

Секция 1.1. Магнитные методы

Руководители секции: Бакунов А.С., Горкунов Э.С., Добманн Г.



А.С. Бакунов



Г. Добманн



Н. Рисс
(Германия)

На секции было представлено 38 докладов, из них 29 секционных и 9 стендовых.

Развитию магнитного метода были посвящены доклады Г. Добмана (Германия) и В.Л. Венгриновича (Беларусь).

В обзорном докладе (1.1.11) *"Stationary and Mobile Magnetic Particle Testing by the Example of Pipes and Railway Wheels Inspection"* компании "Хелинг" (Германия) авторы N. Riess, A. Ivankov, T. Singayevskaya были показаны последние достижения в области создания средств для ручного и автоматизированного магнитопорошкового контроля различных объектов с использованием фототехники для документирования результатов.

Новые подходы к автоматическому распознаванию дефектов и их документированию с помощью видеотехники были представлены в докладе А.С. Бакунова и др.

Неразрушающему контролю изделий и определению остаточного ресурса на основе коэрцитиметрии были посвящены доклады Г.А. Безлюдько и др. (Украина). Контролю стальных тросов по магнитному потоку были посвящены доклады Д.А. Слесярева и др. *"Statistical Diagnostic Model for Defect Parameters*

Reconstruction in MFL Non-Destructive Testing" из России и из Италии доклад A. Canova, F. Ficili, D. Rossi,

F. Sciacca, Vusini B. *"Innovative Magneto-Inductive Systems for Metallic Ropes"*.

Контролю металлоконструкций на основе метода магнитной памяти металлов был посвящен доклад С. Колокольникова, А. Дубова *"Totals of the metal magnetic memory method introduction in Russia, Poland and other countries"*.

Особый интерес представили сообщения Э.С. Горкунова (Россия) *"Evaluation of Mechanical Stresses in*



Э.С. Горкунов

Structural Steels by Distribution of Critical Magnetic Fields u Magnetic Testing of Stresses and Strains in Areas of Structural Heterogeneities in Steel Articles", посвященные теоретическим и экспериментальным исследованиям взаимосвязи между магнитными и механическими характеристиками металлов и сплавов. Эти исследования, основанные на анализе маг-

нитных свойств материалов, дают возможность не только проектировать оборудование для неразрушающего контроля, но и доказывают неоднозначность результатов, получаемых на основе использования метода магнитной памяти металлов.

Нетрадиционный магнитодинамический метод толщинометрии был представлен учеными из Беларуси под руководством А.А. Лухвича *"Magneto-Dynamic Method of Separate Control of a Thickness of Double-Side Ceramic-Metal Coatings u The Magneto-Dynamic Method and Gauges for Two-Layer Coatings Testing"*.

Итоги: номенклатура и объем продаж приборов магнитного неразрушающего контроля расширяются с учетом многообразия продукции, повышается производительность операций МПК с учетом средств визуализации и высокоскоростной цифровой обработки изображений магнитного поля, продолжается совершенствование матричных преобразователей и роботизация систем сканирования.

Секция 1.2. Электромагнитные методы

Руководители секции: Федосенко Ю.К., Щербинин В.Е., Ефимов А.Г.



Ю.К. Федосенко

На секции учеными из 15 стран было представлено 29 докладов, из них 26 секционных и 3 стендовых.

В тематике докладов выделяются следующие направления:

- 1) разработка методов расчета электромагнитных полей в неоднородных средах (объект с дефектом) с целью формирования сигналов от дефектов различной формы и пространственной ориентации;
- 2) физические принципы многочастотного, импульсного зондирования металлических объектов и использования низкочастотных переменных электромагнитных полей для контроля объектов с большой толщиной стенки, в том числе и многослойных;
- 3) разработка методов определения вида дефекта с оценкой его размеров и пространственной ориентации на основании базы данных о форме сигналов от различных дефектов, полученных либо экспериментально, либо на основании расчетных данных;
- 4) исследование взаимосвязи между электромагнитными свойствами сталей, сплавов и их структурой, химическим составом, напряженно-деформированным состоянием;
- 5) разработка физических принципов формирования локальных источников переменного поля и создание на их основе многоэлементных матричных структур; разработка новых цифровых методов обработки сигналов вихретоковых преобразователей (ВТП) с целью оценки размеров дефектов;
- 6) контроль механических напряжений, деформаций и остаточного ресурса ферромагнитного металла в различных объектах;



В.В. Кожаринов (Латвия)

7) разработка методик производственного контроля объектов ответственного назначения: трубок парогенераторов тепловых и атомных электростанций, оборудования аэрокосмического комплекса и железнодорожного транспорта, продукции черной и цветной металлургии и т.д.

Следует выделить методики, основанные на упрощенных (аналитических и полуаналитических) решениях двумерных и трехмерных задач (так называемые 2D и 3D решения). С помощью аппарата функций Грина задачи сводятся к системе интегральных уравнений, решаемых методом конечных элементов. Эти решения позволяют оперативно производить анализ системы: вихретоковый преобразователь — проводящий объект контроля с учетом геометрических и физических (проводимость, магнитная проницаемость) параметров этой системы.

Методика заключается в численном моделировании системы: изменяются последовательно основные исходные параметры, например размер преобразователя, величина воздушного зазора, частота и величина тока возбуждения, удельная электрическая проводимость материала, размеры и расположение дефекта (если рассматриваются задачи дефектоскопии), затем анализируются амплитудно-фазовые соотношения выходных сигналов (напряжения, комплексного сопротивления преобразователя). Такие теоретические решения позволяют резко снизить объем трудоемких экспериментальных исследований, получая при этом основные требуемые для проектирования приборов функциональные зависимости доклад 1.1.2. A. Trillon, N. Paul, A. Girard, F. Sirois, Y. Goussard, J. Idier "Regularized Eddy Current Tomographic Reconstruction Based on Finite Element Forward Model" (France, Canada).

Рассмотрены принципы многочастотного, импульсного зондирования металлических объектов и использования низкочастотных переменных электромагнитных полей для контроля объектов с большой толщиной стенки.

Основное назначение многочастотного и импульсного зондирования — расширение функциональных возможностей вихретокового контроля путем решения многопараметровых задач (за счет увеличения числа уравнений связи между измеряемыми сигналами ВТП и параметрами контролируемого объекта). Контроль внутренних слоев ферромагнитных объектов (до 25...30 мм) с помощью низкочастотного переменного электромагнитного поля ($f = 20...200$ Гц) обеспечива-

ется источником порядка 7...10 В·А, что почти в 20 раз меньше, чем при использовании постоянных полей (доклады: 1.2.10. **A.G. Efimov, A.E. Shubochkin** "Expansion of Possibilities of Eddy-Current Detection Due to Application of Multi-Frequency Testing Method" (Russia). 1.2.22. **Yu.K. Fedosenko, V.M. Makhov** "Study of Method for Testing Internal Layers of Ferromagnetic Objects and Development of an Instrument to Implement this Method Using Low-Frequency Electromagnetic Field" (Russia)).

Вопросы определения вида дефекта с оценкой его размеров и пространственной ориентации рассмотрены в докладах третьего направления. При этом применяются методики решения обратных задач, когда по величине и форме сигналов вихретоковых преобразователей (ВТП) определяется вид, размеры дефекта и его пространственное положение. База данных о величине и форме сигналов ВТП формируется на основе расчетных либо экспериментальных данных. Требуемые данные могут быть получены за счет набора частот возбуждения ВТП.

При этом ряд цифровых методов обработки сигналов ВТП направлен на решение задач дефектоскопии в реальном масштабе времени. При большой скорости обработки современными компьютерными системами удается сравнивать измеренные сигналы дефектоскопа с несколькими кривыми формы сигнала от моделей дефектов из ранее полученной базы данных. Такая методика позволяет вести оценку размера дефекта в автоматическом режиме.

На основе экспериментальных и расчетных данных в четырехмерном пространстве формируются банки электронных "образов" дефектов для различных объектов ответственного назначения (например, подземных нефтепроводов и парогенераторов атомных и тепловых электростанций, оборудования авиационной техники), разрабатываются методы фильтрации и выделения диагностических признаков дефектов и после проведения электромагнитного контроля по его результатам определяется класс дефекта и его размеры путем отыскания его наиболее близкого "образа" из сформированного банка данных. Такие технологии предполагают проведение контроля и анализ его результатов путем обмена данными по интернету между предприятиями, городами и даже странами.

При контроле трубок парогенераторов заданной толщины с помощью четырех частот возбуждения удается отстроиться от "ложных" сигналов трубных досок, разделить дефекты по месту расположения на наружной или внутренней поверхности; определить форму дефекта — длинный дефект или короткий (доклад 1.2.16. **S. Paillard, A. Skarlatos, G. Pichenot, G. Cattiaux, T. Sollier** "Simulation of Eddy Current Testing of Steam Generator Tubes in the Proximity of Support Plates

Quatrefoil-Shaped Holes with an Hybrid Finite FE-VIM Model" (France)).

В докладах четвертого направления исследуется влияние различных характеристик материалов (структуры, химического состава, механических напряжений, различных деформаций) на электромагнитные свойства ферромагнитных сталей и сплавов. Так, например, вопросы оценки науглероживания сталей методом вихревых токов рассмотрены в докладе иранских специалистов (доклад 1.2.17. **T.M. Kashefi, A.M. Sheikh** "Using Nondestructive Eddy Current Technique as a Tool for Quality Control of Carburized Steels" (Iran)).

Много внимания уделяется контролю сварных соединений, выявлению коррозионных повреждений различной формы и ориентации. Так, например, в докладе специалистов из Италии исследовались условия образования коррозионных дефектов и способы их обнаружения с помощью вихретокового метода (доклад **M. Sangirardi, M. Carboni** "Application of Eddy Currents to the Estimation of Stress Corrosion Damage" (Italy)).

Для выявления мелких дефектов в сварных швах, полученных трением (Friction stir welding), используется специальный ВТП, в котором создаются вихревые токи двух направлений — продольные и круговые, что позволяет выявлять разнонаправленные дефекты: поперечные и продольные (доклад 1.2.8. **T.G. Santos, P. Vilaca, L. Rosado, M. Piedade, P.M. Ramos** "Developments on NDT of Friction Stir Welding Using Eddy Currents" (Portugal)).

Вопросам разработки физических принципов формирования локальных источников переменного электромагнитного поля посвящены доклады пятого направления. В последние годы проводятся широкие исследования по созданию многоэлементных (строчных или матричных) преобразователей, что позволяет уве-



П. Виласа (Португалия), Г. Ауфрихт (Австрия)

личивать площадь контроля при сохранении чувствительности метода. Применяются при этом как набор однотипных преобразователей, например ВТП малых размеров, так и комбинация ВТП и магнитных преобразователей: электромагнитное поле создается ВТП, а магнитная его составляющая измеряется датчиками Холла или магниторезисторами. Создание матричного преобразователя с помощью магниторезисторов существенно упрощается (доклад 1.2.14. **B. Marchand, J. Decitre, C. Zorni, O. Casula** "Flexible and Array Eddy Current Probes for the Inspection Complex Parts" (France)).

Российскими учеными предложен и реализован источник переменного поля с четырьмя секторными зонами, смещенными относительно друг друга на 90° по угловой координате. Источник создается за счет медного экрана с четырьмя секторными вырезами. Экран помещается между круговой обмоткой возбуждения и четырьмя дифференциально включенными парами таких же круговых измерительных обмоток, размещенных в зонах расположения секторных вырезов экрана (доклад 1.2.3. **Yu.K. Fedosenko** "Modern Methods of Improvement of Efficiency and Trustworthiness of Flaw-Detection Eddy-Current Automated Online Testing of High Volume Metal Products" (Russia)). Вопросы проектирования матричных ВТП для ряда применений рассмотрены в докладе российских ученых (доклад 1.2.20. **A.I. Merkulov, A.U. Lavrov, B.A. Merkulov, I.R. Haliullina** "The Inductance of Matrix Eddy-Current Transducers Calculation of Moving" (Russia)).

Тематика шестого направления, связанного с контролем механических напряжений, деформаций и остаточного ресурса различных металлических объектов и, в первую очередь, объектов из ферромагнитных материалов относится к числу очень важных и перспективных.

В работе ученых из Беларуси предложен метод оценки двунаправленных продольных напряжений в сталях на основе решения обратных задач. В качестве измерительного преобразователя используется преобразователь на основе шумов Баркгаузена. Задача решается на основе вариационного уравнения. Строятся кривые распределения продольных напряжений на основе измеренных значений шумов Баркгаузена (доклад 1.2.13. **V.L. Vengronovich, D.V. Dmitrovich** "Quantitative Evaluation Bi-Axial Stress in Steels: Inverse Problem Solution" (Belarus)).

Вопросы разработки методик производственного контроля объектов ответственного назначения рассмотрены в докладах седьмого направления. Методики строятся путем использования ВТП специальных конструкций, применения многочастотного или импульсного возбуждения ВТП, специальных цифровых методов обработки сигналов, используемых для повышения эффективности и достоверности контроля.

