P_0(D^*/D) \geq P(D^*/D). \quad (10)$$

Неравенство (10) остается справедливым, если $P_0(D^*/H) \geq P(D^*/H)$, т. е. при использовании оптимального решающего правила вероятность обнаружения дефектных участков трубы будет на-

ибольшей из всех возможных решающих правил, у которых вероятность ложного обнаружения не больше, чем для оптимального решающего правила. Следовательно, решающее правило Неймана–Пирсона, формируемое из условия, чтобы вероятность ложного обнаружения не превышала некоторое допустимое значение, является частным случаем оптимального правила принятия решений по критерию минимума среднего риска: при заданной вероятности ложного обнаружения вероятность правильного обнаружения будет наибольшей. Если вероятность правильного обнаружения должна быть не меньше заданной, то вероятность ложного обнаружения будет минимальной (модифицированный критерий Неймана–Пирсона).

Оптимальная обработка измерений на каждом из участков трубы по критерию минимума среднего риска следует из условия оптимальности

$$P(D^*/D) - l_0P(D^*/H) = \max. \quad (11)$$

Оптимальные решающие правила обнаружения дефектных участков. Выделим выборку измерений одного из участков трубы x_1, x_2, \dots, x_n и определим ее среднее значение

$$z = \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x(k).$$

При больших значениях n среднее значение этих измерений — случайная величина, плотность распределения которой можно аппроксимировать законом Гаусса. Если условные математические ожидания измерений и их дисперсии обозначить a_1 и σ_1^2 на дефектных участках трубы и a_2 и σ_2^2 на бездефектных, то математические ожидания и дисперсии средних запишутся в виде

$$M[z/D] = a_1, M[z/H] = a_2,$$

$$D[z/D] = \sigma_1^2/n, D[z/H] = \sigma_2^2/n.$$

Математические ожидания и дисперсии средних в соответствии с (1) зависят от интенсивности модулирующей помехи и мощности измерительного шума. Определим условные вероятности $P(D^*/D)$ и $P(D^*/H)$. Для гауссовых моделей законов распределения средних значений условные вероятности равны

$$P(D^*/D) = \Phi\left(\frac{(a_1 - z_0)\sqrt{n}}{\sigma_1}\right),$$

$$P(D^*/H) = \Phi\left(\frac{(a_2 - z_0)\sqrt{n}}{\sigma_2}\right), \quad (12)$$

где z_0 — порог сравнения выборочного среднего; $\Phi(x)$ — интеграл вероятности Гаусса.



Оптимальное значение порога сравнения получим из условия максимума выражения (11). Подставив (12) в (11) и приравняв производную полученного выражения нулю, после несложных преобразований получим уравнение

$$\left(\frac{(z_0 - a_2)}{\sigma_{z_2}}\right)^2 - \left(\frac{(z_0 - a_1)}{\sigma_{z_1}}\right)^2 = \ln \left(\frac{\sigma_{z_1}^2 l_0^2}{\sigma_{z_2}^2}\right), \quad (13)$$

где $\sigma_{z_1}^2 = \sigma_1^2/n$, $\sigma_{z_2}^2 = \sigma_2^2/n$.

Из (13) следует формула для определения оптимального порога сравнения

$$z_0 = a_1 - \frac{\Delta a \sigma_1}{\sigma_1^2 - \sigma_2^2} \left(\sigma_1 - \sigma_2 \sqrt{1 + \frac{L_0(\sigma_1^2 - \sigma_2^2)}{n\Delta a^2}} \right), \quad (14)$$

где $L_0 = \ln \left(\frac{\sigma_1^2 l_0^2}{\sigma_2^2}\right)$, $\Delta a = a_1 - a_2$.

Рассмотрим некоторые частные случаи:

1) если $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$, то

$$z_0 = \frac{a_1 + a_2}{2} + \frac{\sigma^2 \ln l_0}{n\Delta a}, \quad (15)$$

2) если $L_0 = 0$, то $\sigma_2 = \sigma_1 l_0$ и

$$z_0 = \frac{a_1 \sigma_2 + a_2 \sigma_1}{\sigma_1 + \sigma_2}, \quad (16)$$

3) если $n\Delta a^2 \gg L_0(\sigma_1^2 - \sigma_2^2)$, то

$$z_0 = \frac{a_1 \sigma_2 + a_2 \sigma_1}{\sigma_1 + \sigma_2} + \frac{\sigma_1 \sigma_2}{2n\Delta a} \ln \left(\frac{\sigma_1^2 l_0^2}{\sigma_2^2}\right). \quad (17)$$

Из анализа полученных аналитических соотношений между значением порога сравнения z_0 , параметрами измерений ($a_1, a_2, \sigma_1, \sigma_2, n$) и показателями эффективности контроля ($P(D^*/D)$ и $P(D^*/H)$) следует, что для реализации оптимального решающего правила обнаружения дефектных участков необходимо знать параметры законов распределения вероятностей измерений, показатели качества технологии производства труб (вероятности $P_T(B)$ и $P_T(H)$ и стоимости принятия ошибочных решений ($C_{БН}$ и $C_{НБ}$).

Если качество контроля оценивать показателем Неймана–Пирсона исходя из неравенств $P_T(B^*/H) \leq P_{ЛТ}$ или $P_T(B^*/B) \geq P_{ББ}$, то пороговые значения z_0 должны определяться из условий $P(D^*/H) \leq P_{ЛД}$ по критерию Неймана–Пирсона или $P(D^*/D) \geq P_{ДД}$ по модифицированному критерию Неймана–Пирсона. Так как труба считается аномальной (условный брак), если из M проконтролированных участков хотя бы один содержит

дефект, то условная вероятность $P_T(B^*/H)$ принять трубу в норму за бракованную будет равна

$$P_T(B^*/H) = 1 - P^M(H^*/H) = 1 - (1 - P(D^*/H))^M. \quad (18)$$

Из (18) следует, что если пороговое значение вероятности $P_{ЛТ}$ задано, то при использовании критерия Неймана–Пирсона пороговое значение вероятности ложного обнаружения дефекта $P_{ЛД}$ на нормированном участке трубы и порог сравнения z_0 можно определить по формулам

$$P_{ЛД} = 1 - (1 - P_{ЛТ})^{1/M},$$

$$z_0 = a_2 + \sigma_{z_2} \psi[(1 - P_{ЛТ})^{1/M}], \quad (19)$$

где $\psi(A)$ — функция, обратная интегралу вероятности Гаусса.

При использовании модифицированного критерия Неймана–Пирсона, учитывая, что

$$P_T(H^*/B) = P^{M-1}(H^*/H)P(H^*/D),$$

пороговое значение вероятности $P_{ДД}$ и порог z_0 должны определяться из уравнений

$$1 - P_{ББ} = (1 - P_{ДД})(1 - P(D^*/H))^M, \quad (20)$$

$$1 - P_{ББ} = \Phi \left[\frac{\sqrt{n}(z_0 - a_1)}{\sigma_1} \right] \Phi^{M-1} \left[\frac{\sqrt{n}(z_0 - a_2)}{\sigma_2} \right]. \quad (21)$$

Оценка вероятностных характеристик ультразвуковой дефектоскопии труб. Основными показателями, количественно характеризующими потенциальные возможности ультразвуковой дефектоскопии труб, являются условные вероятности принятия правильных $P_T(B^*/B)$ и ошибочных $P_T(B^*/H)$ решений о их состоянии по результатам обработки измерений. При использовании критерия среднего риска (минимума ожидаемых потерь) эти вероятности можно определить по формулам

$$P_T(B^*/B) = 1 - P^{M-1}(H^*/H)P(H^*/D) = 1 - P^{M-1}(H^*/H)[1 - P(D^*/D)], \quad (22)$$

$$P_T(B^*/H) = 1 - P^M(H^*/H) = 1 - P^{M-1}(H^*/H)[1 - P(D^*/H)]. \quad (23)$$

Из (22) и (23) следует, что между вероятностями пропуска дефектных труб и дефектных участков и вероятностями правильной классификации бездефектных труб и бездефектных участков имеет место соотношение

$$\frac{P_T(H^*/B)}{P_T(H^*/H)} = \frac{P(H^*/D)}{P(H^*/H)}. \quad (24)$$

В свою очередь имеет место связь и между условными вероятностями правильного $P(D^*/D)$ и ложного $P(D^*/H)$ обнаружения дефектных участ-



ков. Исследуем эту связь при использовании критерия минимума среднего риска при равенстве дисперсий измерений $\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma^2$. Используя (12) и (15), получаем

$$P_0(D^*/D) = \Phi\left(\frac{\Delta a \sqrt{n}}{2\sigma} - \frac{\sigma \ln l_0}{\Delta a \sqrt{n}}\right), \quad (25)$$

$$P_0(D^*/H) = 1 - \Phi\left(\frac{\Delta a \sqrt{n}}{2\sigma} - \frac{\sigma \ln l_0}{\Delta a \sqrt{n}}\right). \quad (26)$$

Определив из (26) $\frac{\sigma \ln l_0}{\Delta a \sqrt{n}}$, выражение (25) запишем в виде

$$P_0(D^*/D) = \Phi\left(\frac{\Delta a \sqrt{n}}{2\sigma} - \psi(1 - P_0(D^*/H))\right). \quad (27)$$

Если использовать критерий Неймана–Пирсона, то с учетом (18)

$$P_{\text{НП}}(D^*/D) = \Phi\left(\frac{\Delta a \sqrt{n}}{2\sigma} - \psi(1 - P_{\text{ЛД}})\right). \quad (28)$$

Если $P_0(D^*/H) = P_{\text{ЛД}}$, то $P_0(D^*/D) = P_{\text{НП}}(D^*/D)$ и, следовательно, показатель Неймана–Пирсона — это частный случай критерия минимума среднего риска.

При использовании модифицированного критерия Неймана–Пирсона постоянной является условная вероятность обнаружения дефектного участка $P(D^*/D) = P_{\text{ДД}}$. Вероятность ложного обнаружения определим по формуле

$$P(D^*/H) = 1 - \Phi\left(\frac{\Delta a \sqrt{n}}{\sigma} - \psi(P_{\text{ДД}})\right). \quad (29)$$

На рис. 1, а, б представлены зависимости условных вероятностей правильного и ложного обнаружения дефектных участков трубы при различных значениях априорных данных ($q = \frac{\Delta a \sqrt{n}}{\sigma}$ — отношение сигнал/шум; $l_0 = 0,5; 0,75; 1,0; 1,5; 2,0$), рассчитанные по формулам (25) и (26) соответственно.

На рис. 2, а, б представлены зависимости условных вероятностей правильного и ложного обнаружения по критериям Неймана–Пирсона, рас-

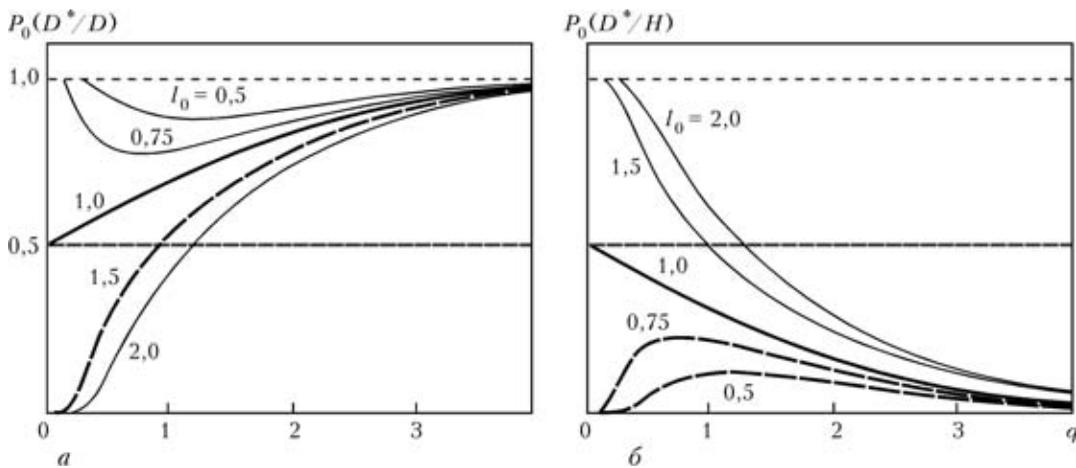


Рис. 1. Вероятностные характеристики оптимального обнаружения дефектных участков по критерию минимума среднего риска, рассчитанные по формулам (25) и (26) соответственно а и б

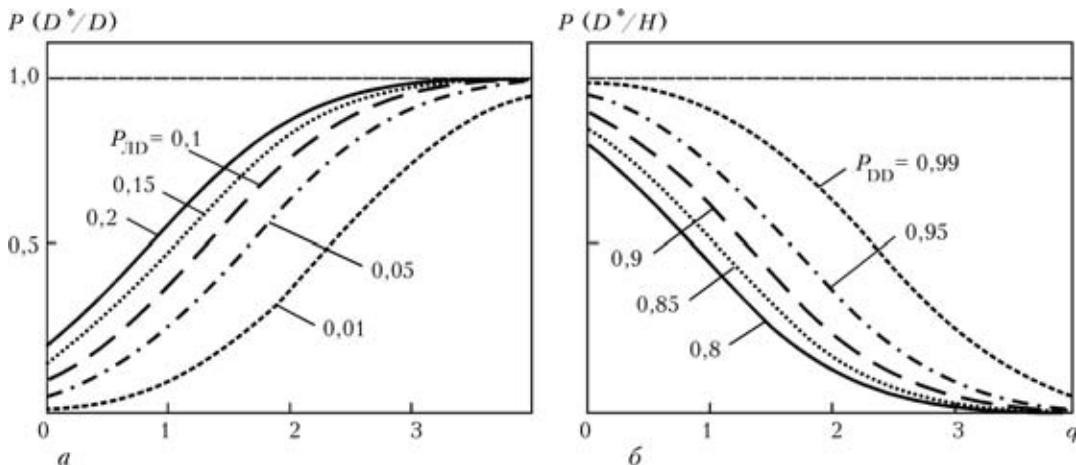


Рис. 2. Вероятностные характеристики обнаружения дефектных участков по критерию Неймана–Пирсона, рассчитанные по формулам (28) и (29) соответственно а и б



считанные по формулам (28) и (29) соответственно.