Такие методики широко используются при контроле в черной и цветной металлургии, трубок парогенераторов тепловых и атомных электростанций, оборудования аэрокосмического комплекса, трубопроводного и железнодорожного транспорта. Кроме докладов этого направления, уже отмечавшихся выше (доклад 1.2.16. **S. Paillard, A. Skarlatos, G. Pichenot, G. Cattiaux, T. Sollier** "Simulation of Eddy Current Testing of Steam Generator Tubes in the Proximity of Support Plates Quatrefoil-Shaped Holes with an Hybrid Finite FE-VIM Model" (Франция) и доклад с использованием метода вихревых токов для контроля продукции черной металлургии (доклад Fedosenko Yu.K.), следует отметить доклад, связанный с применением метода вихревых токов на железнодорожном транспорте (1.2.19. **V. Uchanin, G. Lutcenko, A. Dshaganjan, A. Opanasenko** "The Application of Eddy Current Section in Automated System for Combined Railway Rolling Stock Axles Inspection" (Ukraine, Russia)).

Следует также отметить доклад, представленный учеными из Германии, в котором сообщается о разработке специального учебного стенда для обучения студентов методам вихретокового контроля. Стенд позволяет на экране монитора формировать кривые годографов вносимых напряжений ВТП с демонстрацией методов отстройки от мешающих факторов и выделением информативных сигналов (доклад 1.2.7. **G. Mook, J. Simonin** "Eddy Current Tools for Education and Innovation" (Germany)).

Общие выводы

1. Развитие вихретокового неразрушающего контроля идет по пути дальнейшего развития многопараметровых методов контроля. Эта тенденция отмечалась и ранее. Многопараметровые методы контроля развиваются в основном применительно к задачам дефектоскопии и реализованы в четырехчастотных дефектоскопах как ручного, так и автоматизированного контроля (чаще всего для контроля теплообменных трубок парогенераторов).

2. Второе направление в развитии ВТП — увеличение зоны контроля внутренних слоев металлических объектов. По такому параметру, как диапазон измеряемых толщин, вихретоковый метод достиг такого же результата, как и метод магнитный (контролируемые толщины до 30 мм по стали). Используются низкие частоты в диапазоне от нескольких единиц до нескольких десятков герц. Подобные дефектоскопы на переменном поле превосходят магнитные по энергетическим затратам и эксплуатационным параметрам (отсутствуют магнитные силы притяжения дефектоскопа к объекту контроля).

3. В современных технологиях вихретокового контроля характерен (особенно при частотах до 100 кГц)

переход от традиционных измерительных элементов в виде катушек индуктивностей к элементам, выполненным по наукоемким технологиям (датчики Холла и магниторезисторы). Такие преобразователи имеют малые габариты, высокие технические характеристики (широкий температурный диапазон, достаточно высокую чувствительность, широкий диапазон измеряемых магнитных параметров, возможность измерять характеристики переменных полей), что позволяет без особых трудностей создавать многоэлементные измерительные преобразователи (линейные и матричные).

4. В представленной на выставке аппаратуре реализованы в той или иной степени отмеченные выше тенденции развития вихретокового контроля: использование четырехчастотного возбуждающего поля с цифровой обработкой информативных четырехмерных сигналов и видеоизображением полей дефектов. Рядом фирм были представлены низкочастотные дефектоскопы для контроля резервуаров.

Для дальнейшего развития электромагнитных методов контроля перспективными являются следующие направления:

- Разработка трех-четырёхчастотных методов послойного контроля металлических объектов с толщиной 7...15 мм. Это важно при оценке глубины залегания дефектов, например, для разделения дефектов на поверхностные и внутренние. Наиболее важными и наименее проработанными в этих исследованиях являются вопросы обработки разночастотных составляющих многомерных сигналов.
- Дальнейшее развитие аналитических и экспериментальных методов формирования сигналов от дефектов различной формы и пространственной ориентации с целью расширения базы данных, отражающих образы реальных дефектов электропроводящих объектов.
- Разработка методов зондирования ферромагнитных объектов с использованием низкочастотных



Г.Я. Безлюдько, В.Е. Щербинин

электромагнитных полей при контроле объектов с грубой поверхностью и достаточно большой толщиной.

- Дальнейшая разработка многоэлементных (линейных и матричных) вихретоковых преобразователей с электронным сканированием и создание автоматизированных сканеров для контроля выпуклых и вогнутых поверхностей объектов. Эффективно применение магниточувствительных элементов типа датчиков Холла и магниторезисторов, особенно для переменных полей сравнительно невысоких частот (до 100 кГц). Эти сенсоры выполняются на основе высокоэффективных наукоемких технологий, обеспечивающих им высокие технические и эксплуатационные характеристики.

- Важнейшим является направление по созданию методов оценки остаточного ресурса изделий на основе измерения различных параметров электромагнитного поля.

Секция 1.3. Ультразвуковые методы

Руководители секции: Самокрутов А.А., Шевалдыкин В.Г., Булавинов А.Н.

Секция 1.3 ЕКНК была самая представительная. В ней было 76 секционных и 15 стендовых докладов.

Всего на секции 1.3 с докладами выступили 62 автора из 21 страны мира: Алжира, Беларуси, Бельгии, Великобритании, Германии, Израиля, Индии, Ирана, Испании, Италии, Канады, Китая, Литвы, Нидерландов, Португалии, России, США, Украины, Франции, Чешской республики и Японии. Кроме того, несколько док-

ладов, посвященных ультразвуковым методам неразрушающего контроля, было сделано на других секциях конференции: "НК транспортных средств", "НК трубопроводов", "НК в энергетической промышленности", "НК в металлургии и химической промышленности", "НК гражданского строительства", "Определение характеристик материалов", "Преобразователи и сенсоры", "Моделирование и обработка сигналов, построение



изображений" и даже на секции "Компьютерная томография". Это показывает, что ультразвуковые методы занимают главенствующее место в неразрушающем контроле. Даже без учета методов акустической эмиссии, течеискания, тензометрии и экодиагностики.

Тематика докладов весьма примечательна: только примерно четверть всех выступлений была посвящена различным теоретическим и практическим аспектам традиционной ультразвуковой дефектоскопии и толщинометрии. В эту четверть также вошли сообщения о применении конкретной аппаратуры для контроля изделий. Половину же всех сообщений составили доклады о теории, разработке и применении методов и аппаратуры, основанных на использовании антенных решеток в качестве излучателей и приемников ультразвука. И еще почти четверть всех докладов была посвящена теории и технике ультразвукового контроля с использованием волноводного распространения ультразвука в протяженных объектах.

Новая техника ультразвуковых антенных решеток, дающая качественный скачок результативности ультразвукового контроля, наступает по всем направлениям и в некоторых областях промышленного применения ультразвукового контроля уже вытесняет традиционную аппаратуру.

Эта новая техника отличается от традиционной двумя чертами: способом обзора пространства внутри объекта контроля и способом отображения внутренней структуры материала этого объекта. Если ранее использовалось исключительно механическое сканирование объекта узконаправленным лучом ультразвука, то в новой аппаратуре обзор пространства может происходить тремя разными способами при слабо направленном излучении и приеме ультразвука:

– механическое сканирование поверхности объекта ультразвуковым преобразователем с широкой диаграммой направленности и с вводом в аппаратуру данных о координатах текущего положения преобразователя;

– электронное сканирование материала объекта физически сформированным пучком ультразвука фазированной антенной решеткой;

– виртуальное сканирование пространства, осуществляемое вычислительным путем с использованием набора сигналов, полученных при зондировании объекта контроля элементами ультразвуковой антенной решетки.

Возможны также разные сочетания этих способов обзора пространства.

Другой быстро развивающейся областью ультразвукового неразрушающего контроля является контроль на основе волноводного эффекта.

Второе отличие новой техники от традиционной — это предоставление оператору результатов контроля в виде изображений внутренней структуры материала контролируемого объекта. Чаще всего используют двумерные изображения сечений объекта контроля плоскостью (томограммы), но уже есть разработки приборов с трехмерным (объемным) представлением внутреннего строения объекта. Изображение, кроме удобства восприятия оператором результата контроля, вполне адекватного реальному расположению границ и несплошностей материала, во многих случаях позволяют измерять реальные, а не эквивалентные размеры несплошностей.

При механическом сканировании излучение и прием сигналов выполняются периодически при разных положениях преобразователя на поверхности объекта контроля. Вследствие широкой диаграммы направленности преобразователя облучение интересующей оператора области в объекте контроля и прием сигналов из нее происходят под разными ракурсами. В процессе



А.А. Самокрутов, А.Н. Булавинов, А.К. Гурвич

совместной пространственно-временной обработки всех сигналов, принятых преобразователем из всех его положений на поверхности объекта, происходит синтез ультразвуковой апертуры больших волновых размеров и реконструируется изображение внутренней структуры объекта. Причем синтезируемая апертура виртуально фокусируется в каждую точку визуализируемой области. Такой способ обзора пространства и получения его изображения называют методом синтезируемой фокусируемой апертуры. В англоязычной литературе — SAFT.

Известная Российская фирма "ЭХО +" разработала и применяет на практике уже несколько поколений визуализирующей дефектоскопической аппаратуры экспертного контроля различных металлических конструкций, в которой используется механическое сканирование объекта контроля ультразвуковыми преобразователями. Устройство и результаты применения такой аппаратуры представлены в докладе 1.3.16 **A.Kh. Vopilkin, D.S. Tikhonov** *"Automated Ultrasonic Systems Development Technology for the Welded Joints and Main Metal Inspection"*.

Электронное сканирование пространства пучком ультразвука выполняется с помощью групповой коммутации элементов антенной решетки с квазиодновременным излучением зондирующих сигналов и последующим одновременным приемом сигналов всей выделенной коммутатором группы активных элементов. Для этого в аппаратуре имеется несколько генераторов и столько же приемно-усилительных трактов. Количество генераторов и трактов равно количеству используемых активных элементов антенной решетки. Например, в активную группу может входить 16 элементов, а антенная решетка может содержать 64 или 128 элементов.

Электронное сканирование выполняется двумя способами: перемещением активной группы элементов по апертуре антенной решетки и изменением закона распределения взаимных задержек сигналов активных элементов при излучении и приеме. При перемещении активной группы элементов по апертуре решетки происходит перемещение ультразвукового пучка параллельно самому себе. Это так называемое линейное сканирование (L-scan). При изменении закона взаимных задержек сигналов активной группы происходит поворот пучка относительно некоторой средней точки внутри апертуры активной группы элементов. Это — секторное сканирование (S-scan). Кроме того, заданием особого закона задержек получают фокусировку ультразвукового пучка на нужную глубину. Такой закон задержек называют фокальным законом. Изменяя фокальный закон, фокусируют пучок на разные глубины.



В.Г. Шевалдыкин, А.А. Самокрутов

Обычно одновременно с линейным или секторным сканированием происходит и поочередная фокусировка пучка на разные глубины, которую называют динамической фокусировкой по глубине (DDF). Электронное сканирование получило наибольшее распространение в промышленной аппаратуре.

Способ виртуального сканирования внутренней структуры объекта контроля, который постепенно начинают применять зарубежные разработчики аппаратуры (в России он используется с 80-х годов прошлого века) включает в себя два практически независимых процесса: процесс зондирования объекта с приемом ультразвуковых сигналов и преобразованием их в цифровую форму и процесс реконструкции изображения из набора принятых сигналов. В зависимости от конкретного аппаратурного воплощения эти процессы могут быть разнесены во времени, но могут выполняться и одновременно.

Как при многоканальном, так и при одноканальном приемнике полный набор принятых сигналов содержит сигналы, полученные при всех возможных сочетаниях излучающего и приемного элементов антенной решетки. Длительность приема сигналов выбирается исходя из максимального времени распространения ультразвука от излучающего элемента решетки до наиболее удаленной визуализируемой точки в объекте контроля и обратно к приемному элементу. Каждый принятый сигнал, называемый реализацией, содержит в себе смесь эхоимпульсов от каких-либо отражателей в объекте контроля и шум от структуры материала и его границ. Общее количество принятых реализаций равно квадрату количества элементов антенной решетки, деленному на два, плюс еще половина от количества элементов в решетке. При зондировании и приеме сигналов последовательно синтезируется апертура больших волновых размеров аналогично механическому перемещению одиночного ультразвукового преобразователя. Однако

в данном случае набор принятых реализаций кроме совмещенного варианта работы каждого элемента решетки (как при механическом сканировании преобразователем) содержит еще множество комбинационных реализаций, полученных от пар разных элементов антенной решетки. Такое зондирование называют комбинационным.

Поскольку сканирование пространства в объекте контроля происходит после приема ультразвуковых сигналов в процессе реконструкции изображения в компьютере или специализированном процессоре прибора, данный способ обзора является виртуальным.

Зарубежные авторы называют этот метод визуализации внутренней структуры объекта контроля по-разному: "Sampling Phased Array" (SPA), "Full Matrix Capture" или "Total Focusing Method" (TFM). Несколько докладов на конференции были посвящены этому методу, в частности доклады: 1.3.4. **Jobst M., Conolly G.D.** "Demonstration of the Application of the Total Focusing Method to the Inspection of Steel Welds" (Germany); 1.3.6. **Samokrutov A.A., Shevaldykin V.G.** "Ultrasonic Tomography of Metals Using the Sampling Focus Method" (Russia); 1.3.18. **Velichko A., Wilcox P.D.** "Quantitative Characterisation of Complex Defects Using Two-Dimensional Ultrasonic Arrays" (United Kingdom); 1.3.22. **Bulavinov A., Pinchuk R., Pudovikov S., Walte F., Reddy K.M.** "Industrial Application of Real-Time 3D Imaging by Sampling Phased Array" (Germany, India); 1.3.40. **Lane C., Dunhill A., Drinkwater B.W., Wilcox P.D.** "Single Crystal Turbine Blade Inspection Using a 2D Ultrasonic Array" (United Kingdom).

В докладе 1.3.6 представлено развитие теории этого метода применительно к контролю изделий известной толщины с использованием многократных отражений ультразвука от границ изделия. Метод контроля при

волноводном распространении ультразвуковых сигналов представляет собой вариант импульсного эхометода. Этим методом контролируют стержни, трубы, рельсы и другие протяженные объекты. Но наибольшее распространение он получил для контроля трубопроводов как свободно расположенных, так и находящихся в грунте или другой среде. Причем контролируют стенки трубы не только при распространении волн вдоль трубы, но и поперек, т.е. по окружности. Метод позволяет обнаруживать места коррозии, трещины и внутренние дефекты. Особый вид дефектов трубопроводов — коррозионное растрескивание под напряжением (КРН) — также эффективно обнаруживается этим методом.

Этому направлению посвящены доклады: 1.3.30. **Cawley P., Ma J.** "Long Range Guided Wave Inspection — Current Defect Sizing Capabilities and Future Prospects" (United Kingdom); 1.3.38. **Paton B.E., Troitskiy V.A., Bondarenko A.I.** "Method and Technology of Diagnostics of Pipeline Systems by Guided Low-Frequency Ultrasonic Waves" (Ukraine); 1.3.41. **Budenkov G., Korobeynikova O., Strizhak V., Pryahin A.** "Technology and Equipment for Acoustic Testing the Extended Objects of Oil-Extracting Industry" (Russia); 1.3.47. **Rheinfurth M., Doring D., Gehrig F., Solodov I., Busse G.** "Monitoring of Fatigue in Composites Using Air-Coupled Guided Waves" (Germany); 1.3.76. **Gharaibeh Y., Mudge P., Balachandran W.** "Long Range Ultrasonic Testing for Industrial Applications" (United Kingdom). Развитие этого метода за последние несколько лет достигло уже такого уровня, когда удается не просто обнаружить несплошность, составляющую 5...10 % от поперечного сечения волновода, но и распознать ее характер, ориентацию и оценить размеры. В частности, в докладе 1.3.30 рассмотрены возможности таких оценок при контроле пластин низшей модой горизонтально поляризованных поперечных волн (SH_0).

В докладе 1.3.32. **Prager J., Hoefer C., Brekow G., Kreutzbruck M.** "Flaw Detection with Guided Waves Using Phased Array Technique" (Germany) предложено использовать фазированную антенную решетку для электронного выбора рабочей моды ультразвуковой волны Лэмба.

Очень хорошие результаты по обнаружению и измерению параметров коррозионных повреждений стенок труб были представлены в докладе 1.3.35. **Volker A.W.F., Bloom J.G.P.** "Experimental Results of Guided Wave Travel Time Tomography" (Netherlands). Для контроля использован принцип трансмиссионной томографии при лучевом распространении нулевой симметричной волны Лэмба в стенках трубы. Результат контроля — изображение разрезки отрезка трубы, располагающегося между излучателями и приемниками ультразвуковых волн.

Применению волноводного метода для мониторинга усталостного состояния волокнистых пластиков посвящен доклад 1.3.47. Связь аппаратуры с объектом



Г. Пасси (слева)

контроля осуществляется через воздух. Продольные волны в воздухе трансформируются в изгибные в материале и обратно при приеме. Информативными параметрами являются скорость и затухание изгибных волн в контролируемой зоне объекта.

Значительное место в ультразвуковом контроле занимает дифракционно-временной метод (TOFD), которому посвящены доклады: 1.3.2. **Nardoni G., Certo M., Nardoni P., Feroldi M., Nardoni D., Possenti L., Filosi A., Quetti S.** "Sizing the Height of Discontinuities, their Characterisation in Planar / Volumetric by Phased Array Technique Based on Diffracted Echoes" (Italy); 1.3.3. **Nardoni G., Certo M., Nardoni P., Feroldi M., Nardoni D.** "TOFD, Phased Array Technique for the Detection of Small Transverse Crack in 300 mm Thickness Welds in CuMoVn Steel" (Italy); 1.3.23. **Van den Biggelaar A., Deleye X., Chougrani K.** "Automated Evaluation for TOFD" (Netherlands); 1.3.48. **Volker A.W.F., Bloom J.G.P., Martina Q.** "UMASIS, an Analysis and Visualization Tool for Developing and Optimizing Ultrasonic Inspection Techniques" (Netherlands); 1.3.58. **Bloom J.G.P., Stelwagen U., Volker A.W.F.** "POD Generator Project: a Numerical Assessment of the Inspection of Fatigue Cracks Using TOFD" (Germany, Netherlands).

В докладах 1.3.2 и 1.3.3 Д. Нардони были подробно показаны возможности методов TOFD и PA (Phased Array) в их сравнении.

В докладе 1.3.23 рассмотрены способы обработки изображений, получаемых при контроле дифракционно-временным методом. В результате нескольких стадий обработки разными методами существенно облегчается интерпретация изображений и выполнение измерений.

Представляет интерес доклад 1.3.51. **Solodov I., Busse G.** "Nonlinear Ultrasonic NDT for Early Defect Recognition and Imaging" (Germany) о возможности обнаружения и распознавания дефектов в различных материалах и изделиях, основанной на нелинейном преобразовании акустических колебаний несплошностью материала. Для обнаружения несплошности материал изделия подвергают низкочастотной вибрации с частотой порядка 20...40 кГц. В результате в зоне несплошности возникают колебания различных частот, по характеру спектра которых можно судить о наличии и характере дефекта.

Применению электромагнитно-акустического (ЭМА) преобразования для неразрушающего контроля были посвящены доклады: 1.3.67. **Bobrov V.T.** "Methods of Excitation, Features of Propagation and Fields of Application of Ultrasonic Normal Waves in Flaw Detection"

(Russia); 1.3.78. **Suchkov G.M., Kelin A.A.** "Testing of Products by Unidirectional Angle EMA Transducer" (Ukraine); 1.3.79. **Suchkov G.M., Nozdracheva E.L.** "Development of Long Length Items Testing Using Contact and Non-Contact Methods" (Ukraine); 1.3.84. **Alekhin S.G.** "Directivity Diagram Analysis of Direct One-Element Longitudinal Wave EMA Transducer for Thickness Measurements" (Russia); 1.3.86. **Volz U., Mrasek H., Matthies K., Kreutzbruck M.** "Visualization of Sound Propagation in Solids Using Electrodynamical Probes" (Germany); 1.3.88. **Razigraev A., Razigraev N., Bezlyudko G.Ya., Ponomarev S., Mihovski M., Mirchev Y.** "Modern Electro-Magnetic Acoustic Ultrasonic Thickness" (Russia, Bulgaria); 1.3.89. **Malynka S.A.** "Combined Acousto-Magnetic Methods of Non-Destructive Testing as a New Quality of Flaw Detection and Expansion of the NDT Application Field" (Ukraine).

В докладе 1.3.86 представлены результаты использования ЭМА-преобразователя для визуализации акустических полей, создаваемых в металле обычными ультразвуковыми преобразователями.

Основные тенденции в области ультразвукового НК и ТД

1. Как и 20 лет назад, благодаря своей универсальности и безопасности, ультразвуковые методы НК и ТД являются наиболее массово применяемыми в промышленности, на транспорте, в строительстве, энергетике и других областях.

2. Сохранение приоритета в использовании ультразвуковых методов и приборов основано на применении новых достижений в исследованиях физических принципов взаимодействия аппаратуры с объектом контроля, цифровых методов обработки и регистрации информации и автоматизации процессов контроля, исключающих влияние человеческого фактора на их результаты. Наиболее развивающиеся направления сегодня — это применение антенных решеток в различной ультразвуковой аппаратуре и использование волноводного эффекта.

3. Существенному расширению областей применения ультразвукового контроля способствует комплексирование методов, создание большой номенклатуры цифровых портативных приборов, аппаратуры автоматического контроля и технической диагностики как составной части АСУ ТП трубосварочных станков, автономных систем НК рельсового пути и т.д., методов и систем оценки напряженно-деформированного состояния конструкций, деградации металла и оценки ресурса изделий.

Секция 1.4. Радиационные методы контроля

Руководители секции: Эверт У., Артемьев Б.В., Буклей А.А.

Контролю с помощью ионизирующих излучений было посвящено около 50 докладов, часть из которых была сделана на секциях томографии и антитеррористической диагностики. Из 41 доклада, представленных на секции, большинство сделали ученые крупных научно-исследовательских центров из Германии, России, Франции. Следует особо отметить увеличение числа докладов, представленных коллективами авторов из разных стран, что говорит о расширении международной кооперации специалистов в области рентгеновского контроля.



Б.В. Артемьев

Доклад *"X-Ray Backscatter Imaging With A Novel Twisted Slit Collimator"* (1.4.6), представленный группой авторов из BAM (K. Osterloh, U. Zscherpel, M. Jechow, D. Fratzscher, N. Wrobel, U. Ewert) доказывает возможность улучшения качества радиационных изображений, получаемых на системах с односторонним доступом к объекту посредством использования специальных коллиматоров. В докладе 1.4.28. Buklei A.A., Parshin I.A. *"Practical Results of "SKAT" X-Ray Testing Complex with Unilateral Access"* (Russia) рассказали о практической реализации системы контроля с односторонним доступом к объекту, базирующейся на обратно рассеянном излучении для контроля транспортных средств. В качестве источника использовался рентгеновский аппарат с анодным напряжением 160 кВ и током 2 мА.

Несколько докладов посвящены проблеме идентификации материалов при помощи рентгеновского излучения. Двухэнергетическая рентгенография позволяет определить материалы контролируемого объекта в терминах: эффективный атомный номер и плотность. Эту тему затронули в своем докладе 1.4.40 Gorshkov V.A., Rozhkova N.I., Prokopenko S.P. *"Dual-Energy*

Dividing Method of the Early Detection of Microcalcifications in Mammography". Однако этот подход является химически неопределенным на молекулярном уровне.

Альтернативный подход для решения этой проблемы предложен в докладе 1.4.3 A. Peterzol, P. Duvauchelle, V. Kaftandjian, P. Ponard *"Feasibility Study Of X-Ray Diffraction For A Portable Inspection System"* (Франция). Представлена система, базирующаяся на полупроводниковом детекторе CdZnTe (CZT), которая обеспечивает относительное разрешение энергии приблизительно 3 кэВ при температуре 20 °С и не требует охлаждения для работы по идентификации на уровне химических соединений материал объекта и включения.

В докладе 1.4.31 Artemiev B.V., Potapov V.N. *"X-Ray Thickness Gauges Used for Thickness Monitoring of Roll Stock Products from Nonferrous Metals"* рассмотрена аналогичная проблема — идентификация химического состава сплавов на основе меди при изготовлении проката и предложен новый детектор, обладающий энергетическим разрешением, позволяющий решить эту проблему в условиях металлургического производства.

Доклады: 1.4.11. Osterloh K., Jechow M., Fratzscher D., Wrobel N., Zscherpel U., Ewert U., Bucherl Th., Tannert Th., Hasenstab A. *"Radiological Examination of Wood with Neutrons, Different Perspectives"* (Germany, Switzerland) и 1.4.32. Sumin V.V., Balagurov A.M., Bokuchava G.D., Papushkin I.V. *"Exploitation the Potentialities of Neutron Diffraction for Non-Destructive Testing of Constructive Materials"* (Russia) — иллюстрируют дополнительные возможности контроля древесины и других конструкционных материалов, получаемые при использовании в качестве зондирующего излучения потока нейтронов с энергиями 1,5...2 МэВ.





А.А. Буклей

Во многих докладах, представленных на секции, авторы акцентировали внимание на цифровой обработке и визуальном представлении информации.

В докладе 1.4.1 **Oliveira D.F., Moreira E.V., Silva A.S.S., Rabello J.M.B., Lopes R.T., Pereira M.S., Zscherpel U.** "Application of the Digital Radiography in Weld Inspection of Gas and Oil Pipelines" (Brazil, Germany) дан сравнительный анализ, в качестве основного критерия использовалось отношение сигнал/шум, результатов использования традиционной рентгеновской пленки и цифровых панелей при контроле сварных швов нефтепроводов и газопроводов. Сделан вывод, что цифровая радиография более чувствительна к реальным дефектам сварных соединений, чем пленочная.

Широко обсуждались вопросы использования цифровых рентгеновских детекторов для неразрушающего контроля: их недостатки и преимущества по сравнению

с рентгеновской пленкой, соответствие характеристик существующим нормам и требованиям к качеству контроля. В работе 1.4.34. **Nardoni G. et al** "Contrast Gradient Determination In Digital Radiography To Optimize The Capability In Defect Detection" была подробно изучена зависимость контрастной чувствительности от условий получения изображения.