Из анализа аналитических формул для определения порогов сравнения z_0 и графиков на рис. 1 и рис. 2 следует: для реализации контроля по критерию минимума среднего риска необходимы знания параметров законов распределения $a_1, a_2, \sigma_1^2, \sigma_2^2$ (т. е. наличие эталонов брака и нормы), а при использовании критерия Неймана–Пирсона — только знания параметров нормы, которые можно оценивать по выборке измерений.

Адаптивная обработка измерений ультразвукового контроля труб. Обработка выборки измерений $x_1, x_2, \dots, x_k, \dots, x_n$ имеет целью формирование функции решения $R(k)$ путем сравнения текущего среднего $\bar{x}(k)$ с порогом z_0

$$R(k) = \text{sgn}[\bar{x}(k), -z_0],$$

где $\text{sgn}(x)$ — функция единичного скачка, равная 1, если $\bar{x}(k) \geq z_0$ или 0, если $\bar{x}(k) < z_0$.

Функция решений содержит информацию о дефектных участках: если $R(k) = 1$, то с большой уверенностью можно считать, что в измерениях $x(k)$ содержатся составляющие эхо-сигнала от дефекта. Обработав затем совместно измерения $x(k)$ и функцию решений $R(k)$, получим показатели, количественно характеризующие состояние трубы (количество и координаты дефектных участков, интенсивность сигналов на дефектных и бездефектных участках, их средние значения и выборочные дисперсии).

Текущие средние и выборочные дисперсии среднего определяются по формулам

$$\bar{x}(k) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x(k-i), \quad \bar{D}(k) = \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n (x(k-i) - \bar{x}(k))^2.$$

Начальное значение порога сравнения z_{01} оценим по критерию Неймана–Пирсона, используя выражение (19). Разделим все измерения на участки по n измерений в каждом и оценим их средние значения

$$\bar{x}(i) = \frac{1}{n} \sum_{k=n(i-1)+1}^{ni} x(k).$$

Учитывая, что количество измерений, в которых содержатся дефектные составляющие эхо-сигналов, значительно меньше, чем количество измерений структурных шумов, в качестве начальных оценок параметров a_2 и σ_2^2 , необходимых для формирования порога z_0 , используем среднее значение и выборочную дисперсию всех расчетных значений $x(i)$. В результате получим

$$z_{01}^* = a_{21}^* + \psi(1 - P_{\text{ЛД}}) \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M (\bar{x}(i) - a_{21}^*)^2},$$

где $a_{21}^* = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \bar{x}(i)$.

Сформируем первую оценку функции решений и выделим шумовые составляющие из выборки средних

$$R_1^*(i) = \text{sng} \lfloor \bar{x}(i) - z_{01}^* \rfloor, \quad \bar{x}_1(i) = \bar{x}(i)(1 - R_1^*(i)).$$

Используя их, уточним оценки параметров a_2 и σ_2^2 и порога z_{02}^*

$$a_{22}^* = \frac{1}{M_1} \sum_{i=1}^M \bar{x}_1(i), \quad M_1 = \sum_{i=1}^M (1 - R_1^*(i)),$$

$$z_{02}^* = a_{22}^* + \psi(1 - P_{\text{ЛД}}) \sqrt{\frac{1}{M_1} \sum_{i=1}^M (\bar{x}_1(i) - a_{22}^*)^2 (1 - R_1^*(i))}.$$

Вычисления прекращаются, если на j -м шаге

$$\delta_j = \frac{2 | a_2^*(j-1) - a_2^*(j) |}{a_2^*(j-1) + a_2^*(j)} \leq 0,05$$

и порог сравнения выбирается равным $z_0^* = z_{0j}^*$. Чтобы выделить измерения, содержащие эхо-сигналы на дефектных участках, сформируем текущую функцию решений

$$R_1^*(k) = \text{sng} \left[\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x(k-j) - z_0^* \right] \quad (30)$$

и функцию $R_2^*(k) = 1 - R_1^*(k)$ для выделения измерений, содержащих только шумовые сигналы.

Анализ текущего среднего и функций решений. Формирование текущего среднего $\bar{x}(k)$ представляет собой преобразование последовательности $x(k)$ цифровым нерекурсивным фильтром с прямоугольной импульсной характеристикой. Реакция такого фильтра на скачкообразное изменение амплитуды входного сигнала представляет собой линейно изменяющийся сигнал длительностью nT , где T — период повторения зондирующих импульсов. Если дефектный сигнал — прямоугольный импульс длительностью nT , то сигнал на выходе фильтра имеет вид равнобедренного треугольника длительностью $2nT$ (при больших отношениях сигнал/шум). Если длительность входного дефектного сигнала $n_d > n$ и $n_d = n + m$, то выходной сигнал фильтра имеет вид равнобедренной трапеции с основаниями $2n + m$ и m и высотой h , которая равна среднему значению эхо-импуль-



сов в пределах подвижного окна. Последовательность средних — это коррелированные случайные величины [2]. Их коэффициент корреляции зависит от размеров подвижного окна и имеет вид равнобедренного треугольника

$$r(i) = \frac{n - |i|}{n}, \quad -n \leq i \leq n.$$

На дефектных участках трубы количество подвижных средних, превышающих порог z_0^* , будет не меньше, чем размер подвижного окна. Сформируем функцию обнаружения дефектных участков в виде

$$R_D^*(k) = \text{sgn} \left[\sum_{i=1}^{2n} R_1^*(k-i) - n \right]. \quad (31)$$

Если труба в норме, то относительное количество обнаруженных дефектных участков является оценкой условной вероятности принятия ошибочных решений

$$P^*(D^*/H) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N R_D^*(k). \quad (32)$$

Если имеет место неравенство

$$P^*(D^*/H) \leq P_{\text{ЛД}}, \quad (33)$$

то это дополнительный признак того, что проконтролированная труба бездефектная. Предположение можно проверить, если оценить a_2 и σ_2^2 по всей выборке измерений

$$a_2^* = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N x(k), \quad \sigma_x^* = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (x(k) - a_2^*)^2}.$$

Учитывая, что в этом случае $M[x] = a_2$, $D[x] = \sigma_x^2/n$, уточним порог сравнения средних

$$z_0 = a_2^* + \psi(1 - P_{\text{ЛД}}) \sqrt{\frac{1}{nN} \sum_{k=1}^N (x(k) - a_2^*)^2},$$

сформируем новые функции решений $R_1^*(k)$ и $R_D^*(k)$ и снова проверим неравенство (33). Если оно подтверждается, то с вероятностью $(1 - P_{\text{ЛД}})$ можно утверждать, что труба бездефектная. В противном случае проконтролированная труба считается условно дефектной (аномальной).

Для описания аномальной трубы используем следующие количественные характеристики:

— интегральный показатель дефектности как отношение количества обнаруженных дефектных

участков к общему количеству проконтролированных участков

$$d = \frac{1}{M} \sum_{k=1}^N R_D^*(k);$$

— относительную разность средних значений измерений на дефектных и бездефектных участках трубы

$$\delta_x = \frac{\bar{x}_D - \bar{x}_H}{\bar{x}_D + \bar{x}_H} \approx \frac{a_1^* - a_2^*}{a_1^* + a_2^*},$$

где

$$\bar{x}_D = \frac{\sum_{k=1}^N x(k) R_1^*(k)}{\sum_{k=1}^N R_1^*(k)}, \quad \bar{x}_H = \frac{\sum_{k=1}^N x(k) R_2^*(k)}{\sum_{k=1}^N R_2^*(k)};$$

— коэффициенты вариации измерений на дефектных и бездефектных участках как показатели качества измерителей

$$w_D = \frac{\bar{\sigma}_D}{\bar{x}_D}, \quad w_H = \frac{\bar{\sigma}_H}{\bar{x}_H},$$

где

$$\bar{\sigma}_D^2 = \frac{\sum_{k=1}^N x(k) - (\bar{x}_D)^2 R_1^*(k)}{\sum_{k=1}^N R_1^*(k)}, \quad \bar{\sigma}_H^2 = \frac{\sum_{k=1}^N x(k) - \bar{x}_H R_2^*(k)}{\sum_{k=1}^N R_2^*(k)};$$

— количество, размеры и координаты дефектных участков трубы, средние значения измерений на этих участках;

— графики измерений и результатов их обработки.

Выводы

Оптимальная обработка измерений при ультразвуковом контроле по критерию минимума среднего риска (стоимость ошибочных решений) не может быть реализована из-за недостатка исходных данных, необходимых для формирования порога обнаружения и выделения измерений, содержащих составляющие эхо-сигналов, отраженных от дефектных участков труб.

Безэталонная дефектоскопия и дефектометрия труб может быть реализована, если обрабатывать запомненные выборки измерений проконтролированных труб и использовать правило Неймана-Пирсона.



Правило Неймана–Пирсона относится к классу оптимальных: при заданной вероятности ложного обнаружения дефектов вероятность их правильного обнаружения будет максимальной; если вероятность правильного обнаружения будет задана не менее допустимой, то вероятность ложного обнаружения дефектов в этом случае будет минимальной (модифицированный критерий Неймана–Пирсона).

Порог сравнения средних измерений по критерию Неймана–Пирсона определяется путем последовательного формирования функции решений на основе оценок математических ожиданий и выборочных дисперсий на бездефектных участках трубы. Уточнение порога прекращается, если относительное изменение оценок не превышает 5 % их полусуммы (среднего значения).

Функция обнаружения дефектных участков трубы формируется путем подсчета количества текущих средних, превышающих порог сравне-

ния, и если их количество больше размера подвижного окна, то принимается решение об обнаружении дефектного участка трубы.

По результатам обработки измерений формируются статистические данные контроля (статистические портреты), содержащие количественные показатели, характеризующие состояние трубы (относительное количество измерений на дефектных и бездефектных участках, количество дефектов, их координаты, средние значения измерений и их вариации на дефектных и бездефектных участках) и графики выборок измерений и функций решений, несущих визуальную информацию о контролируемых объектах.

1. Малайчук В. П., Мозговой А. В. Математическая дефектоскопия. — Днепропетровск: Системные технологии, 2005. — 180 с.
2. Малайчук В. П., Солонцов А. А. Основы теории обнаружения измерений параметров дискретных сигналов. — Киев: Интегр. системы инфор. обеспечения, 1995.

Днепропетров. нац. ун-т

Поступила в редакцию
27.03.2007

МЕЖДУНАРОДНЫЙ СЕМИНАР-ТРЕНИНГ ДЛЯ ЭКЗАМЕНАТОРОВ ПО ПРОЦЕДУРЕ ПРОВЕДЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИОННОГО ЭКЗАМЕНА В СООТВЕТСТВИИ С ТРЕБОВАНИЯМИ СТАНДАРТА EN473-2000

16–17 апреля 2007 г. на базе ООО «Приднепровский АЦНК ТД» состоялся Международный семинар-тренинг для экзаменаторов и кандидатов в экзаменаторы по процедуре проведения квалификационных экзаменов в соответствии с требованиями стандарта EN 473-2000.

Семинар-тренинг проводили ОСП «Промбезопасность», ООО «Приднепровский АЦНК ТД» при участии эксперта TGA д-ра Гансгеорга Тиле (Германия). В семинаре приняли участие 35 ведущих специалистов неразрушающего контроля из четырех стран ближнего и дальнего зарубежья, среди которых были представители ОСП «СертиНК» (НУЦ «Сварка и контроль» при МГТУ им. Н. Э. Баумана, г. Москва), ОСП «Профсертико» (Беларусь, г. Минск) и представители крупнейших аттестационных центров Украины.

16 апреля в ходе тренинга впервые был смоделирован экзамен по радиографическому методу НК согласно требованиям стандарта EN 473-200. Участники тренинга высказали благодарность д-ру Тилле за предоставленную возможность увидеть как в Европе проводится экзамен по радиографическому контролю. Также была обсуждена и согласована программа подготовки и проведения аудита TGA в сентябре–октябре 2007 г.

17 апреля 2007 г. состоялся семинар, на котором участники имели возможность обменяться опытом, рассказать о проблемах в области сертификации персонала и неразрушающего контроля. Были затронуты такие до сих пор нерешенные вопросы, как взаимопризнание сертификатов на территории стран СНГ различных органов сертификации.

На семинаре начальник научно-исследовательского отдела НК ГП «Днепропетровский региональный государственный научно-исследовательский центр стандартизации, метрологии и сертификации» Сунцов М. М. доложил об итогах проведения заседания рабочих групп по неразрушающему контролю научно-технической комиссии межгосударственного совета по стандартизации. Доклад вызвал большой интерес участников семинара, так как среди них присутствовали и разработчики некоторых стандартов, которые обсуждались на данном заседании.

Представители ОСП «Профсертико» поделились опытом работы со Словацким промышленным институтом сварки и Органом по сертификации персонала NDT, с которыми они успешно сотрудничают в области сертификации персонала согласно EN 473-2000.

Хочется надеяться, что подобные мероприятия будут проводиться регулярно с привлечением ведущих специалистов Украины и других стран.

*Сообщение подготовлено директором экзаменационного центра Приднепровского АЦНК и ТД
Ушаковой О. В.*

МОДИФИКАЦИЯ КРИТЕРИЯ ОЦЕНКИ АКУСТИКО-ЭМИССИОННЫХ ПРОЦЕССОВ НА ОСНОВЕ ИНВАРИАНТОВ

А. В. ПОПОВ, И. В. КОСЕНКОВ, В. Э. ЖУМАЙ

Рассматривается модификация характерных для случайных потоков Пуассона инвариантов, используемых при акустико-эмиссионном контроле для решения задач исследования процессов разрушения силовых элементов конструкций.

The paper deals with modification of invariants characteristic for Poisson random flows, used in acoustic-emission testing to solve the problems of investigation of the processes of failure of load-carrying structural elements.

Акустико-эмиссионный (АЭ) контроль основывается на анализе информации, содержащейся в нестационарном случайном потоке импульсов эмиссии. Это дает возможность исследовать кинетику накопления повреждений и решать ряд вопросов оценки прочности конструкций. Для метода АЭ проблемным вопросом является разработка критериев оценки информативных параметров эмиссии для диагностики процессов накопления повреждений и разрушения конструкций.

Общими недостатками использования АЭ критериев являются влияние механических шумов, предыстории эксплуатации, размеров и формы контролируемых конструкций на результаты оценки процессов разрушения.

В данной работе предлагается дальнейшее развитие метода инвариантов, характеризующих АЭ процессы при разрушении материалов [1, 2]. Он основан на оценке изменения характеристик сигналов АЭ при деформировании конструкций и состоит в том, что для обеспечения постоянного и периодического контроля оценку процессов разрушения проводят путем анализа изменения распределений параметров АЭ. Установлено [1, 2], что стадии разрушения характеризуются инвариантом I

$$I = \frac{M[\tau^2]}{M^2[\tau]} = 2, \quad (1)$$

где $M[\tau^2]$ — математическое ожидание квадрата временных интервалов сигналов АЭ; $M^2[\tau]$ — квадрат математического ожидания временных интервалов сигналов АЭ.

При образовании микродефектов I менее или равно 2, при образовании и росте макродефектов I более 2. Величина отклонения I от числа 2 характеризует степень разрушения конструкций.

Рассмотрим возможность определения степени опасности развивающихся дефектов на основе использования «прореженных» потоков или потоков

Эрланга [2, 3]. С этой целью исходный поток τ «прореживается» с порядками k . Выбор k определяется свойствами исходного потока, в частности, интенсивностью (необходимо учитывать, что $k \leq 10$). Это объясняется тем, что при увеличении k распределение τ_k в простейшем потоке будет стремиться к нормальному [3].

Для определения оценок $M[\tau_k^2]$ и $M^2[\tau_k]$ можно использовать известные алгоритмы, например «скользящего среднего» или стохастической аппроксимации [4–6].

Для потока Эрланга k -го порядка с параметром λ [3]

$$M[\tau_k^2] = M^2[\tau_k] + D[\tau_k], \quad (2)$$

$$M[\tau_k] = \frac{k}{\lambda}, \quad D[\tau_k] = \frac{k}{\lambda^2}, \quad (3)$$

где λ — интенсивность исходного потока; $D[\tau_k]$ — дисперсия интервала времени между соседними событиями τ_k в потоке k -го порядка.

Инвариант (1) с учетом (2) и (3) имеет вид

$$\begin{aligned} I_k &= \frac{M[\tau_k^2]}{M^2[\tau_k]} = 1 + \frac{D[\tau_k]}{M^2[\tau_k]} = \\ &= 1 + \frac{kM^2[\tau]}{k^2M^2[\tau]} = \frac{k+1}{k}. \end{aligned} \quad (4)$$

Формула (4) справедлива для простейшего потока, для которого вероятностные характеристики i и $i-1$ акта независимы. На основе (4) вводим следующую форму инварианта:

$$I^* = \left| \frac{M[\tau_k^2]}{M^2[\tau_k]} - \frac{k+1}{k} \right| = 0. \quad (5)$$

В том случае, когда деформация приводит к объединению микроисточников в макродефект с

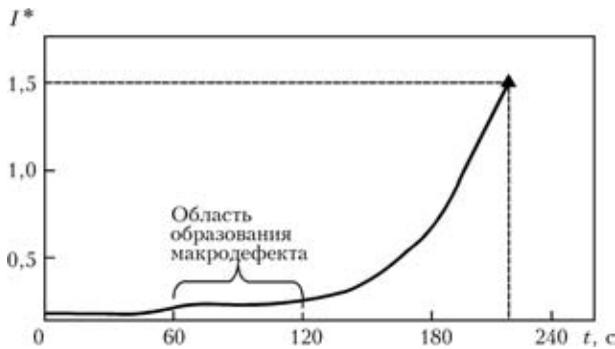


График зависимости отношения (5) от деформации образцов из сплава АМгб (треугольником обозначен момент разрушения)

последующим его развитием, вероятностные характеристики актов АЭ становятся зависимыми. Это разрушает гипотезу пуассоновского потока, нарушает распределение Эрланга для случайной величины τ_k и соотношение (5) оказывается несправедливым. Этот факт «разладки» процесса можно использовать для диагностики процессов накопления повреждений и разрушения конструкций.

Вопросы задания порога невыполнения указанного соотношения, доверительной вероятности и интервала времени τ должны решаться с учетом конкретных условий работы конструкции, требований к запасам прочности, особенностей материала и в значительной степени основываться на результатах эксперимента.

Рассмотрим пример оценки степени опасности дефектов при разрушении серии стандартных плоских прямоугольных образцов из сплава АМгб при одноосном нагружении. Для такого типа образцов характерна незначительная акустическая активность практически по всей диаграмме нагружения, что объясняется высокой пластичностью алюминиевых сплавов.

На рисунке показано сглаженное методом наименьших квадратов изменение отношения (5) в процессе деформирования. Распределение интервалов между актами АЭ, близкое к пуассоновскому потоку, наблюдается от начала нагружения и до 120-й секунды (что соответствует деформации $\varepsilon = 0,8\%$). Начиная со 120-й секунды наблюдается резкое увеличение значения «разладки», возрастание интенсивности сигналов, что объясняется, скорее всего, объединением микроисточников в макродефект (трещину), его последующим скачкообразным развитием вплоть до разрушения.

Разработанный подход дает возможность оценки в процессе контроля динамики и степени изменения распределений информативных параметров эмиссии, характеризующих степень предразрушающего состояния конструкции. Оценка с помощью приведенных соотношений позволяет оценивать как исходные, так и «прореженные» АЭ потоки любого порядка и не зависит от предыстории нагружения, что дает возможность осуществлять постоянный и периодический АЭ контроль.

1. *Расщепляев Ю. С., Попов А. В.* К вопросу исследования динамики акустико-эмиссионных процессов в задачах неразрушающего контроля методами теории случайных потоков // Техн. диагностика и неразруш. контроль. — 2000. — № 3. — С. 24–27.
2. *Расщепляев Ю.С., Попов А. В.* Метод инвариантов в задаче исследования потоков акустической эмиссии // Дефектоскопия. — 2000. — № 10. — С. 79–82.
3. *Вентцель Е. С., Овчаров Л. А.* Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. — М.: Наука, 1991. — 380 с.
4. *Тихонов В. И.* Оптимальный прием сигналов. — М.: Радио и связь, 1983. — 320 с.
5. *Ярлыков М. С.* Применение марковской теории нелинейной фильтрации в радиотехнике. — М.: Сов. радио, 1980. — 358 с.
6. *Сосулин Ю. Г.* Теория обнаружения и оценивания стохастических сигналов. — М.: Сов. радио, 1978. — 319 с.

Ростовский военный институт ракетных войск,
Ростов-на-Дону

Поступила в редакцию
01.03.2007



ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕЖИМНОГО РЕСУРСА КРАНА И РАСЧЕТ ЦИКЛИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ ЕГО КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ДИАГНОСТИРОВАНИИ

А. М. МАКОВСКИЙ, Н. Г. ТАРОВИК

Изложена практическая методика для определения остаточного режимного ресурса и оценки циклической прочности конструкций крана при диагностировании. Показан подход к получению исходных данных для расчета путем анализа технологического процесса и грузопотока на рабочем участке крана. Методика сопровождается примером расчета остаточного режимного ресурса мостового крана при постоянной и переменной наработке по годам за срок службы, а также расчетом детали крана на циклическую прочность с использованием данных о нагруженности за отработанный срок службы.

Practical procedure for determination of the residual operating life and evaluation of cyclic strength of crane structures at diagnostics is set forth. Shown is the approach to obtaining the initial data for calculation by analysis of the technological process and cargo flow in the working area of the crane. Procedure is complemented by an example of calculation of the residual operating life of a bridge crane at a constant and variable operating time by years during the service period, as well as cyclic strength analysis of the crane part using the data on the load level during the used service life.

При диагностировании грузоподъемного крана по истечении длительного срока службы возникает задача проверки его остаточного ресурса работы и циклической прочности конструкций [1, 2]. Авторами разработана и проверена на действующем оборудовании методика определения остаточного режимного ресурса [3, 4] и расчета циклической прочности конструкций крана на основе его эксплуатационных нагрузок.

Получение исходных данных для определения остаточного режимного ресурса крана проводится на основе анализа основного технологического процесса на рабочем участке крана. На рис. 1 показан план рабочего участка и схема грузопотока, который осуществляет кран. Места переработки грузов обозначены А–Г, ветви потока грузовых единиц — 1–3 (табл. 1).

Мощность потока грузовых единиц за год можно определить по формуле

$$P = \varepsilon z D_p \quad (1)$$

где ε — количество единиц, проходящих за смену через рабочий участок крана; z — количество смен в сутки; D_p — количество рабочих дней крана в году.

Кратность переработки (количество подъемов при одной операции) грузовых единиц на рабочих местах представлено в табл. 2.

Для определения количества грузовых единиц за год C_i составляем матрицу. В рассматриваемом случае она имеет вид:

$$\begin{vmatrix} 1500 & 3000 & 0 \\ 0 & 0 & 500 \\ 0 & 0 & 1000 \\ 4500 & 0 & 0 \end{vmatrix},$$

$$\Sigma = |6000 \quad 3000 \quad 1500|.$$

Сумма членов i -го столбца матрицы является количеством подъемов C_i груза i -й массы Q_i за один год.

Значения Q_i и C_i на рабочем участке крана следующие: при $Q_i = 5$ т, $C_i = 6000$ 1/год; 10 — 3000; 20 — 1500.

Полученные данные позволяют рассчитать остаточный режимный ресурс крана.

С достаточной для практики точностью можно привести весь массив имеющихся масс грузов Q_i

Т а б л и ц а 1. Грузовые единицы и мощность их потока на рабочем участке крана

Номер грузовой единицы	1	2	3
Масса Q_i , т	5	10	20
Мощность потока P , 1/год	1500	750	250

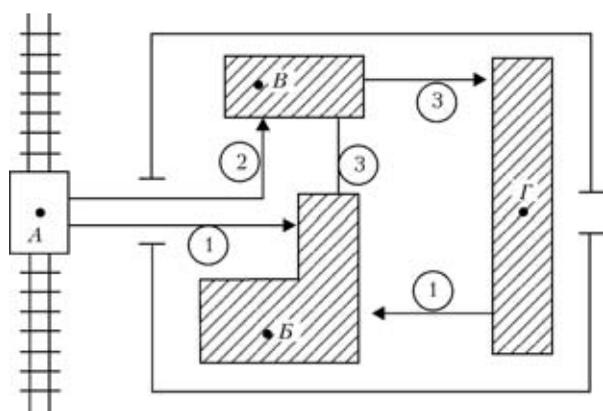


Рис. 1. План рабочего участка крана и схема грузопотока

Таблица 2. Кратность переработки грузовых единиц

Места грузопереработки	Грузовые единицы		
	1	2	3
A	1	4	0
B	0	0	2
B	0	0	1
Г	3	0	0

Таблица 3. Вычисленные значения F_{max} , R_A и M_1

q_{0j} , т	1	3	5	7	9
F_{max} , кН	0	8,3	14	20	26
R_A , кН	0	7,2	12,3	17,3	22,5
M_1 , кН·м	0	1,44	2,46	3,46	4,5
σ , МПа	0	14,4	24,6	34,6	45

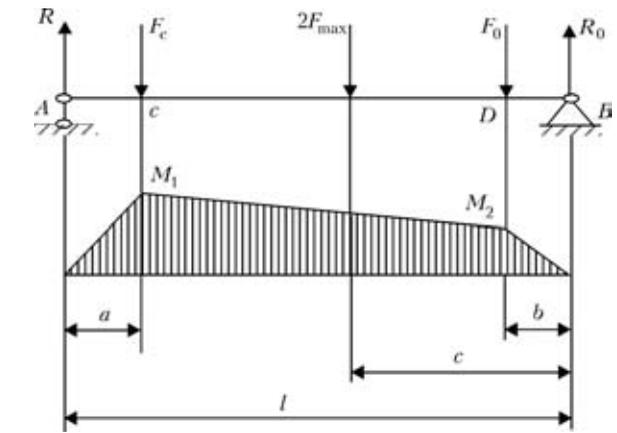


Рис. 2. Схема нагружения оси барабана

$$L_0 = 10^{0,3K_0 + 0,6} / w_1 \quad (5)$$

Остаточный режимный ресурс крана

$$\Delta L = L_0 - L.$$

к нескольким уровням отношений Q_i/Q_n , где Q_n — номинальная грузоподъемность крана.