В работе 1.4.8. **Ewert U.** "Two New Compensation Principles in Digital Radiology for Enhancement of Image Quality, Efficiency and Industrial Acceptance" обсуждались вопросы обоснованности применения существующих норм (в частности, ограничений на максимальное анодное напряжение излучателя и размер пикселя детектора) в цифровой радиографии с учетом особенностей зависимости отношения сигнал/шум от условий контроля для цифрового детектора.

Ряд работ был посвящен использованию нейтронного излучения. В работах 1.4.6 **Osterloh K.** "Radiological Examination of Wood With Neutrons, Different Perspectives" и 1.4.30. **Bogolyubov** "Scopes of Combined Application of Neutron and X-Ray Digital Radiography" приведены практические результаты и рассмотрены перспективы использования просвечивания быстрыми нейтронами в случаях, когда использование гамма-излучения ограничено.

Работа 1.4.32. **Sumin V.V., Balagurov A.M., Bokuchava G.D., Papushkin I.V.** "Exploitation the potentialities of neutron diffraction for non-destructive testing of constructive materials" посвящена использованию нейтронной дифракции для структурного анализа. Данный метод позволяет достичь большой глубины проникновения, высокого пространственного разрешения, а также исследовать характеристики разных фаз в многофазных материалах.

Общий вывод: развитие радиационных методов контроля продолжается по всем направлениям от источников излучения и преобразователей до высокоскоростных систем обработки двумерной и трехмерной информации.

Секция 1.5. Оптический, инфракрасный и микроволновый контроль

Руководители секции: **Вавилов В.П., Филинов М.В.**

На секции было представлено 32 доклада, из них 12 стендовых из 17 стран. Авторы докладов представляли Малайзию, Марокко, Кувейт и др. Большинство докладов носили исследовательский характер, отражая новые подходы к экспериментальным процедурам и обработке данных. Одной их особенностей конферен-

ции было расширение числа работ, связанных с комплексированием результатов, различных методов неразрушающего контроля. Наибольший интерес представили следующие доклады.

Доклад 1.5.15 "Experimental Comparison of Infrared Thermography, Holographic Interferometry and Acousto —



В.П. Вавилов

Ultrasonics on a Complex Sandwich Structure Sample" специалистов из Канады, Италии и Греции был посвящен испытаниям многослойных и сотовых панелей методами ИК термографии, голографической интерферометрии и акустики. Один из патриархов теплового контроля Г. Буссе (Германия) подвел итоги разработки метода гармонических тепловых волн, включая фазовый анализ сигналов (доклад 1.5.20) *"Feature-extraction from Lockin-thermography Phase-images"*.

В докладе 1.5.1 *"Infrared Thermographic Non-Destructive Testing of Composite Materials: Determining Thermal Properties, Detecting and Characterizing Hidden Defects"* проф. **В.П. Вавилова** (ТПУ, Томск) "ИК термографический контроль композитных материалов: определение термических свойств, обнаружение и описание скрытых дефектов" рассмотрен комплексный контроль дефектов и теплофизических характеристик анизотропных композитов, рассмотрены вопросы техники нагревания и получения информации, определения пределов обнаружения дефектов, приведены экспериментальные данные, полученные для графит-эпоксидных композитов.

В докладе 1.5.10 **R. Krankenhagen, M. Röllig, Ch. Maierhofer, R. Mecke, M. Hofmann, M. Schiller, U. Kalisch, J. Meinhardt-Degen** *"Quantification of Damage Processes at Surfaces and Interfaces of Building Structures Using Optical Methods and Active Thermography"* (БАМ, Берлин) представлена интересная техника обнаружения центров разрушения материалов исторических сооружений. Техника является сочетанием трехмерной оптической реконструкции поверхности фрагмента сооружения с тепловидением. Совмещение тепловизионных изображений с точной трехмерной реконструкцией поверхности, снятой с помощью лазерного сканера, позволяет проводить опережающее обнаружение центров начала разрушений.



Практическое применение оптоволоконных световодов для непрерывного мониторинга наличия и развития коррозии под напольным покрытием салонов пассажирских самолетов описано в докладе "Предотвращение коррозии с помощью обнаружения коррозионных жидкостей оптоволоконными сенсорами" **М. Веверса и др.** (Католический Университет Лёвена, группа качества материалов и неразрушающего контроля, Лёвен, Бельгия).

В докладе "Использование микроволн для определения коррозии под изоляцией" **Р. Джонса и др.** (Факультет машиностроения Имперского Колледжа, Лондон) предлагается техника обнаружения водных скоплений под изоляцией трубопроводов путем анализа распространения микроволн в трубопроводе как коаксиальном волноводе. Эксперименты показали работоспособность данного метода, возможность выявлять малые скопления воды под изоляцией.

В докладе "Новый подход к контролю качества внутренних поверхностей" **Я. Колье и др.** (Фраунгоферовский институт, Эрланген, Германия) рассматривается объединение двух техник подсветки — диффузной и структурной, в сочетании со специальной техникой обработки информации при контроле малых отверстий. Показано, что отверстия диаметром в несколько миллиметров могут быть осмотрены так, что видимость дефектов различных типов для их распознавания может быть улучшена одновременно. Основная часть данных исследований предназначена для промышленного применения, результаты успешно внедрены на поточных линиях.

Общее заключение по представленным докладам секции 1.5 может затрагивать далеко нереализованные перспективы всех трех методов, и в первую очередь, микроволнового.

Секция 1.6. Капиллярные методы контроля. Течеискание

Руководители секции: **Филинов М.В., Сажин С.Г.**

Всего в соответствии с Программой 10-й Европейской конференции в рамках секции было представлено 12 докладов. Особо следует выделить доклад 1.6.1 **Dubosc P., Chemin P.** *"Penetrant Testing and Year 2060"* (France) ("Капиллярный контроль и 2060 год" признанных специалистов **П. Дюбоска и П. Шемана**). В докладе отмечается, что хотя прекращение использования капиллярного метода, одного из основных в неразрушающем контроле, было оглашено уже в 1970 г., метод до сих пор успешно применяется. Некоторые считают капиллярный контроль "непривлекательным", второстепенным методом, хотя рабочие характеристики современных материалов капиллярного контроля находятся на уровне, востребованном всеми важнейшими отраслями промышленности, включая атомную и аэрокосмическую промышленность. Тем не менее, можно предположить, что в будущем эти материалы изменятся. Главными причинами являются требования к улучшению гигиены, безопасности и вопросы экологии. Капиллярный контроль потребует существенной коррекции, чтобы отвечать настоящим и будущим требованиям, без ухудшения при этом эффективности метода.

У капиллярного контроля есть и другая проблема, о которой как о серьезной заговорили только сейчас: опасность УФ-излучения диапазона А для глаз и кожи. Выход есть — УФ-светодиоды, излучающие в области 405 и 450 нм, т.е. соответственно в фиолетовой и синей области видимого спектра. При этом ни один стандарт не позволяет использовать источники, кроме как с длиной волны 365 нм, так как фиолетовый или синий диапазоны являются видимыми, что негативно отра-

жается на способности глаз оператора замечать слабые зеленые или желтовато-зеленые индикации. Яркость люминесценции становится ниже, чем при УФ-излучении 365 нм. В течение десятилетий состав пенетрантов был оптимизирован для длины волны 365 нм, и понятно, что эти составы не лучшим образом реагируют на длину волны 450 нм (которая, видимо, в будущем станет стандартной).

Испытания показали, что современные люминесцентные пенетранты имеют люминесцентную яркость 60...80 % при длине волны 365 нм, а при использовании источника 450 нм во многих случаях яркость люминесценции нового пенетранта будет ниже приемлемой. Новые пенетранты будут дружелюбны к окружающей среде, их основа — масла натурального происхождения. Авторы делают вывод, что капиллярный контроль окажется востребованным и через 50 лет, в 2060 году.

Современным требованиям к средствам капиллярного контроля был посвящен и доклад **М.В. Филинова 1.6.2** (ООО "НПК "МИКРОКОН", г. Москва). В докладе отмечено, что прежде всего от средств капиллярного контроля в современных условиях требуется устойчивая работа и достаточная чувствительность для более широкого, чем раньше, диапазона материалов, в широком диапазоне температур, при высокой толерантности к воздействиям в процессе капиллярного контроля, в особенности к загрязнению водой. Производителям следует обратить внимание на разработку таких наборов расходных материалов, процедура работы с которыми не была бы излишне усложнена, так чтобы была как можно меньше вероятность неверно провести процесс. Особое внимание должно быть обращено и на взаимозаменяемость компонентов наборов для снижения, насколько возможно, неверного выбора каждого конкретного компонента в наборе.

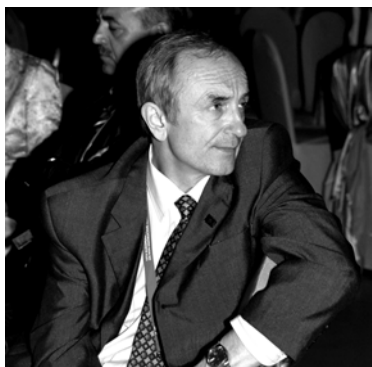
Доклады **Н.П. Мигуна 1.6.3** (ИПФ НАН Республики Беларусь, г. Минск) *"Penetrant Testing: Ability Extension and Sensitivity Evaluation"* (Капиллярный контроль: расширение возможностей и оценка чувствительности) и **М.В. Филинова 1.6.8** *"Quantitative Estimation of Indicator Ability of Liquid Penetrants Using Pattern Analysis of Indications on Test Bodies"* (Russia) (Количественная



С.Г. Сажин (справа)



М.В. Филинов



Н.П. Мигун

оценка индикаторной способности пенетрантов с использованием паттерн-анализа индикаций на тест-объектах) осветили различные подходы к оценке поведения и чувствительности наборов дефектоскопических материалов капиллярного контроля с использованием возможностей программного анализа изображений. В докладе Н.П. Мигуна более подробно раскрыты вопросы подготовки тест-объектов к многократным опытам и их обработки между экспериментами для достижения наиболее адекватных результатов; в докладе М.В. Филинова основное внимание обращено на методы получения количественных характеристик изображения, которые могут быть использованы для формирования объективной рейтинговой оценки чувствительности набора дефектоскопических материалов.

Доклад 1.6.7 **О.Р. Хроловой и др.** (ООО "НПФ "Делтакор", г. Долгопрудный) посвящен разработке люминесцентных пенетрантов с каскадным механизмом люминесценции; такие материалы нужны для люминесцентного капиллярного контроля с высокой чувствительностью. При этом в процессе разработки учитываются основные современные требования к пенетрантам: соответствующие физико-химические свойства, в частности вязкость и поверхностное натяжение, совместимость с конструкционными материалами; сравнительно низкая токсичность и высокая пожаробезопасность; способность обеспечить высокую чувствительность.

Доклад 1.6.6 **А. Иванкова** (Хеллинг ГмБХ, Германия) "*Новое оборудование мобильного капиллярного контроля*" посвящен средствам и инструментам контрастного и люминесцентного капиллярного контроля непосредственно на объекте. Рассмотрены портативные средства УФ-освещения, документирования люминесцентных индикаций, архивирования изображений.

Доклад 1.6.9 **Б.М. Лапшина и др.** (НИИИТ ТПУ, г. Томск) "*Оценка некоторых погрешностей корреляционного течеискателя и пути их снижения*" посвящен совершенствованию методов обработки сигнала при акустическом течеискании. В докладе подробно рассмотрены акустические течеискатели для контроля утечек из подземных и подводных трубопроводов. Показаны способы



Э. Экхард (Словакия)

размещения датчиков на трубопроводах. Определены пороги чувствительности системы контроля. Показано, что накоплен большой опыт внедрения акустических средств контроля утечек на ответственных трубопроводах. Показано, что хорошие результаты дает кросскорреляционная функция после фильтрации сигнала.

Группа докладов, представленных авторами из Нижегородского Политехнического Университета, была также посвящена течеисканию. В докладе 1.6.10 **В.С. Костикова** "*Исследование и разработка прибора локализации течей в вакуумных системах*" отмечаются недостатки широко используемого вакуумно-пузырькового метода, и рассматривается детектор на аккумуляторной мембране.

На выставке были представлены расходные материалы контрастного и люминесцентного капиллярного контроля, покрывающие широкий диапазон приложений и температур, однако в основном были представлены обычные (по критерию утилизации) материалы, количество представленных экологических биоразлагаемых материалов было весьма незначительно. Практически все производители представили также тест-объекты для капиллярного контроля и ультрафиолетовые осветители.

В докладе 1.6.5 **В.М. Мясникова, С.Г. Сажина** (Russia) "*Research of Leak Detection Systems with Accumulative Membranes*" прозвучала информация о применении нового подхода по использованию масс-спектрометрических течеискателей в качестве средств контроля герметичности промышленного оборудования. Особенность работы состоит в применении оригинальных пористых материалов для концентрирования утечки и, соответственно, повышения порога чувствительности. Рассмотрены математические модели процессов распространения утечки газа и концентрирования ее в пористой среде.

Вывод: современный капиллярный контроль нуждается не столько в развитии самих средств сколько в методическом развитии для различных отраслей.

Секция 1.7 Акустическая эмиссия (АЭ)

Руководители секции: Вахавиолос С.Г., Иванов В.И., Шемякин В.В.

В секции 1.7 конференции было представлено 19 секционных докладов и 7 стендовых. Доклады содержали различные аспекты применения метода АЭ для НК, ТД и исследования процессов деформации и разрушения.