Обозначим i — порядковый номер груза, $0 \leq i \leq n$; q_i — доля массы груза в отношении к грузоподъемности крана:

$$q_i = Q_i / Q_n \quad (2)$$

j — порядковый номер уровня, $0 \leq j \leq m$; m — количество выбранных уровней для регистрации масс поднимаемых грузов; q_j — средние значения q в интервалах уровней.

Общее количество подъемов грузов данного уровня за один год

$$z_j = \sum_1^k C_i \quad (3)$$

Используем $q_i = Q_i/Q_n$ и z_j в формуле для текущей режимной группы крана K_L [4], обозначив годовую наработку крана w_1 :

$$w_1 = \sum_1^m q_j^3 \frac{z_j}{10^3}.$$

Тогда

$$K_L = \frac{\lg w_1 L}{\lg 2} - 2, \quad (4)$$

где L — отработанный срок службы крана.

Из формулы (4)

$$L = 10^{0,3K_L + 0,6} / w_1.$$

При $K_L = K_0$, где K_0 — паспортная режимная группа крана, отвечающая его полному (запроектированному) режимному ресурсу, верно соотношение

В качестве примера для расчета циклической прочности крановой детали рассмотрим кран мостового типа грузоподъемности $Q_n = 10$ т, отработанное время $L = 20$ лет, количество подъемов грузов z_j за отработанное краном время следующее: при $q_j = 0,9$, $z_j = 60000$; $0,7$ — 25000; $0,5$ — 16200; $0,3$ — 8750; $0,1$ — 0.

В качестве примера для расчета циклической прочности детали принята ось барабана подъемного механизма крана. Расчетная схема оси показана на рис. 2, необходимые геометрические размеры расчетного сечения следующие: расстояние от левой опоры до левой ступицы a — 0,2 м; от правой опоры до правой ступицы b — 0,12 м; от правой опоры до равнодействующей от усилия в подъемных канатах c — 0,52 м; расстояние между опорами оси l — 1,2 м.

Усилие в подъемном канате определяем по формуле

$$F_{max} = \frac{q_{0j} g}{m a \eta}, \quad (6)$$

где q_{0j} — середины интервалов по уровням нагрузок, выраженной в массе груза ($q_{0j} = q_j Q_n$); m , a , η — соответственно кратность, сложность и КПД полиспаста.

В рассматриваемом примере принимаем: $m = 2$; $a = 2$; $\eta = 0,9$.

В табл. 3 приведены значения q_{0j} , соответствующие им усилия в канате F_{max} , значения реакции R_A , изгибающего момента M_1 и напряжения изгиба δ в сечении оси.

Момент сопротивления сечения оси с диаметром $d = 100$ мм, $W = 0,0001$ м³.

Количество циклов изменения напряжений в сечении

Таблица 4. Количество циклов напряжений в сечении N_j

q_j	Σz_j	N_j	N_{Σ}
0,9	60000	$0,6 \cdot 10^6$	1,1 · 10 ⁶
0,7	25000	$0,25 \cdot 10^6$	
0,5	16200	$0,16 \cdot 10^6$	
0,3	8750	$0,087 \cdot 10^6$	
0,1	0	0	

$$N_j = z_j n,$$

где n — количество оборотов барабана за один подъем груза (примем $n = 10$ об.).

Количество циклов изменения напряжений в сечении за срок службы крана для разных уровней нагрузки приведено в табл. 4.

Дальнейшие расчеты циклической прочности детали с использованием эквивалентных напряжений могут привести к одному из двух результатов.

Случай 1 — эквивалентные напряжения меньше неограниченного предела выносливости материала, т. е. $\sigma_{\Sigma} < \sigma_{rk}$.

Случай 2 — эквивалентные напряжения больше неограниченного предела выносливости, т. е. $\sigma_{\Sigma} > \sigma_{rk}$.

Уравнение накопления усталостных повреждений в материале сечения при пятиуровневом нагружении можно записать в следующем виде:

$$\sigma_{\Sigma}^m N_{\Sigma} = \sigma_5^m N_5 + \sigma_4^m N_4 + \sigma_3^m N_3 + \sigma_2^m N_2 + \sigma_1^m N_1,$$

или, приняв $\sigma_5 = \sigma_{\max}$, $N_{\Sigma} = N_5 + N_4 + N_3 + N_2 + N_1$, можем записать

$$\sigma_{\Sigma} = \sigma_{\max} \sqrt[m]{\frac{1}{N_{\Sigma}} \left(N_5 + \left(\frac{\sigma_4}{\sigma_5}\right)^m N_4 + \left(\frac{\sigma_3}{\sigma_5}\right)^m N_3 + \left(\frac{\sigma_2}{\sigma_5}\right)^m N_2 + \left(\frac{\sigma_1}{\sigma_5}\right)^m N_1 \right)}. \quad (7)$$

Принимая для данного случая показатель степени усталостной кривой $m = 3$, получаем $\sigma_{\Sigma} = 39,36$ МПа.

Материал оси — сталь 45, предел выносливости при симметричном цикле $\sigma_{-1} = 274$ МПа, базовое количество циклов $N_{\sigma} = 2 \cdot 10^6$.

Допустимые напряжения в сечении оси определяем по формуле

$$[\sigma] = \frac{\sigma_{rk}}{A},$$

где σ_{rk} — предел выносливости материала при коэффициенте асимметрии r и коэффициенте концентрации напряжений k ; A — запас прочности.

Предел выносливости материала определяем по формуле:

$$\sigma_{rk} = \frac{2\sigma_{-1}}{(1-r)k + (1+r)\eta}.$$

Для рассматриваемого примера принимаем следующие значения: $r = -1$; $k = 1,82$; $\eta = 0,3$.

Тогда $\sigma_{rk} = 150,5$ МПа; $[\sigma] = 100,3$ МПа.

Так как $\sigma_{\Sigma} < [\sigma]$; $39,36$ МПа $<$ $100,3$ МПа, то нагружение детали соответствует случаю 1, и условие циклической прочности оси выполняется.

Выводы

Изложена методика определения остаточного режимного ресурса для оценки циклической прочности конструкций крана после определенного срока службы.

Показан способ получения исходных данных для расчета текущей режимной группы крана путем анализа технологического процесса и грузопотока на рабочем участке. Выполнена проверка циклической прочности детали крана при различных геометрических характеристиках сечения с использованием данных о нагружении крана за отработанный срок службы.

1. *Липатов А. С.* Оценка остаточного ресурса подъемных сооружений. Обсуждение правил устройства и безопасной эксплуатации подвесных канатных дорог // ПТО. — 2003. — № 1–2.
2. *Зарецкий А. А.* Определение остаточного ресурса грузоподъемных кранов // Там же. — 2005. — № 8. — С. 38–41.
3. *Маковский А. М.* Диагностирование кранов по остаточному режимному ресурсу на основе классификации стандарта // Техн. диагностика и неразруш. контроль. — 1991. — № 1. — С. 29–32.
4. *Маковский А. М.* Учет режима работы грузоподъемных кранов при диагностировании крановых деталей по признаку их циклической прочности // Там же. — 2005. — № 2. — С. 22–23.

ОЦЕНКА СХОДИМОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ ПРИ МЕЖЛАБОРАТОРНЫХ СЛИЧЕНИЯХ

В. Е. МЯСНИКОВ

Предложены показатели сходимости результатов испытаний. Введены понятия и термины по оценке сходимости результатов испытаний. Обоснована необходимость разделения показателей сходимости на дифференцированные и недифференцированные по уровню сходимости. Предложена оценка расчетных характеристик изделий по физическим показателям, исходным для расчета.

Indices of precision of test results are suggested. Concepts and terms are introduced on evaluation of precision of test results. The need for separation of the precision indices into those differentiated and non-differentiated by the precision level is substantiated. An evaluation of the calculated characteristics of the items by physical indices, initial for calculation, is proposed.

Обеспечение возможности пользоваться безопасными, надежными техническими средствами во всех сферах производственной деятельности и в быту является стратегической целью развития индустрии в промышленно развитых странах. Подтверждение безопасности и надежности технических средств осуществляется путем их испытаний в аккредитованных испытательных лабораториях (ИЛ). Одним из действенных инструментов подтверждения достоверности результатов испытаний и технической компетентности ИЛ являются межлабораторные сличения (МЛС) результатов испытаний изделий, проводимые последовательно на одних образцах или на различных образцах, отобранных из одной партии изделий. Должно обеспечиваться постоянство характеристик образцов между повторными испытаниями, поэтому изложенные ниже предложения ориентированы преимущественно на изделия машиностроительного профиля (в том числе изделия электротехники, радиоэлектроники), а не на сельскохозяйственную продукцию, изделия пищевой промышленности.

Работы по МЛС должны иметь конечной целью оценку идентичности (при ее отсутствии) результатов испытаний. Идентичность результатов применительно к испытаниям продукции и к измерениям параметров продукции при ее испытаниях называют *сходимостью*.

Оценка сходимости результатов испытаний должна базироваться на *показателях сходимости*, которые с учетом особенностей объекта испытаний и параметра, контролируемого при испытаниях, должны быть определены на начальной стадии работ координатором работ по МЛС совместно с руководителями лабораторий, участвующих в испытаниях, по каждому оцениваемому при МЛС параметру изделия. Показатели сходимости по виду представления результатов работ по МЛС следует классифицировать на *дифферен-*

цированные и недифференцированные. Дифференцированные показатели сходимости характеризуют количественную оценку результатов работ по МЛС — по оцениваемому *уровню сходимости*, который может быть выражен в процентах или единицах физических величин. В процентах можно оценить *класс сходимости*, а в единицах физических величин — *дифференциал сходимости* при проведении МЛС. Оба показателя характеризуют рассеяние результатов испытаний, проведенных в разных лабораториях, относительно их среднеарифметического значения по каждому испытанному параметру изделия. При дифференцированной оценке результатов работ по МЛС в программе работ должен быть указан количественный критерий — *граничное значение уровня сходимости*, позволяющее результаты работ по МЛС считать приемлемыми (удовлетворительными). Граничное значение уровня сходимости должно быть согласовано координатором работ по МЛС с руководителями лабораторий, участвующих в испытаниях.

Недифференцированный показатель сходимости применим в случаях, когда объектом оценки являются условные показатели (например, степень защиты, обеспечиваемая оболочкой электротехнического изделия по коду IP — ГОСТ 14254–96 (IEC 529–89)). При недифференцированной оценке результатов сходимости МЛС возможно только подтверждение или неподтверждение факта сходимости результатов испытаний без оценки уровня сходимости.

Если характеристика изделия, подлежащая проверке при МЛС, оценена по многократным наблюдениям с последующей обработкой их результатов, то сходимость в этом случае следует оценивать по классу или дифференциалу сходимости, причем в качестве исходных данных для расчета следует принимать расчетные значения стандартной неопределенности типа *A*. Если под-



лежащая проверке при МЛС характеристика изделия не является результатом измерения, а рассчитывается по формуле, то объектом МЛС должны быть значения физических показателей, исходных для расчета. Так, например, если проверке подлежит коэффициент полезного действия трансформатора напряжения, то объектом МЛС должны быть значения мощностей на входе и выходе трансформатора. Оцениваемые при этом значения показателей сходимости по первичной и вторичной мощностям трансформатора должны быть дифференцированными.

Аналогично следует оценивать и внесистемные показатели продукции, например, твердость черных и цветных металлов по шкале Бринелля. По методу Бринелля стальной закаленный шарик определенного диаметра вдавливаются в испытуемый образец под действием заданной силы в течение определенного времени с последующим измерением диаметра отпечатка от шарика на поверхности испытуемого образца, а по измеренному диаметру — площади поверхности сферического отпечатка. По перечисленным выше параметрам расчетом по формуле определяют твердость

по шкале Бринелля (НВ, МПа). Для обеспечения в различных лабораториях сравнимых результатов измерений и сходимости при МЛС следует стандартизировать экспериментальные процедуры. Сходимость результатов должна быть регламентирована и оценена по каждой из перечисленных выше составляющих с использованием дифференцированных показателей. Все процедуры, подлежащие регламентации, а также граничные значения уровня сходимости по каждому параметру координатор работ по МЛС должен согласовать с руководителями лабораторий, участвующих в МЛС [1–5].

На рисунке приведены показатели сходимости результатов испытаний при МЛС.

Предложенный подход к оценке сходимости результатов испытаний при МЛС может быть предметом дискуссии между заинтересованными специалистами, в том числе на страницах журнала. Такая дискуссия будет способствовать изданию нормативного документа Национального агентства по аккредитации в Украине, в котором найдут отражение технически обоснованные предложения специалистов, в том числе испытательных лабораторий, по изложенной тематике.

Выводы

Предложены показатели сходимости результатов испытаний при МЛС.

Обоснована необходимость разделения показателей сходимости на дифференцированные и недифференцированные по уровню сходимости.

Обоснована необходимость оценки расчетных характеристик продукции по физическим показателям, исходным для расчета.

1. *ГОСТ 8.010–99*. Государственная система обеспечения единства измерений. Методики выполнения измерений. Основные положения.
2. *ГОСТ 8.207–76*. Государственная система обеспечения единства измерений. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения.
3. *ГОСТ 14254–96 (МЭК 529-89)*. Межгосударственный стандарт. Степени защиты, обеспечиваемые оболочками (Код IP).
4. *МИ 2552–99*. Применение «Руководства по выражению неопределенностей измерений». Государственная система обеспечения единства измерений.
5. *Захаров И. П., Кукуш В. Д.* Теория неопределенности в измерениях. — 2002.



NDT[®]

LAB

MERATEK

6-я Международная специализированная выставка и конференция приборов и оборудования для неразрушающего контроля и технической диагностики в промышленности

5-я Международная специализированная выставка приборов и оборудования для лабораторного контроля в промышленности

8-я Международная специализированная выставка измерительных приборов и промышленной автоматизации

15-18 мая 2007, Москва, СК «Олимпийский»

Отчет по выставке



ОРГАНИЗАТОРЫ:



primexpo



ITE GROUP INC.

ПРИ СОДЕЙСТВИИ:



Российское общество по неразрушающему контролю и технической диагностике

ОФИЦИАЛЬНАЯ ПОДДЕРЖКА:

Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору

Федеральное космическое агентство

Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии

Федеральное агентство по атомной энергии

Международный комитет по неразрушающему контролю

Европейская федерация по неразрушающему контролю



По словам Руководителя Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору Пуликовского К. Б.: «Эффективность мер, направленных на защиту личности, общества и, в конечном счете, на национальную безопасность России, в значительной степени обусловлена развитием современных технологий, в том числе тех, которые демонстрирует открывающаяся выставка».

В выставке NDT и Meratek 2007 приняли участие 196 компаний из 6 стран мира. За четыре дня выставку посетили более 5300 специалистов.

РАЗДЕЛЫ ВЫСТАВОК

- NDT Russia
- Акустическая эмиссия
- Ультразвуковой контроль
- Вихретоковый контроль
- Визуальный и оптический контроль
- Магнитопорошковый контроль
- Электромагнитный контроль
- Тепловой контроль
- Вибродиагностика
- Динамический контроль твердости
- Капиллярный контроль
- Течейскание
- Радиографический контроль
- Электрический контроль
- Радиационный контроль
- Контроль трубопроводов
- Обучение и сертификация персонала
- Аттестация лабораторий
- Экспертиза и диагностика опасных производственных объектов

Промышленная автоматизация

- Комплексная автоматизация промышленных предприятий
- Промышленные компьютеры и сети
- Оборудование для встраиваемых и бортовых систем сбора данных и управления
- Электронные модули для жестких условий эксплуатации
- Услуги по системной интеграции в области АСУ ТП
- SCADA-системы, MES-системы и системы реального времени
- Взрывозащищенное электрооборудование
- Датчики, системы идентификации, первичные преобразователи, электроприводы
- Испытательные системы и тренажеры для САУ

Измерительные приборы

- Средства измерения различных физических величин и технологических параметров промышленного и научного назначения
- Приборы и системы для испытаний, сертификации и контроля качества материалов и готовой продукции
- Сенсоры и сенсорные системы, измерительные преобразователи
- Измерительные информационные системы и системы обработки данных измерений и испытаний



- Лабораторная и аналитическая техника
- Приборы и системы учета и контроля энергоресурсов
- Средства метрологического обеспечения в промышленности и науке
- Измерительные приборы и системы, основанные на использовании лазерной и оптоволоконной техники

ВЫСТАВОЧНЫЕ СОБЫТИЯ

15–18 мая 2007 г. в СК «Олимпийский» в Москве одновременно с выставками LAB и MERATEK в шестой раз прошла международная выставка приборов и оборудования NDT RUSSIA — «НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ И ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА В ПРОМЫШЛЕННОСТИ».

Во многих отраслях в результате старения основных фондов резко возрастает аварийность. В связи с этим первостепенное значение приобретает создание новых высокоинтеллектуальных методов и средств неразрушающего контроля и технической диагностики, которые из года в год демонстрируются ведущими компаниями отрасли на выставке NDT Russia.

В 2007 г. свои новейшие разработки в области неразрушающего контроля компании-участницы выставки представили на конкурсе «ИННОВАЦИЯ», итоги которого были подведены в первый день выставки.

Победителями стали компании:

- ЦЕНТР ДИАГНОСТИКИ (система НК — «Марс»)
- АКС (УЗ томограф для бетона А1040 «Полигон»)
- АЛТЕС (мобильная установка УЗ контроля буровых труб)
- ИНТРОН+ (дефектоскоп стальных канатов МГ-150)
- ИНТЕРЮНИС (система комплексного контроля «Лель»)
- ИНКОТЕС (прибор для измерения механических напряжений ИН-5101А)
- АВКОНТ (программа трехмерной реконструкции объектов контроля)
- ТОЧМЕХ (за развитие и внедрение новых технологий в производстве аппаратуры НК)
- Йена Инструментс (FaroArm)
- HELLING
- OLYMPUS
- GE INSPECTION TECHNOLOGIES

Традиционно одноименная выставке международная конференция, организатором которой является Российское общество по неразрушающему контролю и технической диагностике (РОНКТД), позволила специ-



алистам обменяться мнениями и обсудить волнующие вопросы отрасли. На конференции работали четыре секции: «Техногенная диагностика», «Экологическая диагностика», «Антитеррористическая диагностика» и «Сертификация, метрология, стандартизация, остаточный ресурс».

Официальный вечерний прием, посвященный открытию выставки и конференции, состоялся 15 мая в Венском кафе в гостинице «Ренессанс Москва». На приеме присутствовали участники выставки, партнеры ООО «Примэкспо», представители СМИ. Во время вечернего приема прошла церемония награждения участников выставок в номинациях:

Номинация	Победители
Оригинальный дизайн стенда	Olympus NDT; GE Inspection Technologies
Оригинальный дизайн стенда	«Промприбор» НПП; «Луч», НПК
Блестящий дебют на выставке	«Серния» НПО; «Йена Инструментс»
Самая яркая маркетинговая акция	«Пергам»

СТАТИСТИКА

Отраслевая принадлежность посетителей: %

Приборостроение	31,9
Авиастроение, авиация	17,9
Металлургия, металлообработка	14,1
Электроэнергетика	13,9
Трубопроводный транспорт	10,7
Топливная промышленность	9,1
Химическая промышленность	8,3
Железнодорожный транспорт	7,5
Строительство	6,8

Коммунальное хозяйство	5,0
Автомобилестроение	4,8
Другое	3,5
Транспортные услуги	3,4
Судостроение	3,4
Станкостроение	2,9

Какой раздел выставки Вас интересует?: %

Неразрушающий контроль и техническая диагностика	76,9
Ультразвуковой контроль	34,8
Измерительные приборы	31,5
Визуальный и оптический контроль	27,7
Вихретоковый контроль	22,9
Лабораторный контроль в промышленности	21,8
Магнитопорошковый контроль	21,5
Вибрационный контроль	21,3
Акустическая эмиссия	18,0
Автоматизация	17,1
Капиллярный контроль	17,0
Контроль трубопроводов	17,0
Радиационный контроль	16,4
Инфракрасный и термический контроль	15,6
Радиографический контроль	15,6
Электрический контроль	14,6
Электромагнитный контроль	14,1
Обучение и сертификация персонала	13,7
Аттестация лабораторий	11,7
Течеискание	10,0
Экспертиза и диагностика опасных производственных объектов	8,4
Другое	1,2

В 2008 г. выставки NDT, LAB и MERATEK пройдут 11–13 мая в СК «Олимпийский» в Москве.

Оргкомитет: ООО ПРИМЭКСПО <http://www.primexpo.ru>; <mailto:journal@primexpo.ru>
190000 Санкт-Петербург, ул. Малая Морская, 23.
Тел.: +7 (812) 380-6010; факс: +7 (812) 380-6001



НАЦИОНАЛЬНОМУ ОБЩЕСТВУ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ БОЛГАРИИ — 45 ЛЕТ

Наши болгарские коллеги-дефектоскописты отметили свой 45-летний юбилей. В честь этого события с 11 по 14 июня 2007 г. в г. Созополе состоялись «Дни неразрушающего контроля в Болгарии», в которых приняли участие делегации Украины, Белоруссии, России, Германии, Франции, Чехии.

Юбиляров поздравили представители национальных обществ: от украинского — А. В. Мозговой, от российского — Э. С. Горкунов, германского — Х. Веселль, чешского — Д. Софиар, белорусского — В. Ковтун, а также руководители и представители ведущих болгарских и зарубежных фирм, специализирующихся в области НК.

В программу «Дней...» входили следующие мероприятия:

- XXII национальная с международным участием конференция «Дефектоскопия — 2007»;
- конференция молодых специалистов и ученых «Неразрушающий контроль физико-механических свойств материалов, изделий и конструкций»;
- русско-болгарский семинар «Диагностика энергетического оборудования»;
- национальный семинар «Проблемы неразрушающего контроля элементов железнодорожного транспорта».

Научная программа Национальной конференции включала 14 пленарных докладов, в том числе три доклада представителей Украины:

Троицкого В. А., Бондаренко А. И. Низкочастотный ультразвуковой контроль протяженных объектов, находящихся в продолжительной эксплуатации;

Мозгового А. В. Повышение эффективности контроля крупногабаритных многослойных неметаллических изделий с помощью комплекса акустической беззатонной дефектоскопии;

Троицкого В. А., Шекеро А. Л. Точные измерения размеров трещин в сварных соединениях методом дифрагированных волн.

Представлено 49 секционных и 32 стендовых доклада, на конференции молодых специалистов — 12 секционных и 8 стендовых докладов.

Очень интересно прошли круглые столы: «Обучение и сертификация персонала. Классификация видов НК», «Неразрушающий контроль. Вопросы стандартизации», «Порошковая металлургия — требования и условия развития в Болгарии», «Аккредитация лабораторий и органов по сертификации персонала», «Проблемы бизнеса в условиях членства Болгарии в ЕС».

Состоялись презентации 9 фирм, сообщивших о своих новых разработках. В выставке приняли участие 13 фирм, в том числе: НДТ «Продукты и системы», Omel NDT, Namikon 2001, ET «ЕЛОТ — Имех-БАН», Olympus NDT Europa, SPM Instrument, Ardox penetrant testing, ET «Ст.Запряннов», ET VIT Желко Топич., Sopotron NDT, Nexus Engineering, SKF — Болгария, Энергодигностика — Россия.

В ходе «Дней...» проведены переговоры о развитии сотрудничества между Болгарским и Украинским обществами НК, возможных совместных мероприятиях,



Слева направо: М. Миховски — председатель БОНК, А. Скордев — председатель БОНК с 1993 по 2001 гг., А. В. Мозговой — зам. председателя УОНКТД

дальнейшем научно-техническом сотрудничестве, участии в европейских проектах. В частности обсуждались вопросы проведения с Россией в 2008 г. Второго международного конкурса дефектоскопистов, международной интернет-конференции и т. д.

Серьезного внимания требует со стороны Украины изучение возможности продвижения на рынок Болгарии украинских средств и технологий НК, которые, не уступая по качеству западным аналогам, являются более интересными по ценовым показателям.

Перспективным на наш взгляд может быть участие в области НК и ТД украинских фирм в тендерах на осуществление общенациональных инвестиционных проектов по модернизации ТЭЦ, замене железнодорожных коммуникаций, строительстве нефтепровода Бургас — Александрополис и АЭС «Белене». При этом надо учитывать, что Болгария находится в ЕС и требования к участникам будут предъявляться уже европейские.

Полезным для УО НКТД будет использование системного подхода Болгарского общества к вопросу о гармонизации европейских стандартов вообще и сертификации специалистов в частности. Искреннее уважение вызывает большая работа, проведенная А. Скордевым по сбору и обобщению материалов 45-летней истории Болгарского общества. Наверное, нам тоже было бы неплохо подумать над этим вопросом.

Было очень приятно встретить среди болгарских специалистов выпускников наших украинских вузов, которые с большой теплотой вспоминали студенческие годы, проведенные в Украине. И это, кстати, тоже одно из возможных направлений сотрудничества.

Старинный Созополь, с его узкими улочками и современными отелями, прекрасная природа, море, удачно выбранное место проведения конференции, замечательная болгарская кухня способствовали успешному проведению «Дней...», обмену мнениями, налаживанию тесных отношений и в оставшееся время — активному отдыху.

Еще раз поздравляем болгарских друзей с их праздником, желаем творческих и производственных успехов! До встречи в 2008 году!

*Информационное сообщение подготовлено
М. Миховски — председателем БОНК,
А. В. Мозговым — зам. председателя УО НКТД*



НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ СЕМИНАР «НОВЫЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ»

12–13 июня 2007 г. в Институте электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины прошел научно-методический семинар «Новые методы контроля качества сварных соединений металлоконструкций». Семинар был организован Украинским обществом неразрушающего контроля и технической диагностики (УО НКТД) и Научно-производственной фирмой «Диагностические приборы».

Программа семинара включала следующие вопросы:

1. Новое слово в радиографии — цифровые технологии:

- цифровая бесплёночная радиография и системы для ее осуществления;
- практическое применение цифровой бесплёночной радиографии.

2. Цифровые технологии и аппаратура в радиационном контроле фирмы «КОДАК».

3. Компьютерные системы обработки радиографических пленок.

4. Магнитометрический контроль (метод «магнитной памяти»).

5. Точное измерение размеров внутренних дефектов методом дифрагированных волн.

6. Низкочастотный ультразвуковой контроль протяженных объектов, находящихся в длительной эксплуатации.

Кроме того, в рамках семинара была проведена презентация учебно-методических пособий и плакатов по актуальным методам контроля качества сварных соединений (В. А. Троицкий — д-р техн. наук, проф. ИЭС им. Е. О. Патона) и второго номера журнала «Диагностические приборы. Средства и технологии неразрушающего контроля (А. В. Павлий — генеральный директор НПФ «Диагностические приборы»).

В работе семинара приняли участие более 60 человек из предприятий и организаций разных регионов Украины.

На семинаре со вступительным словом выступил профессор Троицкий В. А., заведующий отделом неразрушающих методов и средств контроля качества



сварных соединений ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины.

С большим интересом был заслушан обстоятельный, квалифицированный доклад генерального директора Ассоциации научно-технического сотрудничества «ТЕСТРОН» Б. Ю. Крамера о цифровой бесплёночной радиографии и системе ФОСФОМАТИК для ее осуществления. Цифровая бесплёночная радиография во многих случаях может полностью заменить плёночную радиографию с такой же радиографической чувствительностью, имея при этом ряд преимуществ.