В докладе 1.7.1 **D. Kourousis, K. Bolas, A. Anastasopoulos, A. Tsimogiannis** "*Acoustic Emission Leak Detection of Buried Oil Pipelines, River and Road Crossings*" представлены преимущества АЭ контроля утечек в нефтепроводах. Показано, что метод АЭ может быть использован для контроля тех участков нефтепроводов (подземные участки, переходы через реки и под дорогами), которые трудно или невозможно контролировать другими методами НК. Показано, что расстояние между преобразователями АЭ (ПАЭ) при контроле утечек может достигать 200 м. Нагружаемый участок трубопровода может составлять 500...1000 м. **Anastasopoulos A., Kattis S., Tsimogiannis A.** в докладе 1.7.2 "*Fusion of NDT Data from Modern Inspection Methods*" рассмотрели преимущества использования метода АЭ совместно с другими методами НК.

В докладе 1.7.3 **V.I. Ivanov** "*The Prime Problems of Acoustic-Emission Diagnostics and Monitoring of Technical Devices and Constructions*" проведен анализ современного состояния метода АЭ, сформулированы основные проблемы и направления дальнейшего развития метода АЭ.

1.7.5 **P. Tscheliesnig** "*Fatigue and Corrosion Monitoring by Means of Acoustic Emission on Transport Products*" привел результаты использования метода АЭ для контроля усталостных трещин и коррозии транспортных объектов: морских кораблей, железнодорожных и автомобильных цистерн.

1.7.11 **T.B. Petersen, V.V. Shemyakin** "*Acoustic Emission Diagnostics of Hazardous Dynamic Damages: Cracking,*

Leakage, Impact" доложили результаты теоретических и экспериментальных исследований по использованию метода АЭ для анализа процессов деформации и роста трещин при статическом и циклическом нагружении. Показано, что амплитуда АЭ-сигнала коррелирует со скоростью скачка трещины.

В докладах 1.7.8 **G. Shen and Z. Wu** "*Study on Spectrum of Acoustic Emission Signals of Bridge Crane*", 1.7.11 **Maigorzata Kalicka** "*Acoustic Emission Signal Propagation through Welded Steel Bridge Joints*" и 1.7.14 **D. Galanenko, M. Zelinsky, A. Sadilo, V. Makats** "*GALS-1 AE System Application for Hoisting Machines Diagnostics*" описывается применение метода АЭ для контроля подъемных машин, мостовых кранов и мостов. М. Kalicka исследовала прохождение сигналов АЭ по конструкции из Ст3 и 18Г2А. Был выбран низкочастотный преобразователь 55 кГц, поскольку затухание сигналов АЭ при прохождении сварных соединений было весьма велико. G. Shen и Z. Wu исследовали коробчатые мостовые краны. Это актуальный объект, поскольку в Китае их более миллиона единиц. Изучались вопросы прохождения сигналов по конструкции и источники шумов при контроле. Было определено, что сигналы от растущих трещин лежали вблизи частот 130 кГц и 330 кГц, а для пластической деформации — 150 кГц. Помехи от процессов трения — на частоте 70 кГц, а от движения конструкции — на частоте 90 кГц. Galanenko D., Zelinsky M., Sadilo A., Makats V. доложили о разработке специализированной АЭ-системы, которая предназначена для АЭ-контроля различных видов подъемных сооружений, включая порталные мостовые краны, башенные подъемные краны, железнодорожные подъемные краны, автомобильные краны и др.

В докладе 1.7.15 **S.V. Panin, A.V. Byakov, I.V. Shakirov, V.V. Grenke, M.A. Poltaranin, P.S. Lyubutin, M.S. Kuzovlev, S.A. Khizhnyak, O.V. Bashkov** "*Diagnostics of Deformation and Fracture Stages on the Basis of Acoustic Emission, Optical Microscopy Strain Gauging*" и докладе 1.7.18 **E. Nefediev** "*Structural Regularities of the Acoustic Emission Signal Generation in Steel*" представлены результаты исследования процессов деформации и образования микро- и мезотрещин с использованием метода АЭ. Получены важные научные результаты, позволяющие связать параметры деформирующихся структур с параметрами сигнала АЭ. Показано, что использование комбинации АЭ исследований и цифрового анализа металлографических образов позволяет получить информацию о развитии процессов деформации. Отмечается высокая чувствительность метода АЭ на начальных стадиях нагружения, что позволяет идентифицировать переход



С. Вахавиолос, В.В. Шемякин, В.И. Иванов

от микро- к макродеформациям через стадию мезоскопических деформаций. Подобный подход представлен как эффективный путь интерпретации данных о развитии деформации на различных масштабных уровнях.

1.7.16 V.A. Barat, A. Alyakritskiy, A. Bukatin, S. Elizarov, M. Rostovtsev, D. Terentyev "Automated Intelligent Methods for Acoustic Emission Testing Data Processing" привели результаты исследования различных аспектов АЭ-контроля, которые позволили проанализировать и сделать рекомендации относительно применения разумных методик по: автокалибровке, измерению и интерпретации данных, фильтрации данных, кластеризации и локализации с использованием произвольной конфигурацией антенн.

В докладе 1.7.21 V.G. Kharebov "Application of AE Method in Nuclear Power Industry" приведены основные положения по использованию метода АЭ в атомной промышленности. Показано, что метод АЭ полезен при мониторинге деградации материалов, оценке степени коррозии, обнаружению зон повышенной концентрации напряжений, оценке изменения толщины стенки объекта на пространстве между преобразователями АЭ.

Работа секции 1.7 показала, что применение метода АЭ специалистами европейского и мирового сообщества НК продолжает активно развиваться. Метод АЭ перестал быть "новым" методом, заняв достойное место в ряду "традиционных" методов НК.

Секция 1.8. Вибрационный анализ

Руководители секции: Балицкий Ф.Я., Зусман Г.В., Митчелл Дж.



Г.В. Зусман

В процессе работы секции 1.8 на конференции были представлены доклады специалистов из США (2 доклада), Литвы (2 доклада), Германии (1 доклад) и России (10 докладов).

Доклады демонстрировали подходы, отличающиеся элементами новизны или интересными практическими приложениями. Каждое сделанное сообщение активно обсуждалось на секции.

Большой интерес аудитории вызвал доклад 1.8.1 "From Vibration Measurements to Condition Based Maintenance" доктора Д. Митчелла (США). Доклад был посвящен обзору (более чем за 70 лет) состояния методов вибромониторинга и диагностики с начала их применения и до наших дней. Большое внимание было уделено вопросам приборного обеспечения, в том числе и в российской вибрационной технике. Показаны возможные пути развития вибродиагностического метода.



Д. Митчелл
(США)

Часть докладов 1.8.2, 1.8.4, 1.8.6, 1.8.7, 1.8.10 В.Н. Костюкова, В. Волковаса, А.Г. Соколовой, Г.В. Зусмана была посвящена концептуальным вопросам, которые определяют перспективы развития вибродиагностических методов. В докладе В.Н. Костюкова

был предложен общий подход к разработке современных систем мониторинга (и использованию не только измеренных параметров, но и, что важно, скоростей их изменения), работающих в реальном масштабе времени (диагноз уточняется сразу по мере поступления данных виброизмерений) и значительно снижающих риски эксплуатации оборудования, и, тем самым, позволяющих значительно продлевать ресурс оборудования. Автор является руководителем предприятия, которое создает и эксплуатирует в разных отраслях народного хозяйства системы вибромониторинга COMPACS®.

В докладах В. Волковаса 1.8.2, 1.8.10 (один из них совместный с М. Эйдукевичуте, Литва) показано теоретически и в практическом приложении, что неопре-



В. Волковас (Литва)



Г.В. Зусман, В.Л. Венгринович

деленность, неизбежно присущая алгоритмам вибродиагностики, и создающая предпосылки для возможного ошибочного диагноза, может быть оценена. Предложен метод уменьшения влияния статистической неопределенности для повышения диагностической ценности измеряемых данных. Применение метода позволяет повысить достоверность диагноза.

В докладе **А.Г. Соколовой** (1.8.6) *"Application of Full Spectrums and other Vibration Two-Dimensional Characteristics for Gas Transportation Units Condition Monitoring"* описывался новый подход к вибромониторингу: использование предложенных S-дискриминантов позволяет определять наличие деградационных явлений, начиная с самой ранней их стадии, в отличие от стандартных методов мониторинга, и более того при использовании узкополосной фильтрации, ставить оперативный диагноз технического состояния. Представление информации в виде цветной карты позволяет в целом видеть картину деградации состояния машины, оценить тренды "виброреактивности" в узких частотных полосах и, тем самым, определить частотные зоны повышенной нестационарности сигнала, характеризующей процессы зарождения и развития дефектов.

В докладе **Г.В. Зусмана** (США, Россия) (1.8.4) *"Multipurpose Programmable Transducers for Vibration Testing of Rotor and Piston Units: Theory, Structure, Operational Experience"* было представлено новое поколение датчиков фирмы PCB Piezotronics. Датчики программируются с помощью USB-программера, можно задавать любые (опционные) параметры, и, кроме того, разные типы датчиков (на данный момент их четыре) удобны для конкретных приложений и могут непосредственно подсоединяться к системам контроля и управления производством.

В докладе **А.В. Баркова и П.П. Якобсона** (1.8.23) *"Corporate Systems for Machine and Equipment Condition Diagnostics"* показано, что присущие современным сис-

темам черты: многоканальность измерений, использование любой возможной информации, удаленный доступ к базе данных, выдача оперативной экспертной оценки и т.п., заложенные в системы ВАСТ, позволяют успешно их использовать широкому кругу специалистов.

Большой интерес вызвал доклад **М.П. Козочкина** (1.8.25) *"On-line vibration-based diagnostics of the production process"*, в котором всесторонне исследована связь вибрационных процессов и процессов резания в станках, и продемонстрирована возможность оптимизации за счет использования обратной связи этих процессов и функционирования используемого инструмента.

В докладе 1.8.5 *"Application of vibration diagnostics in evaluating industrial safety of compressors"*, представленном **Р.В. Жуковым** (соавторы **В.М. Давыдов, В.В. Гриб, М.В. Корольков**), показана важность и успешность применения вибродиагностического подхода на предприятиях с компрессорным оборудованием и взрывоопасным производством. Разработанная математическая модель позволила предложить не только эффективные алгоритмы диагностики, но и уточнения к действующим нормам.

Так, в докладе 1.8.15 *"Rolling stock vibration diagnostics experience on russian railways"* **А.Ю. Азовцева** (соавторы **Н.А. Баркова и С.Г. Дегтерёв**) был описан опыт применения нового поколения систем вибромониторинга и диагностики ассоциации ВАСТ на железнодорожном транспорте. Представлены специфические трудности, возникающие при диагностировании и положительные результаты их преодоления.

В докладе **А.П. Науменко** (1.5.8) *"Vibroacoustic Diagnostics and Real-Time Condition Monitoring of Reciprocating Machines"* был представлен алгоритм диагностики в реальном масштабе времени машин вращательно-поступательного действия и его практическое применение в системе мониторинга и диагностики COMPACS для обнаружения более чем 20 дефектов с определением степени их развития.

В докладе (1.8.6) *"Application of Full Spectrums and other Vibration Two-Dimensional Characteristics for Gas Transportation Units Condition Monitoring"* **Ф.Я. Балицкого и А.Г. Соколовой** описывалось успешное применение так называемых полных спектров, предложенных специалистами Bently Nevada Co. как дополнительного мощного инструмента для диагностики состояния таких сложных агрегатов, как газотурбинные установки по сигналам датчиков относительных вибросмещений.

Доклад 1.8.17 *"Experimental Characterization of Sensors for Elastic Guided Waves Based on 3D Laser Vibrometric Measurements and the Reciprocity Relation"*, представленный **Т. Виндишем** (Германия) в соавторстве с **Б. Кёле-**

ром и М. Бартом, показал результаты исследования использования трехмерных лазерных виброизмерений упругих волн, распространяющихся в среде с дефектными вкраплениями.

Резюмируя итоги работы секции, следует отметить, что после определенного спада в развитии вибродиагностического метода НК, который наблюдался во многих странах, в настоящее время возник положи-

тельный тренд. Появляются и развиваются новые подходы как в концепциях разработки систем мониторинга, диагностики и прогнозирования технического состояния, так и в методах и средствах диагностического анализа вибрационных процессов, что говорит о больших перспективах этого метода в сочетании с другими методами НК.

Секция 1.9. Компьютерная томография

Руководители секции: Геббельс Ю., Венгринович В.Л., Горшков В.А.

По программе на секции были представлены 31 секционный и 2 стендовых докладов, заявленные учеными из 8 стран. После работы руководители секции д-р J. Goebbels и проф. В.Л. Венгринович подвели итоги трех заседаний.

В докладах были представлены практически все основные современные направления рентгеновской томографии (28 докладов), а также волновой томографии (1 доклад), термографии (1) и ультразвуковой томографии (1). Из 28 докладов по рентгеновской томографии 27 посвящены трансмиссионной томографии, 1 – томографии на рассеянном излучении.

Большое внимание уделено томографической метрологии высокого разрешения (6 докладов). Ее применение в литейной и машиностроительной отраслях обеспечило возможность внедрения реверсных технологий, замкнув, по существу, производственную цепочку.