Метод цифровой радиографии сочетает достоинства радиографии и рентгенотелевидения. Это, с одной стороны, присущие рентгенотелевидению оперативность контроля, электронная обработка и архивирование изображений, исключение расходных материалов и процессов химико-фотографической обработки при радиографии, а с другой — возможности исследования объектов любой конфигурации и неограниченных габаритов, а также приближения приемника излучения вплотную к объекту.

По своему динамическому диапазону этот метод превосходит не только рентгенотелевизионный, но и радиографию. С его помощью возможна регистрация изображения объекта с большим перепадом толщины за одну экспозицию с последующим просмотром участков различной оптической плотности с помощью регуляторов яркости и контраста изображения.

Схема контроля строится точно так же, как и в традиционной радиографии, но вместо рентгеновской пленки применяются высококонтрастные гибкие многогоразовые фосфорные пластины.

После экспозиции пластина вставляется в специальный сканер для считывания изображения компьютером. После помещения в стирающее устройство пластина вновь готова к использованию. Одна пластина может использоваться не менее 10000 раз.

Пластины после экспозиции могут храниться длительное время, они слабочувствительны к свету и требуют защиты только от прямых солнечных лучей (достаточно конверт из черной бумаги или полиэтилена).

Изображения сохраняются в электронном виде и могут подвергаться цифровой обработке с целью улучшения выявляемости дефектов. Становится возможным





автоматизированный поиск дефектов и измерение их параметров.

Значительный интерес вызвали доклады А. П. Степчкова — представителя фирмы «КОДАК» в странах СНГ «Цифровые технологии и аппаратуры в радиационном контроле фирмы «КОДАК» и М. Н. Карманова — ст. научн. сотрудника ИЭС им. Е. О. Патона «Компьютерные системы обработки радиографических пленок».

По магнитометрическому контролю (методу «магнитной памяти») для экспресс-диагностики доклад сделал ст. научн. сотрудник ИЭС им. Е. О. Патона В. И. Загребельный. Этот метод диагностики металла изделий и сварных соединений основан на использовании эффекта магнитной памяти металла — метод НК, основанный на анализе распределения собственного магнитного поля рассеяния на поверхности изделий с целью определения зон концентрации напряжений, дефектов и неоднородности структуры металла и сварных соединений.

Ст. научн. сотрудник ИЭС им. Е. О. Патона Е. А. Давыдов представил интересный доклад по точному измерению размеров внутренних дефектов методом дифрагированных волн.

Использование традиционных технологических приемов настройки (калибровки) оборудования позволяет достигать практически значимых погрешностей в измерении трещиноподобных несплошностей, по крайней мере, начиная с глубин залегания кромки трещины (от поверхности ввода) более 15 мм, погрешность измерения не превышает 2 мм.

Участники семинара имели возможность ознакомиться с работой цифровой бесплочной системы радиографии ФОСФОМАТИК в высокоэнергетической рентгеновской лаборатории ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины, а также системы низкочастотного ультразвукового контроля протяженных объектов, находящихся в длительной эксплуатации и с оборудованием контроля методом «магнитной памяти».

В целом научно-методический семинар по новым методам контроля качества сварных соединений металлоконструкций прошел на высоком научно-техническом уровне и вызвал значительный интерес у слушателей, которые приняли участие в его работе. Участники семинара получили второй номер журнала «Диагностические приборы. Средства и технологии неразрушающего контроля», Информационный бюллетень «НК-информ» № 1 (33), 2007, приглашение на 15-ю Юбилейную международную конференцию и выставку «Современные методы и средства неразрушающего контроля и технической диагностики», которая пройдет 1–5 октября 2007 г. в г. Ялта, а также другие информационные материалы.

*Н. Г. Белый, ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины,
А. В. Павлий, НПФ «Диагностические приборы»*

ИНСТИТУТ ЭЛЕКТРОСВАРКИ им. Е. О. ПАТОНА НАН УКРАИНЫ

Объявляет ежегодный набор в

ДОКТОРАНТУРУ по специальностям:

- ✓ сварка и родственные процессы и технологии
- ✓ автоматизация процессов управления
- ✓ металловедение и термическая обработка металлов
- ✓ металлургия черных и цветных металлов и специальных сплавов
- ✓ диагностика материалов и конструкций

АСПИРАНТУРУ по специальностям:

- ✓ сварка и родственные процессы и технологии
- ✓ автоматизация процессов управления
- ✓ металловедение и термическая обработка металлов
- ✓ металлургия черных и цветных металлов и специальных сплавов
- ✓ диагностика материалов и конструкций

Прием в аспирантуру проводится в сентябре месяце.

Контактный телефон: **289-84-11.**

Подробная информация на сайте института (раздел аспирантура): **www: paton.kiev.ua**

Документы направлять по адресу: **03680, Украина, Киев-150, ГСП, ул. Боженко, 11.**

Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, ученому секретарю.



НОВОСТИ

СТАНЦИЯ НК364 АУЗК ж/д колес (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Государственное предприятие «ОКТЬ Института электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины» продолжает плодотворное сотрудничество с крупнейшим в Европе производителем магистральных труб и железнодорожных колес ОАО «Выксунским металлургическим заводом» (Россия). В нашем журнале уже публиковались статьи о разработанных ОКТЬ ИЭС установках типа НК360-362 для неразрушающего контроля сварных швов и концевых участков труб диаметром от 508 до 1420 мм и толщиной стенки от 7 до 50 мм. Партию из шести таких установок ОКТЬ ИЭС поставило заводу в 2004–2005 гг. Они прошли зарубежную инспекцию по нормам DNV1, разрешившей участие ОАО «ВМЗ» в тендере на поставку труб для нефтепровода «Nord stream», в том числе по дну Балтийского моря.



Высокий рейтинг этого оборудования АУЗК позволил ОКТЬ ИЭС им Е. О. Патона вновь победить в международном тендере и получить заказ на поставку ОАО «ВМЗ» в 2007 г. двух станций автоматизированного ультразвукового контроля железнодорожных колес, выпуск которых на заводе составляет почти треть мирового производства.

В июле этого года две станции НК364 АУЗК ж/д колес (см. фото) изготовлены и отправлены заказчику. Они предназначены для выявления нарушений сплошности типа флокенов, расслоений, завернувшихся и утонувших корочек, газовых пузырей, скопленных неметаллических включений, ликваций и других внутренних дефектов широкой номенклатуры колес, используемых на железных дорогах всего мира. Положительной особен-

ностью является то, что контроль ведется одновременно по двадцати каналам на всех элементах колеса: ободе в осевом и радиальном направлениях, ступице, диске и гребне.

ТЕХНІЧНА ДІАГНОСТИКА СТАНУ МАТЕРІАЛУ МЕТОДОМ ІМ-ТВЕРДОСТІ (Ін-т проблем міцності ім. Г. С. Писаренка НАН України)

Запропоновано й експериментально обґрунтовано нові методи контролю стану матеріалу. Для прогнозування кінетики розпорошених пошкоджень в матеріалі на різних стадіях його деформування при статичному і циклічному навантаженні розроблено математичну модель, в якій вперше основним параметром поточного стану середовища, що деформується, є міра розпушування. Модель має добре експериментальне підтвердження результатами, отриманими на багатьох сталях і чавунах з використанням методів сканування та зважування.

Запропоновано також новий спосіб оцінки пошкодження середовища за зміною в процесі напруження вмісту в матеріалі окремих хімічних елементів, що при наявності відповідної апаратури дозволяє детально аналізувати хімічний склад в досліджуваній області та оцінювати відповідні поля пошкодження. Внесено корективи в оцінку деградації середовища за зміною модуля Юнга.

ЗАСТОСУВАННЯ МОДИФІКОВАНОГО МЕТОДУ ЕЛЕКТРОРОЗВІДКИ ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЮ І МОНІТОРИНГУ СТАНУ ГІДРОТЕХНІЧНИХ СПОРУД (Ін-т геохімії навколишнього середовища НАН та МНС України, Київський нац. ун-т ім. Т. О. Шевченка)

Обґрунтовується необхідність створення експертних моніторингових діагностичних систем для організації спостереження за греблями гідротехнічних споруд з метою систематичної оцінки комплексу факторів, які визначають їх геодинамічну стійкість, висвітлюються питання підвищення рівня екологічно-технологічної безпеки гідротехнічних споруд як промислових об'єктів підвищеної небезпеки за рахунок впровадження нових методів неруйнівного контролю, що дозволить попередити і знизити ризик надзвичайних ситуацій, а також організувати їх супровід. Розроблено новий модифікований метод електророзвідки для оперативного аналізу та моніторингового супроводу стану гідротехнічних споруд на основі електромагнітних зондувань методом перехідних процесів.



СИСТЕМИ ОБРОБКИ ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ В ЗАДАЧАХ НЕРУЙНИВНОГО КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ МАТЕРІАЛІВ (Фізико-механічний ін-т ім. Г. В. Карпенка НАН України)

Проаналізовано комп'ютеризовані системи обробки цифрових зображень, отриманих при рентгенологічному та капілярному методах неруйнівного контролю виробів і матеріалів. Описано розроблені системи «Образ-Д1» й «Образ-Д2», в яких реалізовано нові методи і алгоритми поліпшення зображень, автоматична сегментація зображень для виділення об'єктів-дефектів, а також обчислення їх кількісних параметрів (периметр, площа, місцезнаходження тощо). На основі отриманих числових даних будується паспорт дефектності контролюваного виробу.

РОЗРОБКА І ЗАСТОСУВАННЯ ЕМАП ПРИЛАДІВ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЛИСТІВ, ТРУБ І ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ З ВИКОРИСТАННЯМ ХВИЛЬ ЛЕМБА, ХВИЛЬ SH-ПОЛЯРИЗАЦІЇ (Ін-т електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України)

Представлено магнітоакустичний метод УЗ контролю, що дозволяє за рахунок використання оригінальних технічних рішень виявити корозійні руйнування в ізольованих трубопроводах та дефекти у зварних з'єднаннях. Описано оригінальні електромагнітно-акустичні перетворювачі (ЕМАП) та блоки збудження й приймання хвиль Лемба і хвиль SH-поляризації. Проведено експериментальні дослідження різних типів ЕМАП для неруйнівного контролю зварних з'єднань і листів — ЕМАП із квазіпостійним імпульсним підмагнічуванням, які збуджують і приймають хвилі Лемба, а також хвилі SH-поляризації.

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЙ І АПАРАТУРИ ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ КОНСТРУКЦІЙ З МЕТАЛЕВИХ ТА КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ОСНОВІ МЕТОДУ ЕЛЕКТРОННОЇ ШИРОГРАФІЇ (Ін-т електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України)

Проаналізовано методику та апаратуру для широкоточного неруйнівного контролю якості еле-

ментів конструкцій, виготовлених з металевих та композиційних матеріалів. Розглянуто на тестових зразках методичне питання щодо визначення ефективності застосування теплового та механічного навантажень з метою виявлення штучно закладених дефектів з різними геометричними параметрами. За допомогою розробленого макета широкоточного приладу виконано контроль якості елемента стільникової панелі.

КОМПЛЕКСНА СИСТЕМА ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ ТА ЗБЕРІГАННЯ РАДІОГРАФІЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ (Ін-т електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України)

Досліджено та розроблено теоретичні основи створення програмно-апаратного комплексу для цифрової обробки радіограм та їх архівації. Приведені результати з підвищення радіографічної чутливості контролю, покращення якості зображення рентгенограм, масштабування виведеного на екран монітору зображення, корекції оптичної щільності зображення, передачі результатів контролю в базу даних з метою їх аналізу та архівації.

РОЗРОБКА МЕТОДИК І ЗАСОБІВ ВИЯВЛЕННЯ, ЗАРОДЖЕННЯ ТА РОЗВИТКУ ТРІЩИН У ВЕЛИКОГАБАРИТНИХ ОБ'ЄКТАХ ПІД ВПЛИВОМ НАВАНТАЖЕННЯ І РОБОЧОГО СЕРЕДОВИЩА (Фізико-механічний ін-т ім. Г. В. Карпенка НАН України)

Описано акустико-емісійні (АЕ) методики прикладного застосування для оцінки стану об'єктів довготривалої експлуатації: визначення моменту старту макротріщини в конструкційних сплавах, величини її субкритичного росту та експрес-оцінки нижнього порогового значення коефіцієнта інтенсивності напружень K_{ISCC} . Показано окремі характеристики портативного восьмиканального приладу відбору, реєстрації та обробки сигналів АЕ, який слугує для реалізації запропонованих методик, а також для визначення координат джерел АЕ, параметрів сигналів АЕ, що супроводжують руйнування на мікро- та макрорівнях. Він може стати базовим для випуску портативних засобів АЕ-контролю в Україні.



ПАТЕНТИ В ОБЛАСТІ ТД і НК

Спосіб неруйнівного контролю на основі ефекту Кірліан неметалічних матеріалів та покриттів неметалічних матеріалів на металах, що включає дію на виріб, який контролюється високочастотним імпульсним електромагнітним полем, яке створюють шляхом подачі імпульсу від генератора на металеву частину виробу, накладання фотоносіїв на неметалічне покриття та реєстрації на фотоносії зображення отриманого газорозрядного процесу та візуалізації місць дефектів, який відрізняється тим, що на металеву частину виробу з неметалічних покриттів подається кількість імпульсів, яка дорівнює оберненій величині сталої тонкої структури електромагнітної взаємодії, яка визначає оптимальну інтенсивність випромінювання чи поглинання речовиною виробу енергії; окрім того, при візуалізації дефектів на фотоносії у вигляді кольорової фотоплівки додатково аналізують кольорову гаму зображення на наявність синіх, червоних та фіолетових тонів, що дозволяє оцінювати якість неметалічного матеріалу чи неметалічного покриття. *Патент України № 15604. Черний З. Д., Надха О. С., Шелухін В. В. та ін. ВАТ «УНДІ технології машинобудування» (№ 7)*.*

Пристрій для виявлення дефектів на працюючому обладнанні, який складається з накладки, що утворює разом з контрольованою поверхнею герметичну порожнину, заповнену рідиною під тиском і з'єднану з датчиком тиску, який відрізняється тим, що на поверхні накладки, яка контактує з контрольованою поверхнею обладнання, виконана сітка з'єднаних між собою каналів. *Патенти України № 76628. Шитко О. І., Ахременко В. Л. Ін-т електродинаміки НАНУ (№ 8)*.*

Пристрій для автоматичного збору і обробки діагностичної інформації про технічний стан обладнання і хід технологічного процесу, відрізняється тим, що в нього додатково введені первинні перетворювачі параметрів технологічного процесу, блок первинної обробки сигналів параметрів технологічного процесу, блок формування довгострокової бази даних, блок керування відображенням довгострокової бази даних, блок формування завдання на послідовне відображення груп зв'язаних параметрів технологічного процесу і технічного стану механізмів, блок введення масштабних коефіцієнтів по осі абсцис та блок введення масштабних коефіцієнтів по осі ординат,

при цьому первинні перетворювачі параметрів технологічного процесу з'єднані з входом блока первинної обробки сигналів параметрів технологічного процесу, вихід якого з'єднаний з третім входом блока формування оперативної бази даних, вхід блока формування довгострокової бази даних з'єднаний з другим виходом блока формування оперативної бази даних, вихід блока формування довгострокової бази даних з'єднаний з першим входом блока керування відображенням довгострокової бази даних, вихід якого з'єднаний з другим входом блока індикації і реєстрації. *Патенти України № 76510. Шеремет В. О., Козенко Г. В., Брехунов О. В. та ін. Криворіж. держ. гірничо-металург. к-т «Криворіжсталь» (№ 8)*.*

Блок акустичний для ультразвукового контролю, що містить корпус для закріплення в ньому п'єзоелектричного перетворювача (ПЕП) і обойму з башмаком, які охоплюють корпус ПЕП та утворюють під ним порожнину для подачі контактної рідини, а обойма має дві співвісні цапфи, розташовані осторонь і симетрично відносно центральної осі обойми для шарнірного закріплення на вилці пристрою, що рухає блок під час контролю, який відрізняється тим, що між вилкою пристрою, який рухає блок під час контролю, та співвісними цапфами розміщена прямокутна рамка з двома опозитними пазами в протилежних стінках рамки, а в пазах розміщені дві пари повзунів, в яких містяться дві пари цапф з можливістю закріплення на них двох обойм із корпусами ПЕП та з П-подібним і Т-подібним башмаками, а також тим, що цапфи виконані у вигляді фігурних болтів з гладкою циліндричною частиною на кінці (цапфою) таким чином, що їх різьбова частина знаходиться в повзуні і фіксує його положення відносно рамки, а сама цапфа знаходиться в отворі обойми з можливістю для останньої повороту навколо осі цапфи. *Патенти України № 17671. Найда В. Л., Загорулько В. С., Мозжухін А. О. та ін. (№ 10)*.*

Блок перетворювачів для ультразвукового контролю труб, що містить видовжений корпус з відкритою нижньою частиною, декілька ультразвукових перетворювачів, встановлених на верхній частині корпусу, дві напрямні, закріплені на бокових сторонах корпусу, еластичну водонепроникну мембрану, яка герметично приєднана до нижньої частини корпусу за допомогою рамки і створює з корпусом та перетворювачами резервуар, наповнений водою, який відрізняється тим, що корпус виконаний суцільним, а рамка оснащена напрямними стрижнями для взаємного цен-

* Оpubліковано в Бюлетні України «Промислова власність» за 2006 р.

** Оpubліковано в Бюллетенях РФ за 2006 г.



трування рамки, мембрани і корпусу, з яким вона скріплена за допомогою гвинтів, головки яких розміщені на верхній частині корпусу і мають герметичне ущільнення з ним. *Патенти України № 17742. Заворітько І. Є., Малий М. А., Желтов П. М. та ін. ВАТ «УНДІ технології машинобудування» (№ 10)*.*

Способ бесконтактного неразрушающего контроля толщины, теплофизических свойств и пористости металлического каркаса двухслойных ленточных материалов, отличающийся тем, что используют образец, выполненный в виде цилиндрического барабана и установленный с возможностью вращения относительно его оси, причем окружная скорость вращения поверхности образца равна скорости движения исследуемого материала, образец нагревают вторым точечным источником тепловой энергии, измерения избыточной температуры поверхности образца производят третьим и четвертым термоприемниками соответственно по линии движения второго источника тепловой энергии и по линии, перпендикулярной линии движения второго точечного источника тепловой энергии по тому же алгоритму, что и для исследуемого материала, а теплофизические свойства, толщину слоев и пористость металлического каркаса ленточного материала определяют с учетом мощности источников энергии, температур на линии движения источников энергии, измеренных расстояний отставания точек контроля температуры первым и третьим термоприемниками и измеренных расстояний между точками контроля температуры вторым и четвертым термоприемниками. *Заявка РФ на изобретение 2005117108/28. Плужников Ю. В., Колмаков А. В., Пудовкин А. П. и др. ОАО «Завод подшипников скольжения» (№ 29)**.*

Способ калибровки преобразователей акустической эмиссии и устройство для его реализации, отличающийся тем, что тестовый акустический сигнал периодически калибруется оптическими интерферрометрическими средствами путем измерения временной зависимости абсолютного линейного смещения, а сигнал от калибруемого акустического преобразователя акустической эмиссии сравнивается с эталонным сигналом, зарегистрированным от стандартного преобразователя акустической эмиссии в измерениях, проведенных ранее, а также тем, что дополнительно содержит оптический интерференционный измеритель линейных перемещений, имеющий оптическую связь с монолитным передающим блоком, и управляемый генератор, управляющий вход которого соединен с компьютером, а выход с входом излучателя акустических волн, а излучатель акустических волн выполнен в виде линейного электроакустического преобразователя. *Заявка РФ на*

*изобретение 2005110876/28. Владимиров Б. Г., Желкобаев Ж. и др. НИИЦПВ (№ 29)**.*

Способ магнитного контроля и устройство для его осуществления, отличающийся тем, что облучение исследуют переменным электромагнитным полем, генерируемым рамками с током, расположенными над и под вращающейся столешницей, а также тем, что средством облучения исследуемого объекта служат рамки с переменным током, расположенными над и под вращающейся столешницей. *Заявка РФ на изобретение 200110778/28. Булатов Ю. П. Кузеванов В. Ф. и др. (№ 29)**.*

Способ ультразвукового контроля колес рельсового транспорта и устройство для его реализации, отличающийся тем, что до начала ультразвуковых испытаний измеряют толщины обода колеса, с учетом толщины обода устанавливают в требуемое исходное положение акустический блок с пьезоэлектрическими преобразователями, проверяемую колесную пару размещают на опорах таким образом, чтобы колеса погрузились в жидкую среду иммерсионной ванны не менее чем на толщину обода, затем осуществляют вращение колесной пары, прозвучивают обод и приободную часть диска колеса во всех опасных областях и регистрируют превышение сигнала в зонах контроля выше порогового значения, недопустимого для дефекта; в иммерсионных ваннах расположены акустические блоки, связанные с механизмами перемещения в вертикальном и горизонтальном направлениях, а пьезоэлектрические преобразователи ориентированы под углом от 0 до 25° к нормали в точке ввода ультразвука в поверхность контролируемого колеса. *Заявка РФ на изобретение 2005109967/28. Дубина А. В., Дубина Ю. А. (№ 29)**.*

Способ определения остаточного ресурса металлоконструкции, заключающийся в выявлении зон с максимальным значением коэрцитивной силы и сравнении измеренной коэрцитивной силы с исходным значением, отличающийся тем, что по полученным статистическим данным о количестве включений (нагружений) обследуемого элемента металлоконструкции (лифта) за определенный период времени (период выборки данных) и рассчитанному количеству включений (нагружений) за период эксплуатации между измерениями устанавливается зависимость изменения коэрцитивной силы от количества нагружений и по критическому значению коэрцитивной силы для марки металла (стали), из которого изготовлена конструкция, рассчитывается остаточный ресурс металлоконструкции. *Заявка РФ на изобретение 2005116347/28. Кодык А. Д., Котельников В. С. ЗАО «Инженерный путь КПЛ» (№ 32)**.*



ПОЗДРАВЛЯЕМ ЮБИЛЯРА!

В августе исполнилось 60 лет **Юрию Куприяновичу Бондаренко**, кандидату технических наук, лауреату Государственной премии Украины, старшему научному сотруднику, руководителю отдела Института электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины.

После окончания Киевского политехнического института Ю. К. Бондаренко работал в ИЭС им. Е. О. Патона. Занимаясь исследованиями в области методов контроля и обеспечения качества в сварочном производстве, он без отрыва от основной работы закончил аспирантуру при Ленинградском институте инженеров железнодорожного транспорта (г. Ленинград). Защитив в 1986 г. кандидатскую диссертацию по специальности «Методы контроля в машиностроении», Бондаренко Ю. К. работал младшим научным сотрудником, руководителем группы, заведующим лабораторией, старшим научным сотрудником. С 1996 г. Ю. К. Бондаренко руководит отделом «Проблемы обеспечения качества, аттестации, сертификации и технической экспертизы в сварочном производстве».

Ю. К. Бондаренко в течение ряда лет принимал активное участие в разработке и внедрении систем контроля, обеспечения качества и сертификации на ряде предприятий, таких как: Мостострой-1 (г. Киев), Дрогобычский долотный завод, Харцызский трубный завод, Выксунский металлургический завод, Бакинский машиностроительный завод, ГПЗ-3 (г. Саратов), ПО «Ориана» (г. Калуш), Кунгурский машиностроительный завод, Инженерный центр «Титан» (г. Киев), НПФ «Зонд» (г. Ивано-Франковск), Крюковский вагонный завод, ЧАЭС и др.

Юрий Куприянович принимает активное участие в аккредитации ряда испытательных лабораторий ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ, органов по сертификации продукции, систем управления качеством и персонала, является аудитором по системе управления качеством TUV Ak. (Rheinland) и аудитором по продукции и услугам в системе УкрСЕПРО, техническим экспертом Госкомпромбезопасности и горнадзора Украины. Ю. К. Бондаренко — один из участников разработки и гармонизации стандартов и других НД в области контроля, сварной продукции, технологий и обеспечения качества в сварочном производстве (ГОСТ 14782, ДСТУ 4001, ДСТУ 4002, ДСТУ 3951 (ISO 9956), СТТУ УТ НКТД 01-2000, ДНАОП 0.00-1.27-97, ДСТУ ISO 14731-2004, ДСТУ ISO 17637-2003 и др.).

Результаты научной деятельности Ю. К. Бондаренко отражены в 120 статьях, 23 авторских свидетельствах и патентах.

Юрий Куприянович — председатель подкомитета ТКА Национального агентства по аккредитации Украины, член редколлегии журналов «Техническая диагностика и неразрушающий контроль» и «Сварщик».

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



НОВИНКА: СИСТЕМА АЭ ДИАГНОСТИКИ И МОНИТОРИНГА ЕМА-3.5

Оценка состояния материала конструкций и обеспечение их безопасности в процессе эксплуатации и испытаний.

100%-й контроль материала конструкций и прогнозирование остаточного ресурса крупногабаритных изделий без их разборки и предварительной подготовки. Реализация новых технологий.

Опыт эксплуатации системы, мировой опыт развития компьютерных технологий и постоянное сотрудничество с заказчиками привели к кардинальному совершенствованию системы ЕМА-3. Сегодня система ЕМА-3 приобрела десятки новых возможностей, в связи с чем ей присвоен индекс 3.5, что характеризует ее как принципиально новый продукт.

Диагностическая система ЕМА-3.5 предназначена для оценки состояния и определения разрушающих нагрузок сосудов высокого давления, хранилищ различного назначения, компрессорных станций, магистральных и технологических трубопроводов, агрегатов котлов, котельных установок, подвижных деталей, роторов турбин, элементов мостов и других конструкций и агрегатов в процессе испытаний и эксплуатации.

Аппаратное обеспечение выполняет автоматизированные измерения, сбор, обработку и хранение диагностической информации.

Программное обеспечение формирует и выдает информацию о состоянии конструкций, предупреждает о возможной опасности и прогнозирует сохранение их работоспособности.

Диагностическая система ЕМА-3.5 используется также для решения задач акустоэмиссионного (АЭ) — контроля образования и развития трещин, возникающих при технологическом процессе сварки, для непрерывного мониторинга изделий в течение всего процесса эксплуатации, принятия решения о состоянии контролируемых изделий. Базовый вариант системы **ЕМА-3.5** поставляется с 16 акустическими датчиками и 16 дополнительными низкочастотными каналами для измерения сопровождающих испытания параметров. Число датчиков по желанию заказчика может быть увеличено.