Доклады на конференции продемонстрировали дальнейшее эволюционное развитие компьютерной томографии за последнее пятилетие как в области математического обеспечения, так и аппаратной составляющей томографов.

Подводя итоги заседаний, д-р J. Goebbels указал на необходимость расширения работ по созданию современного математического обеспечения и выделил работы В.Л. Венгриновича (Беларусь) по созданию новых алгоритмов для компьютерной томографии и их реализации с применением суперкомпьютеров, а также работу 1.9.5 С. Хайнцеля и Й. Кастнера (Германия) по байесовской оценке достоверности реконструкции и фильтрации артефактов.

Интерес представляет двухэнергетическая томография, позволяющая визуализировать распределение эффективного атомного номера, представленная в докладе 1.9.15 М. Firsching, M. Salamon, P. Kessling, F. Nachtrab, M. Krumm, N. Uhlmann, R. Hanke (Германия) "Micro Structural Analysis of $AlSi_6Cu_4$ Using Quantitative Computed Tomography Methods" и в работе В. Венгриновича (1.9.1) "Iterative Industrial omography Intensified by Supercomputers" (Беларусь).



У. Эверт (Германия), В.Л. Венгринович (Беларусь)



В.А. Горшков, В.В. Ключев, К. Остерлох



В.В. Клюев, И.А. Вайнберг, Д. Нардони

В работах 1.9.8 О. Бранке, А. Саппеса, Р. Харрера, Х. Дегишера (Германия), 1.9.4 Й. Кастнера, Р. Кикинера, Д. Салабергера (Австрия) представлено широкое применение микрофокусных и нанофокусных рентгеновских трубок, позволяющих получать разрешение на томографических реконструкциях в 1 и даже 0,7 мкм, что перестало сегодня быть экзотикой. Такое высокое разрешение сделало компьютерную томографию весьма сильным конкурентом для тактильных и оптических измерительных систем внешних размеров объектов и абсолютным монополистом для метрологических измерений внутренних размеров объектов.

В докладе 1.9.2

E.I. Vaynberg, I.A. Vaynberg, S.G. Tsyganov, M.M. Sharov *"Experience of "Indintro" Company in Industrial X-Ray Tomography"* (Россия) были продемонстрированы возможности компьютерной томографии для относительно больших объектов. Благодаря высокоэнергетическому излучению (до 5 МэВ) диаметр стальных реконструируемых деталей составляет более 200 мм.



Ю. Геббельс

В докладе 1.9.13 **C. Sauerwein, V. Haemmerle, I. Tiseanu, L. Williams, R. Gaspers, F. Cern** *"Mobile CT-System for In-Situ Inspection in the Lhc at CERN"* (Швейцария, Германия) представлены мобильные компьютерные томографы, использованные для томографирования внутренней структуры объектов кольцевого европейского коллайдера.

Большой интерес вызвал доклад 1.9.31 **V.A. Gorshkov, V.M. Yumashev** *"Non-Collimated Scattered Radiation Tomography"* (Россия), в котором продемонстрированы экспериментальные реконструкции объектов на основе неколлимированного рассеянного излучения. Это показывает новые возможности изучения структуры объектов с односторонним доступом.

Общий вывод: продолжается развитие и расширение сфер применения компьютерной томографии по всем основным физическим методам НК.

Секция 1.10. Неразрушающий контроль средств транспорта

Руководители секции: Мартынов С.А., Туробов Б.В.

Научная программа секции состояла из докладов, посвященных разработке и применению методов и средств неразрушающего контроля на разных видах транспорта.

В работе секции приняли участие 22 секционных и 11 стендовых докладчиков, 13 докладчиков из Германии, Чехии, Франции, Словении, Канады, Молдавии, Великобритании и Китая, 9 докладчиков из России. Наибольшее внимание в докладах было уделено ультразвуковому методу НК в его различных применениях (9 докладов).

В докладе 1.10.1 *"Inspection Solutions for the Automotive Industry"* авторов **J. Reinersmann и P. Buschke** (Германия) была предложена экспертная система, рассчитанная даже на малоквалифицированных операторов, основанная на высококачественном УЗ-детекторе дефектов. Беспроводная передача данных открывает новые пути для регистрационных сетей.

В докладе 1.10.3 **N. Domingues, G. Ithurralde** *"Ultra-fast Ultrasonic Inspection for Aeronautical Composites Using Paintbrush Acquisitions and Data Processing on GPU"* (Франция) дано описание разработки, которая позволяет оптимально использовать параллельные ультразвуковые приборы для высокоскоростного сканирования обширных поверхностей.

В докладе 1.10.8 **H. Sackenreuther, C. Gerken, W. Hansen** *"Automated In-Production Rail-Axle Ultrasonic Test System"* (Германия) дано описание автоматизированной машины для контроля железнодорожных осей, использующей ультразвуковой метод. Благодаря гибкости система подходит для контроля осей разных типов, и она согласована с американскими и европейскими промышленными стандартами. Будучи многоканальной система обеспечивает высокую производительность.



Б.В. Туробов, С.А. Мартынов

В ряде докладов рассматривались вопросы применения других методов НК. Наиболее актуальны были доклады, посвященные контролю методом АЭ. Так, в докладе 1.10.7 Т. Kek, I. Polajnar, J. Grum *"Monitoring of Resistance Spot Welding by AE"* (Словения) приведены результаты исследования, проведенного со сварочным инвертером, который обычно используется при роботизированном контроле в автомобильной промышленности. Результаты исследования подтверждают возможность оценки процесса сварки, основанной на анализе длительности сигналов акустической эмиссии во время протекания тока при сварке мягких и прочных сталей элементов автомобильного кузова.

В.Ф. Тарабрин (Россия) представлены 2 доклада: *"Application of Satellite Global Positioning Technologies for Management of Track Infrastructure NDT/TD"* (1.10.23) и *"Automated Rail Traffic Safety Diagnostic Complex 'INTEGRAL'"* (1.10.28).

В докладах отмечается, что с помощью глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС/GPS и их корректирующих дифференциальных дополнений впервые в практике российских железных дорог может быть сформировано единое высокоточное координатное пространство и на его основе инфраструктура про-



В.Ф. Тарабрин

странственных данных российских железных дорог, которые будут служить обеспечению безопасности скоростного железнодорожного движения и мониторинга пространственных параметров железных дорог для принятия мер по предупреждению и устранению негативных процессов по состоянию пути.

Разработанный специалистами Группы компаний "ТВЕМА" диагностический комплекс "Интеграл", позволяющий регистрировать более 100 параметров состояния технических объектов инфраструктуры железной дороги, обеспечивает достоверную привязку информации к координате пути.

Задача глубокого комплексирования бесплатформенной инерциальной навигационной системы, ГЛОНАСС/GPS-приемника, а также датчика пути и скорости (ДПС) решена по оригинальному алгоритму. Сопоставление их данных позволяет осуществить взаимную коррекцию показаний и повысить точность привязки измеряемых параметров и обнаруженных дефектов к координате пути.

Ключевой проблемой для успешного применения спутниковых технологий на железных дорогах является создание единой системы цифрового координатного описания железнодорожных путей и объектов инфраструктуры.

Комплекс объединяет множество подсистем контроля, данные которых синхронизированы по единым географическим и путевым координатам. Диагностический комплекс оборудован автоматизированной системой георадиолокации земляного полотна и системой визуального обнаружения дефектов.

В докладе 1.10.29 *"EMA Testing of 'PROTON' Rocket Hull Thickness"* С.Г. Алексин, В.Т. Бобров, В.Н. Козлов, А.А. Самокрутов, В.Г. Шевалдыкин, В.В. Ивченко (Россия) сообщили о создании нового метода и аппаратуры



В.Т. Бобров, А.К. Гурвич, А.А. Марков



Я. Грум (Словения)



для контроля толщины обшивки и других деталей ракет-носителей. Отличительной особенностью ЭМА преобразования является возбуждение и прием сдвиговых ультразвуковых горизонтально-поляризованных волн с радиальной и линейной поляризацией и продольных волн в диапазоне рабочих частот от 2,5 до 5 МГц. Контроль изделий можно выполнять в любом

пространственном положении и с поверхности любой кривизны (выпуклой и вогнутой) с минимальным радиусом от 50 мм. ЭМА-толщиномер обеспечивает измерение толщины изделий из сплавов алюминия в диапазоне 0,5... 100 мм эхо-методом с дискретностью 0,01 мм в диапазоне толщин от 0,5 до 25 мм и 0,1 мм при измерении толщин более 25 мм.

В заслуживающем особого внимания стендовом докладе 1.10.45 *"Minilog 2, Data Logger, GPS Switch and DCVG Measuring Unit in a Single Device"* авторы **T. Weilekes, F. Horauf** (Германия) и **С. Мартынов** (Россия) дано описание новейшего многофункционального измерительного прибора для обследования подземных трубопроводов, параметров катодной защиты с учетом GPS-синхронизации, работающего в режимах DCVG/CIPS.

В стендовых докладах были также рассмотрены вопросы мониторинга и комплексной диагностики на электропоездах, автоматизации процессов контроля применительно к железнодорожным и водным транспортным средствам.

В целом темпы развития и объемы внедрения НК для транспорта увеличиваются.

Секция 1.11. НК трубопроводов

Руководители секции: **Коваленко А.Н., Ключев З.В., Барбиан О.**

В работе секции 1.11 было представлено 20 секционных и 4 стендовых доклада из Германии, Бразилии, Франции, России, Канады, Финляндии, Норвегии, Украины, Молдовы, Израиля, Великобритании и Южной Африки.

В докладе 1.11.1 **S. Falter, R. Prause, S. Unger, C. Breidenbach, A. Groos, U. Lorenzen, A. Koka, S. Nitsche, J. Schmelting, K. Deegen, E. Eufrasio, R. Pawelletz, P. Westeel, B. Bisiaux, F. Lesage, A. Noel** *"Practical Application of the Phased-array Technology with Paint-brush Evaluation for Seamless-tube Testing"* предложено использовать технологию фазовых акустических решеток для контроля цельнотянутых труб при модернизации существующих линий, а также при проектировании новых заводов-изготовителей труб, вместо используемой системы акустических датчиков.

В докладе 1.11.2 **A.N. Kovalenko** *"Ways to Improve Sensitivity Threshold of Magnetic Passable Flaw Detectors During Detection of Stress Corrosion Cracks"* предложены пути повышения чувствительности магнитного метода контроля стенок и сварных швов трубопроводов как внутритрубными, так и внешними магнитными многоканальными сканерами. Основным направлением является создание в стенке трубопровода магнитного поля, близкого к насыщению, и высокая степень его

однородности в зоне контроля, а также необходимая степень дискретизации распределения магнитного поля рассеяния.

В докладе 1.11.3 **S. Rigault, M. Moles** *"A New, Improved Pipeline AUT Girth Weld Inspection System"* рассмотрен вопрос контроля поперечных сварных швов с использованием технологии фазовых акустических решеток. Разработано новое программное обеспечение.

В докладе 1.11.4 **M. Ruha, J. Tanguy, P. Ukkonen, J.M. Tchilian** *"Qualification Work For The Pre & In Service"*



А.Н. Коваленко



З.В. Ключев, В. Крстели

Ultrasonic Examination of Auxiliary and Secondary Piping Welds of Olkiluoto 3 EPR™. Extension of Pre-Existing Qualification on Olkiluoto 1&2 Nuclear Power Plants" представлены результаты ультразвуковой экспертизы при непрерывном контроле сварных швов вспомогательного и вторичного трубопроводов на атомных электростанциях Olkiluoto 1 и 2 с использованием технологии фазовых акустических решеток.

В докладе 1.11.6 **An. Dubov, Al. Dubov** "*Magnetometric Diagnostics of Gas and Oil Pipelines*" предложено использовать метод "магнитной памяти металлов" для контроля распределения собственного магнитного поля заглубленного трубопровода и по аномальному распределению судить о наличии дефекта в стенке трубопровода, а при наличии доступа к трубопроводу можно получать картину распределения собственного магнитного поля трубы и по ней определять наличие магнитных аномалий.

В докладе 1.11.8 **V.V. Konnov, I.A. Kuts** "*Instrumental Complex "M1" for Contactless Diagnostics of Gas Pipelines*" предложена бесконтактная надземная экспертиза газопроводов, основанная на комбинированном применении электрометрической магнитометрической диагностики, при этом определяются глубина залегания трубопровода и состояние изоляции трубопровода.

В докладе 1.11.10 **N. Tatsakovych, O. Karpash, M. Karpash** "*New Method for Non-Destructive Evaluation of Impact Strength of Steel Pipelines*" предложен метод определения ударной вязкости металла трубопровода по методу Шарпи без разрушения металла трубопровода, который позволит решать задачи оперативного получения значений вязкости как характеристики фактического технического состояния стальных трубопро-



водов. Метод может быть использован для интегральной оценки состояния трубопровода при наличии экспериментальных зависимостей степени деградации стенок трубопровода от ударной вязкости.

В докладе 1.11.12 **V. Golev, A. Polevoy, O. Shcherbakov** "*System for Underwater Ultrasonic Testing of Trunk Pipelines "Skaruch-UW1"*" приведены технические характеристики системы для подводного ультразвукового испытания магистральных трубопроводов "skaruch-uw1".