Программное обеспечение ЕМА-3.5

- предназначено для управления диагностической аппаратурой в процессе испытаний и для обработки результатов испытаний
- построено на основе компонентной технологии и позволяет легко наращивать возможности
- в процессе испытаний определяет координаты развивающихся дефектов, прогнозирует разрушающую нагрузку на ранних этапах нагружения и оценивает остаточный ресурс контролируемого изделия
- позволяет после испытаний моделировать их повторно и проводить углубленный анализ, изменяя настроечные параметры и алгоритмы обработки
- имеет в составе программы-помощники, автоматизирующие трудоемкие операции

Новая версия программного обеспечения ЕМА-3.5

- адаптирована для взаимодействия с компьютерами различной производительности и конфигурации
- успешно работает под управлением Microsoft Windows Vista, используя преимущества новой операционной системы



- широко использует технологии Интернет HTML и XML, что обеспечивает унифицированный и легкий доступ к информации в компьютерных сетях
- интегрирована с последними версиями пакета Microsoft Office, используя его возможности по обработке и оформлению документов
- имеет дополнительные возможности оперативного анализа, фильтрации, сортировки информации, подготовки ее для углубленной обработки при помощи пользовательских средств
- оснащена новыми типами графического представления данных, позволяет изучать результаты измерения на множественных графиках в реальном времени
- обеспечивает режим бесперебойного непрерывного мониторинга ответственных конструкций
- может обмениваться унифицированными данными с разнообразными компьютерными системами и базами данных
- может работать с разными типами измерительного АЭ оборудования
- использует новые методики локации источников АЭ, отображения локационных антенн и объектов контроля на экране
- обеспечивает программное отделение АЭ, вызванной технологическими процессами, от АЭ, возникающей при развитии дефектов в материале
- снабжена динамической и открытой для обновления справочной системой.

Результаты испытаний могут быть представлены в виде разнообразных таблиц, графиков, экспортированы в другие программы или опубликованы в Интернет. По результатам испытаний программа автоматически создает готовый к печати отчет.

Основные преимущества ЕМА-3.5 перед конкурирующими решениями:

- аппаратное обеспечение имеет максимально высокую скорость установки на объектах контроля и приведения в рабочий режим
- интеллектуальные возможности автоматизированной оценки и прогноза состояния конструкций в реальном времени, без привлечения специалистов
- простота доступа к информации, ее разнообразное представление и анализ
- простота использования, настройки, внедрения и масштабирования
- интеграция в существующие компьютерные сети предприятий
- минимальные затраты средств и времени на переход от периодического контроля к непрерывному мониторингу
- средства обеспечения надежной и бесперебойной работы
- дистанционное управление, поддержка и обучение с использованием сети Интернет.

Аппаратное и программное обеспечение проходят метрологическую проверку на базе ЦСМ Госпотребстандарта Украины. Государственные стандарты Украины и Нормативные документы, согласованные с Госгортехнадзором Украины, обеспечивают применение системы на различных промышленных конструкциях. Осуществляется обучение и сертификация специалистов по применению приобретенной системы. Существует сервисная служба.

ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины, Киев
Предприятие «Индпром»
Тел. 289-06-60
e-mail: ned@paton.kiev.ua



Фирма "Специальные Научные Разработки"

НК-специалисты! Повышайте достоверность и снижайте себестоимость диагностики металлов!

Это самый верный путь к вашей успешности. Наши приборы и методики – надежное подспорье на этом пути!

См. также иллюстрацию на 3 стр. обложки.

Сравнительные таблицы эффективности толщинометрии металла электромагнитоакустическим бесконтактным толщиномером УТ-04 ЭМА (Дельта) и традиционными контактными ультразвуковыми толщиномерами.*

** Таблица сокращена. Полный текст – на сайте www.snr-ndt.com.ua*

Обязательные технологические операции при толщинометрии		Толщиномер с конт. пьезопреобразователем
№	Наименование и содержание операции	ЭМА-толщиномер УТ-04 ЭМА (Дельта)
A.1.	Зачистка жвачины, окалины	- не нужна, если это не "пласты" толщ. более неск. мм + обязательно всегда
A.2.	Зачистка шероховатости	- не нужна, если "размер" шероховатости менее 2-3 мм + обязательно всегда
A.3.	Зачистка слоя краски и др. покрытия	- не нужна при толщине защитного слоя до 2-3 мм + обязательно всегда
A.4.	Восстановл. краски и др. покрытия	- только при толщинах покрытия более 2-3-мм + обязательно всегда
A.5.	Нанесение/смыв контакт. жидкости	- не надо никогда + обязательно всегда

Затраты времени на основные и подготовительные операции при толщинометрии		Толщиномер с конт. пьезопреобразователем
№	Затраты времени на...	ЭМА-толщиномер УТ-04 ЭМА (Дельта)
B.1.	На зачистку шероховат. поверхности	- редко, при гдубом рельефе поверхности + всегда необходимо
B.2.	На зачистку/восстановл. защитн. слоя	- не требуется при толщине слоя до 2-3мм + всегда необходимо
B.3.	На нанесение/смыв контакт. жидкости	- никогда не требуется в ЭМА-методе + всегда необходимо
B.4.	На обезжиривание поверхности	- никогда не требуется в ЭМА-методе + всегда необходимо
B.5.	На ориентацию преобразователя	- никогда не требуется в ЭМА-методе + обязательно, от десятков сек. до минут
B.6.	Время единичного замера толщины	• о д и н а к о в о время измерения толщины без учета подготовительных операций
B.7.	Суммарн. время единичн. замера толщ.	- меньше в 10÷100 раз, чем у пьезопреобр. + больше в 10÷100 раз, чем у ЭМА-толщ.-мера.
B.8.	На дефектоскопию после толщинометр.	- в неск. раз меньше после ЭМА-контроля + время и объемы дефектоск. не уменьшаются
B.9.	На ремонт преобразователя	- только при случайном отказе ЭМА- + обязательен систематич. ремонт и замена

Финансовые показатели при толщинометрии		
C.1.	Заработная плата за одно измерение	- в 5 раз дешевле, чем в конт. толщинометрии
C.2.	Суммарная эффективность толщинометрии УТ-04-ЭМА (Дельта) в 2÷3 раза лучше любого контактного УЗ-толщиномера	- в 5 раз дороже, чем в ЭМА-толщинометрии

Продолжение таблицы см. на след. стр.



Сравнение факторов, влияющих на производительность, себестоимость, достоверность			
№	Наименование и содержание операции	ЭМА-толщиномер УТ-04 ЭМА (Дельта)	Толщиномер с конт. пьезопреобразователем
D.1.	Работа при отнн. температурах	- конт. жидк. не нужна никогда. иных трудн. нет	+ нужна спец. контактная жидкость всегда
D.2.	Работа по металлу до +700°C	- конт. жидк. не нужна, иногда желат. охлаждение	+ спец. конт. жидк. и охлажд. всегда необх.
D.3.	Выявление расслоения металла	- хорошо выявляется, но не любое	+ не выявляется
D.4.	Изм. толщ. обложки, наполн. жидк.	- без затруднений и ограничений	+ затруднена или невозможна без спец. мер
D.4.1	Толщинометрия стенок с накипью	- хорошо измер., причём только толщина металла	+ толщинометрия металла затруднена
D.5.	Разрешающая способность	- вдвое лучше, чем у контактных толщиномеров	+ вдвое хуже, чем у ЭМА-толщиномеров
D.6.	Измер. толщ. через зазор в неск. мм	- всегда возможно и даже предпочтительно	+ работать через зазор не возможно
D.7.	Истираемость преобразователя	- ЭМА-датчик никогда не истирается, износа нет	+ пьезопреобр-ль истирается за неск. недель
D.8.1	Чистое время замера толщины	• о д и н а к о в о е время замера толщины без учета подготовительных операций	
D.8.2.	Время замера с подготовит. операц.	- меньше в 10÷100 раз	+ с подготовкой поверхности время больше в 10÷100 раз
D.9.	Спец. сист. ориентации преобр-ля	- такая система не нужна	+ ориентация преобр. перпендик. поверхн. обязательна
D.9.1.	Системы подачи конт. жидкости	- такая система не нужна	+ всегда обязательна у контакт. стац. толщиномеров
D.10	Затраты врем. на ориентац. преобр.	- не требуется никогда	+ всегда необходимо у контакт. стац. толщиномеров
D.11.	Скорость контроля толщ. в потоке	• о д и н а к о в а я скорость контроля толщины в движении	
D.12	Импульсная эхограмма на дисплее	- всегда для ЭМА-толщ. Дельта	+ очень редкая услуга в толщиномере с пьезодатчиком
D.13.	Все эхограммы в памяти прибора	- всегда для ЭМА-толщ. Дельта	+ очень редкая услуга в толщиномере с пьезодатчиком
D.14	Прибор в сети e-mail и др. сетях	- по заказу всегда для Дельта	+ неизвестны подобные приборы
D.15.	Толщиномер как дефектоскоп	- на 60÷80% Дельта – дефектоскоп	+ на 0÷10% контактный толщиномер м.б. дефектоскопом
D.16	Измер. на кривол. и плоск. поверхн.	- выполн. одним универс. датчиком	+ исполыз. только набор преобр., для каждой кривизны

Затраты материалов и оборудования на технологические операции при толщинометрии			
№	Материалы и оборудование для...	ЭМА-толщиномер УТ-04 ЭМА (Дельта)	Толщиномер с конт. пьезопреобразователем
E.1.	Зачистка ржавчины, окалины	- почти никогда не требуется в ЭМА-толщ.	+ всегда необходимо
E.2.	Восстановл. защитных покрытий	- только для покрытий толщ. более 2-3мм	+ всегда необходимо
E.3.	Нанесение/смыв контакт. жидкости	- никогда не надо в ЭМА-методе	+ всегда необходимо
E.4.	На собственнo контакт. жидкость	- никогда не надо применять контакт. жидкость	+ всегда необходимо
E.5.	Затраты на последующ. дефектоск.	- снижаются в несколько раз	+ если уменьшаются, то незначительно
E.6.	Датчики для замены из-за износа	- не нужны, т.к. у ЭМА-датчика нет износа	+обязат. замена через каждые несколько

ул.Светлая, 10, кв.16, г.Харьков, Украина, 61121; тел/факс: 38 (057) 738-32-06, тел.: 38 (057) 771-65-91, e-mail: bezlyudko@yahoo.com;
 тел. в Москве: 7 (495) 339-07-32, тел. 7 (495) 798-42-73, e-mail: krutikova@rk.ru



**VI МЕЖДУНАРОДНЫЙ
ПРОМЫШЛЕННЫЙ ФОРУМ – 2007**
МЕЖДУНАРОДНЫЕ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ ВЫСТАВКИ И КОНФЕРЕНЦИИ

Генеральные информационные партнеры:


Технический партнер:






ОРГАНИЗАТОРЫ:
 Министерство промышленной политики Украины
 ООО "Международный выставочный центр"
 Украинская Национальная Компания
 "Укрстанкоинструмент"

**27-30
НОЯБРЯ 2007 г.**

 +380 44 201-11-65, 201-11-56, 201-11-58
 e-mail: lilia@iec-expo.com.ua
www.tech-expo.com.ua

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ
ВЫСТАВОЧНЫЙ ЦЕНТР**
 Украина, Киев, Броварской пр-т, 15
 "Левобережная"



**НАУКОВО-ВИРОБНИЧА ФІРМА
«ПРОМСЕРВІСДІАГНОСТИКА»**

Тел./факс: (38044) 200-88-13 ❖ Тел.: (38044) 200-84-74 ❖ E-mail: promsdiag@ukr.net



Наша фірма на протязі багатьох років (Дозволи на продовження робіт №1447.04.30-74.30.0; 1894.04.30-74.30.0; 1930.04.30-74.30.0; 1146.05.30-74.30.0 Держнаглядохоронпраці України та Ліцензія Держбуду України №105368 від 7 червня 2005 р.) проводить роботи з неруйнівного та руйнівного контролю, технічного діагностування та чергового і позачергового технічного огляду:

➤ посудин, що працюють під тиском, в тому числі цистерн;	➤ АГНКС;
➤ резервуарів для зберігання нафти та нафтопродуктів;	➤ технологічного обладнання та трубопроводів хімічних, нафтохімічних та нафтогазопереробних виробництв;
➤ вантажопідіймальних механізмів;	➤ магістральних газо- та нафтопроводів;
➤ парових і водогрійних котлів;	➤ криогенного обладнання;
➤ трубопроводів пари та гарячої води;	➤ несучих та огорожуючих металоконструкцій.
➤ систем газопостачання;	

При виникненні у Вас пропозицій щодо неруйнівного та руйнівного контролю, технічного діагностування, технічного огляду (опосвідчення) вищезазначених об'єктів – ми готові до співпраці.



КВАРЦ

Лицензия Министерства охраны окружающей среды Украины № 000097 серия ЯРБ – 20



ООО Кварц выполняет ремонт:

- 1) Рентгеновских аппаратов РАП-150/300, РУП-150/300, РУП-200-5-2, РУП-120, МХР и др.
- 2) Импульсных аппаратов «Арина», «Мира», «Нора» – всех моделей
- 3) Установка и модернизация систем промышленного рентгенотелевидения

Поставка:

- 1) рентгеновских аппаратов всех моделей
- 2) рентгеновских трубок всех типов к промышленным рентгеновским аппаратам и спектрометрам
- 3) высоковольтных кабелей к рентгеновским аппаратам РАП-150/300, РУП-150/300



г. Харьков, 61115 а/я 3184
т. (057) 751-33-48, 759-89-55
ф. (057) 393-05-65

www.kvartz.com.ua,
info@kvartz.com.ua,



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



ПОДПИСКА – 2007 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
	60 грн.	120 грн.	600 руб.	1200 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.
 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.

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

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 скидков.
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 31.07.2007. Формат 60×84/8. Офсетная печать. Усл. печ. л. 8,0. Усл. кр.-отт. 8,4. Уч.-изд. л. 9,0 + 12 цв. вклеек. Цена договорная.