В докладе 1.11.14 **A. Tkachenko, F. Isaenko, V. Kirijakov, A. Raldugin, V. Gavrev** "*Immersion Multi-Element Inclined Combined Transducer for the Control of Welded Seams of Big Diameter Pipes During the Manufacture*" предложено использовать комбинированные ультразвуковые преобразователи иммерсионного типа для контроля сварного продольного шва в процессе производства труб большого диаметра.

В докладе 1.11.16 **H. Willems, B. Jaskolla, T. Sickinger, O.A. Barbian, F. Niese** "*Advanced Possibilities for Corrosion Inspection of Gas Pipelines Using EMAT-Technology*" предложено использовать для внутритрубного контроля трубопроводов комбинацию методов: ЭМАТ, магнитный и электромагнитный. Основным недостатком является зазор между ЭМА преобразователем и поверхностью трубопровода — 1 мм.

В докладе 1.11.19 **P.J. Garland** "*The Importance of Non-Destructive Testing and Inspection of*" обзорный доклад о необходимости контроля трубопроводов в Южной Африке. Общий вывод: продолжается активное развитие различных методов НК для контроля трубопроводов.

Вывод: объем работ НК для трубопроводов будет увеличиваться как по комплексированию физических методов контроля, так и усовершенствованию и повышению производительности работы механических и информационно-компьютерных систем мониторинга.

Секция 1.12. Неразрушающий контроль в энергетике

Руководитель секции: Лунин В.П.



В.П. Лунин

Было представлено 13 секционных докладов и 3 стендовых. Из докладов, вызвавших наибольший интерес участников секции, можно выделить следующие.

В докладе 1.12.8 **M. Clossen, M. Opheys, H. Rauschenbach, M. Siegel** *"Advanced Ultrasonic Application for the Inspection of Turbine Components"* сотрудни-

ков фирмы SIEMENS Energy Service представлены несколько усовершенствованных механизированных инспекционных технологий, обеспечивающих надежный, в первую очередь ультразвуковой и вихретоковый, контроль турбинных лопаток и их оснований во время планово-предупредительных остановов. Эти технологии позволяют обнаруживать индикации от очень мелких дефектов, расположенных в пазах роторных турбин. Разработанная инженерами концепция анализа технического состояния наиболее механически напряженных компонентов турбин предполагает использование различных методов контроля (ультразвуковой, вихретоковый, магнитопорошковый, проникающих жидкостей) для комплексного обследования ответственных деталей с длительным хранением данных контроля.

Доклад 1.12.7 **L. Delannoy, J. Gibson, A. Koetz** *"Computed Radiography Plus Rhythm Software Platform for FAC Inspection in Nuclear Secondary Circuit"* посвящен организации и созданию системы слежения за состоянием коррозии элементов оборудования второго контура атомных электростанций. Эта система основана на данных цифровой радиографии. Рассмотрены вопро-

сы выделения наиболее значимых параметров в развитии коррозии для трубопроводов и сварных швов, записи и архивирования результатов контроля. Одна из проблем, которую необходимо решать при принятии решения, как совместить данные и мнение эксперта. Для этого может быть использована специально разработанная программа.



В.Г. Щербинский, В.Н. Данилов

Доклад 1.12.10 **J. Cermak, V. Chardome, E. Cruysweegs, M. Delaide, M. Plateau, F. Leemans** *"Experience Gained From Mechanized Ultrasonic Testing"* посвящен механизированному ультразвуковому контролю и его применению в атомной энергетике. Прогресс в компьютерных технологиях позволяет использовать компактные и легкие ультразвуковые установки, многоканальные или основанные на фазированных решетках, позволяющие проводить контроль даже в труднодоступных участках трубопроводов атомных электростанций. В презентации представлены примеры использования механизированного ультразвукового контроля на фирме ALARA, включая процесс сбора данных, передачи результатов анализа, оценки разрешающей способности, определения размеров обнаруженных дефектов, сопоставление цены и временных затрат при механизированном и ручном ультразвуковом контроле, основываясь на многолетнем опыте работы фирмы ALARA в атомной отрасли.

В целом можно сделать однозначное замечание — в энергетике НК должен развиваться ускоренными темпами, чтобы исключить дальнейшие катастрофы, подобные катастрофе на Саяно-Шушенской ГРЭС.



Секция 1.13. Неразрушающий контроль в металлургии и химической промышленности

Руководитель секции: Туробов Б.В.



Б.В. Туробов

В работе секции приняли участие 12 докладчиков.

Наибольшее внимание в докладах было уделено неразрушающему контролю сосудов высокого давления, трубопроводов, резервуаров в его различных применениях (9 докладов). Например, в докладе 1.13.1 *"Detection of Corrosion Damages in Vessels and Pipelines by Non-Destructive Methods"* на конкретных примерах

рассматриваются различные типы коррозии (общая, местная, точечная, межкристаллическая, коррозия под напряжением и т.п. в различных рабочих условиях) и методы выявления и оценки того или иного типа коррозии наиболее эффективным в конкретном случае методом неразрушающего контроля. Это позволяет избежать преждевременного технического обслуживания и выключать оборудование для ремонта только в соответствии с его фактическим состоянием.



В докладе 1.13.11 М. Sanami, А. Ardeshiri *"The Influence of Frequency on Ultrasonic Test of Nodular Cast Iron"* рассмотрены результаты исследования влияния частоты как эффективного параметра на результаты ультразвукового контроля. В соответствии с экспериментальными работами был предложен оптимальный диапазон частот для УЗК деталей из зернистого литого чугуна.

В докладе 1.13.2 V.A. Bobrov *"Reduction of Operational Risk of Vessels and Apparatus Intended for Application in Technological Installations of Chemical, Petrochemical and other Related Branches Using New Combined Non-Destructive Testing Methods and Means"* подробно изложены новые методики ультразвукового контроля сварных швов сосудов из коррозионно-стойкой стали и биметаллов. Длительный опыт использования этих методик на ОАО "Салаватнефтеоргсинтез" и других заводах показал высокую достоверность при обнаружении недопустимых дефектов.

Доклад 1.13.7 S.A. Paraev, V.A. Bobrov *"Efficiency of Application of Acoustic-Emission Testing Method for Risk Evaluation during Expert Examination of Industrial Safety of Equipment of Petrochemical Production Facilities"* посвящен исследованию возможности применения АЭ метода контроля для оценки риска оборудования нефтехимических производств. Зная связь между классом опасности источника АЭ и параметром экспоненциального распределения во времени внезапных отказов, можно прогнозировать время до первого отказа и оценивать остаточный ресурс работы опасного производственного объекта.



В других докладах рассматривались вопросы применения различных методов НК объектов металлургической и химической промышленности, в том числе и работающих в области низких температур, чему был посвящен доклад 1.13.12 **F. Bertocini, M. Raugi, F. Turcu** "*Application of Ultrasonic Guided Waves in the Field of Cryogenic Fluids*". В этом докладе описан ряд экспериментов, проведенных с магнитоотражательным датчиком для НК, направленным УЗ-излучением в диапазоне температур от -33 до -196 °С.

В заключение было предоставлено слово президенту Венгерского общества по неразрушающему контролю П. Трампусу. Он выступил с докладом "Первопричины необходимых условий проведения НК в процессе производства". В докладе автор дал описание индекса чувствительности развития трещины, показал практическое применение концепции этого индекса на различных примерах, разработанных для трубопроводов, сосудов под давлением и т.д.

Секция 1.14. МНК в гражданском строительстве

Руководители секции: **Бакунов А.С., Вигенхаузер Х.**

На секцию был представлен 31 доклад, из них 21 секционный и 10 стендовых из 14 стран.

Доклады были посвящены контролю в основном металлических и бетонных конструкций. Большая часть докладов была посвящена ультразвуковому методу неразрушающего контроля, далее магнитному и тепловому методам контроля.

Следует отметить совместные работы, выполненные и представленные специалистами из разных стран, такие как доклад 1.14.6 **De la Hasa A., Samokrutov A.A., Silin V.V., Spirova I.V.** "*Non-Destructive Inspection of Reinforced Concrete Structures Using Ultrasonic Tomograph A1040 MIRA*". Исследования проведены американскими специалистами с использованием прибора российского производства. Другой пример — это использование для исследования и анализа напряженного состояния подъемных механизмов на польских шахтах с помощью российского оборудования, работающего на методе магнитной памяти металлов, доклад **А. Дубова, А. Кашко, Д. Юрасека** "*Application of the Metal Magnetic Memory Method for Investigation and Analysis of Stressed States of Hoisting Mine Structure Bearing Rods*".

Доклад 1.14.16 **V. Pfister, V.A.M. Luparno, A. Tati, A. Tundo** "*A Statistical Study for The Correlation of Non Destructive Testing and Destructive Testing on Structures in Concrete*" показал достижения в области использования теплового метода контроля для мониторинга развития смещений и дефектов в строительных конструкциях.

Представитель Института исследования и контроля материалов в Веймаре (Германия) представил доклад 1.14.5 **M. Schickert, W. Hillger** "*Automated Ultrasonic Scanning and Imaging System for Application at Civil Structures*" по автоматизации ультразвукового контроля строительных конструкций из армированного бетона с представлением результатов в виде трехмерной графи-

ки. Комплексной оценке состояния бетонных перекрытий мостов был посвящен доклад американских ученых из Центра развития инфраструктуры и перевозок в Нью Джерси 1.14.11 **N. Gucunski, F. Romero, R. Feldmann, C. Rascoe, H. Parvardeh, S. Kruschwitz** "*Multi-Modal Condition Assessment Of Concrete Bridge Decks*". Доклад аспиранта из Южно-Уральского государственного университета (Россия) 1.14.13 **D.V. Cheboksarov** "*Risk Control and Adjustment for Operated Buildings and Constructions*" был посвящен оценке оставшегося срока жизни зданий и конструкций.

Значительный интерес присутствующих вызвали доклады 1.14.2 **E.S. Gorkunov, S.Yu. Mitropolskaya, S.M. Zadvorkin, L.S. Shershneva, D.I. Vichuzhanin, E.A. Tueva** "*Relationship Between Magnetic Characteristics of Controlled Rolling Tube Steel and its Structural Anisotropy, Internal Stresses and Damages*", 1.14.21. **Kujawinska M., Dymny G., Malowany K., Siwek B.** "*Hybrid Digital Image Correlation/Thermovision Method for Monitoring and Measurements of Displacement and Defects in Civil Engineering Structures*" (Poland).



В. Усачев (Лаборатория ТСНК)



Н.В. Яхонтов ("Акустические Контрольные Системы")

В докладе представлены результаты исследования, которые легли в основу программно-аппаратных средств диагностики и мониторинга перемещений поверхности инженерных объектов путем анализа пространственного оптического видеоизображения и термограммы. Метод основан на корреляционном анализе трех типов изображений в реальном времени. Приведены краткие технические характеристики технических и

программных средств и результаты экспериментальных исследований, показывающие эффективность предлагаемой технологии

1.14.18 Kh.M. Khanukhov "Normative – Methodological and Software-Technical Support of Complex Monitoring of Technical State of Buildings and Construction of Hazardous Production Facilities". В докладе представлены результаты исследования, которые легли в основу программно-технических средств комплексного мониторинга строительных объектов и конструкций для повышения их безопасности эксплуатации. Приведен краткий алгоритм работы предлагаемых программно-аппаратных средств мониторинга, описаны примеры практического применения и достигаемая эффективность от использования.

1.14.16 V.A.M. Luprano, V. Pfister and et "A Statistical Study for the Correlation of Non-Destructive Testing and Destructive Testing on Structures in Concrete". Приведены результаты и дан методологический подход к изучению совпадения результатов неразрушающего контроля и разрушающих испытаний на основе методов математической статистики.

Выводы: развитие средств НК и объемов продаж в гражданском строительстве с каждым годом увеличивается в связи с бурным развитием.

Секция 2: Антитеррористическая диагностика

Руководители секции: Ковалев А.В., Крстели В., Пушкина И.Ю.



А.В. Ковалев

На 10-й ЕКНК проблемы антитеррористической безопасности обсуждались на отдельной секции, где было представлено более 20 докладов.

Антитеррористический аспект безопасности, как и другие ее составляющие, основан на диагностике, являющейся техническим, методическим и интеллектуальным ее обеспечением. Определение антитеррористической диагностики как совокупности принципов, методов и средств предотвращения и предупреждения террористических актов и других криминальных проявлений, или другими словами — как активную составляющую технического обеспечения безопасности страны, общества и предотвращения терроризма, обуславливает необходимость и актуальность дальнейшего рассмотрения возможности методов неразрушающего контроля (НК) для создания аппаратных средств, предназначенных для предот-

вращения террористических актов и повышения безопасности общества.

Высокая информативность и широчайшие потенциальные возможности методов НК общеизвестны. Основные из них — радиационный, тепловой, визуальный (оптический) электромагнитный и другие лежат в основе широкого спектра технических средств, предназначенных для решения антитеррористических задач.

Перечисленные методы, с учетом современных технологий и технических решений, лежали в основе представленных на секции 2 докладов.

Доклады можно разделить по трем основным направлениям:

- Методы и средства поиска оружия, взрывчатых веществ (ВВ) и взрывных устройств (ВУ), наркотиков и контрабанды;
- Создание современных средств наблюдения и контроля в видимом, ближнем ИК и тепловизионном диапазонах длин волн;



В. Крстели

- Прочее оборудование и методы для решения антитеррористических задач.

Методы и средства поиска оружия, ВВ и ВУ

Эта тема являлась одной из главных. Практически в каждом докладе, при рассмотрении даже других задач, авторы предлагали свои варианты ее решения. Следует отметить, что в докладах предлагались аппаратные средства и методы решения настоящей задачи, основанные на различных физических методах. Так, в докладах 2.21 коллектива авторов, сделанных **М.Б. Лебедевым** "*Radiometric System for Inspection of Large-Scale Vehicles and Cargos u Dual Energy X-Ray Introsopes for Screening Baggage and Luggage of Air Passenges*", авторы предлагают диагностические комплексы, отличительной особенностью которых является использование нескольких независимых разноракурсных источников первичного излучения разной энергии, применение детектирующих систем высокой эффективности и разрешения, а также оригинального алгоритма и программного обеспечения. Такие комплексы обеспечивают исключение неконтролируемых зон в инспектируемых объектах, выявление с высокой достоверностью объектов поиска, определение их плотности и координат. Такие комплексы multifunctional и позволяют решать помимо антитеррористических задачи таможенного и пограничного контроля.

Решения задач поиска оружия и ВУ в различных объектах, в том числе и на теле человека под одеждой, в основе которых лежит использование терагерцового диапазона длин волн, предлагаются авторами в докладах 2.4 **А.В. Ковалева и В.И. Матвеева** "*Search Equipment Based on Electromagnetic Radiation of Terahertz Band*". В этой работе приводятся конкретные результаты экспериментальных исследований на созданной установке для контроля обуви пассажиров аэропортов.

В докладах 2.10 **Е.Е. Чиграя** "*Main Directions in the Study and Design of THz-Band Hardware*" и 2.11 **В.А. Трофимова** "*Method of Spectral Dynamics in THz and GHz Ranges of Frequencies for Problems of Counterterrorism*" предлагаются конкретные пути создания аппаратных средств для обнаружения скрытых под одеждой запрещенных предметов, оружия, ВВ и ВУ в стационарных условиях: аэропортах, контрольно-пропускных пунктах и т.п., а также на открытых пространствах на значительных расстояниях. Предлагаемые решения подтверждаются серьезными расчетными и экспериментальными результатами.

Весьма интересные и перспективные результаты исследований изложены в докладе 2.16 "*Non Destructive Testing with Micro- and Mm-Waves-Where we Are-Where we Go*" (Германия, докладчик **G. Dobmann**). Здесь предлагается техническое решение и оригинальный пакет программного обеспечения для построения различного типа поисково-досмотровых систем, работающих в гигагерцовом диапазоне длин волн.

Современные поисковые средства, основанные на методах интроскопии, и предназначенные для поиска ВВ и ВУ, дополняются в настоящее время другой техникой, в том числе основанной и на аналитических методах контроля. Так, в докладе 2.1 "*Capabilities of Multichannel Nano-Sensor Systems Designed for Explosives, Narcotics and Dangerous Substances Microquantities Detection*" (докладчик **А.О. Ивченко**) приводятся результаты научно-экспериментальных исследований по созданию на основе современных нанотехнологий нового многоканального сенсора. Применение такого сенсора при разработке перспективных систем обнаружения микроколичеств ВВ обеспечит повышение чувствительности такой аппаратуры, увеличение уровня достоверности получаемых результатов и возможность работы аппаратуры в селективном режиме. В докладе 2.15 "*Electronic Nose" Multisensor System for Explosive Materials Detection*" (**К.Е. Борисов и Ю.Н. Бур-**



И.Ю. Пушкина, Т. Сонневельд (Австралия)

викова) приведены результаты исследований по созданию портативной аппаратуры обнаружения микрочастиц взрывчатых веществ на предприятиях РОСАТОМА.

Средства наблюдения и контроля

В рамках настоящего направления были предложены ряд докладов, посвященных исследованиям и разработкам технических средств наблюдения (ТСН) и контроля, работающих в диапазоне длин волн от 3 до 15 мкм, и комбинированным системам, включающим тепловизионный канал, а также высокочувствительные ТВ-каналы на основе CCD-сенсоров высокого разрешения или комбинации ЭОП+CCD-матрица.

Современное состояние разработок таких новых средств наблюдения и контроля, их классификация, направления и перспективы развития представлены в докладе 2.12 *"New Development of Instruments for Terrorism Fighting Based on Introscopy Technique"* (А.А. Ковалев и А.В. Ковалев). В работе рассматриваются наблюдательные или поисково-досмотровые ТПС, которые занимают особое место при решении поисковых и досмотровых задач. Приводится информация о новых разработках носимых, мобильных, стационарных и размещаемых на носителях неохлаждаемых тепловизионных средств НПЦ "СПЕКТР-АТ". Наибольший интерес в представленной работе вызвали многоканальные наблюдательные и обзорно-поисковые системы. В таких системах в дополнение к тепловизионному могут быть реализованы следующие каналы: **лазерный локационный**, с рабочими диапазонами в пределах 780...940 или 1550 нм, **ближний ИК** (рабочие диапазоны 700...1000 и 1000...1700 нм), **телевизионный** (рабочий диапазон 350...700 нм со спектральными поддиапазонами шириной 20...50 нм, выделяемыми автоматически интерференционными фильтрами), **измерительный** (лазерный дальномер, рабочая длина волны 905 нм или 1.54 мкм) **вспомогательный** (для установки различных осветителей и ИК-прожекторов).

Объединение различных информационных каналов в одном модуле обеспечивает эффективную круглосуточную работу системы в целом.

В докладе 2.9 *"Optoelectronic Surveillance and Inspection Equipment"* А.О. Ивченко представлены результаты разработок различных оптико-электронных средств, работающих в диапазоне от 400 нм до 1,7 мкм и предназначенных для наблюдения и контроля, выявления телевизионных и оптических средств съема видеoinформации, обнаружения длиннофокусной оптики, приборов ночного видения и прицелов в "дуэльном" режиме. В работе приведены результаты исследований и испытаний разработанных в НПЦ "СПЕКТР-АТ" аппаратурных средств для локализации

мест скрыто расположенных микроминиатюрных телевизионных камер с входной апертурой менее 1 мм. Показаны возможности новой аппаратуры для обнаружения длиннофокусной оптики на расстоянии до 1 000 м.

Прочее оборудование и методы

Доклад 2.14 С. Boller, С.-М. Kuo *"Micro Aerial Vehicles and Robots as a Means for Non-Destructive Inspection"* (Germany) представлены результаты исследований и разработки ряда автономных роботизированных средств, предназначенных для решения широкого круга задач неразрушающего контроля и диагностики, в том числе в сложноступенных или опасных зонах. В докладе представлены разные варианты мало- и микрогабаритных наземных самодвижущихся интеллектуальных платформ, а также беспилотные малогабаритные носители, работающие как в автоматическом (GPS), так и в ручном режимах управления. Эти технические средства предлагается использовать и для решения антитеррористических задач, поскольку их оснащение аппаратурой наблюдения (телевизионные и тепловизионные), а также соответствующей аппаратурой съема речевой или электронной информации, обеспечит эффективное решение ряда задач борьбы с террором.

Два доклада 2.2 и 2.17 *"Experimental Studies of Parwise Combination of Detection Methods for Sources of Ionizing Radiation"* и *"Complexation of Three or More Methods of Radiation Sources Detection"*, сделанных В.Т. Минлигаревым и В.М. Кирилловым, были посвящены решению насущных задач борьбы с ядерным терроризмом. В работах показаны результаты теоретико-экспериментальных исследований по оптимальному комплексованию методов регистрации ионизирующего излучения и возможность создания многоканальных высокоэффективных средств обнаружения и локализации источников радиационного излучения в различных средах.

Стендовые доклады

Создание портативной рентгеновской системы контроля, представлено в докладе *"Flaw Detector on the Basis of Puls X-Ray Apparatus and Flat Detecting Panel of FlashScan 35 Type"* (А.А. Буклей и др.).

В докладах *"Implementation of Russian Developments in Structures of Law-Enforcement Authorities of Ukraine"* (О.В. Шиманович) и *"Main Results of Application of Instrumental Means of the Russian Production in Kazakhstan"* (В. Башев) приводятся основные результаты применения правоохранительными органами Украины и Казахстана аппаратурных средств и комплексов,

предназначенных для решения антитеррористических задач, производства НИИИИ МНПО "СПЕКТР" и НПЦ "СПЕКТР-АТ".

Доклады, вызвавшие наибольший интерес

2.9. Yu.N. Gavrish, I.Yu. Vahrushin, A.V. Pavlenko, Ya.A. Berdnikov, M.B. Lebedev, E.Yu. Usachev, A.N. Peredery, M.V. Safonov, I.V. Romanov *"Radiometric System for Inspection of Large-Scale Vehicles and Cargos"* (Russia).

В докладе представлены результаты исследований, которые легли в основу создания отечественного радиационного комплекса, предназначенного для контроля большегрузных автомобилей и контейнеров. Отличительной особенностью комплекса является использование трех независимых разноракурсных источников первичного излучения разной энергии, применение детектирующих систем высокой эффективности и разрешения, а также оригинального алгоритма и программного обеспечения. Отличительные особенности комплекса обеспечивают исключение неконтролируемых зон в инспектируемом объекте, выявление с высокой достоверностью объектов поиска, определяют их плотность и координаты

Высокие функциональные характеристики комплекса позволяют эффективно использовать его не только в процессе таможенного контроля, но и для ре-

шения широкого круга задач антитеррористической направленности.

2.14. C. Boller, C.-M. Kuo *"Micro Aerial Vehicles and Robots as a Means for Non-Destructive Inspection"* (Germany).

В докладе представлены результаты исследований и разработки ряда автономных роботизированных средств, предназначенных для решения широкого круга задач неразрушающего контроля и диагностики, в том числе в сложноступных или опасных зонах. В докладе представлены разные варианты мало- и микрогабаритных наземных самодвижущихся интеллектуальных платформ, а также беспилотные малогабаритные носители, работающие как в автоматическом (GPS), так и в ручном режимах управления. Предложенные технические решения отличаются оригинальностью, высокой степенью интеграции и наличием современного программного обеспечения. Предлагаемые технические средства могут использоваться и для решения антитеррористических задач. Оснащение таких средств средствами наблюдения (телевизионные и тепловизионные), а также соответствующей аппаратурой съема речевой или электронной информации обеспечит эффективное решение ряда задач борьбы и предотвращения террора.

В итоге можно сделать вывод, что для сохранения мира на земле антитеррористическая диагностика должна ускоренно развиваться по всем направлениям безопасности.

Секция 3. Экологическая диагностика

Руководитель секции: Бобров В.Т.



В.Т. Бобров

На заседании секции 3 "Экологическая диагностика" были представлены 9 секционных и 11 стендовых докладов.

Доклад 3.2 *"Space Means Of The Earth Monitoring"* (Космические средства мониторинга земли), *"Scientific and Technological Center of Space Monitoring of Earth, FSUE 'Russian Institute of Space Device Engineering'"* (Russia), представил член-кор. РАН Г.М. Чернявский,

отметивший, что затраты на космические программы только в 2009 г. составили: НАСА — \$8,6 млрд, ЕКА — \$5,3 млрд, Китай — \$3,1 млрд, Роскосмос — \$2,7 млрд, Япония — \$2,2 млрд, Индия — \$1,2 млрд. Мировой рынок производства спутников в 2009 — 2013 гг. составит

\$56,6 млрд (469 КА), а число запусков КА: в 2004 г. — 54, в 2006 г. — 66, в 2009 г. — 71.

Докладчик отметил, что дистанционное зондирование земли (ДЗЗ) проводится в интересах науки о Земле и решения мониторинговых задач в гидрометеорологии, для диагностики Земных объектов и явлений, в военной разведке. США, Европа, Япония, Китай, Индия исследуют Луну и все планеты Солнечной системы. Обсерватории Kepler, Hershel, Planck наблюдают за Вселенной. На геостационарных орбитах в интересах радиосвязи и телевидения функционируют более 5500 бортовых ретрансляторов. Пропускная способность спутниковой радиосвязи растет за счет увеличения числа транспондеров до 100, бортовой энергетики до 20 кВт, антенн до 30 м.

На орбиту выведен первый ГИСЗ Terra Star-1, который обеспечивает сопряжение со станциями сотовой



Г.М. Чернявский

связи. На низких орбитах функционируют десятки ИСЗ КС подвижной связи Orbcom, Iridium и Globalstar.

Основным средством координатно-временного обеспечения во всем мире служит американская GPS, в России разворачивается система ГЛОНАСС. Создается европейская спутниковая система "Galileo". В области спутниковой навигации проводятся работы в Китае, Японии, Индии. Группировка ДЗЗ — около 130 КА, включая КА с РСА.

Для решения мониторинговых задач функционируют: космические системы США, спутниковая метеоро-радиосистема Китая "Фэнъюнь", программа Канады на базе радиолокационного КА RADARSAT, космические аппараты Европы, Индии, России. Японией выведен на орбиту первый в мировой практике космический исследователь парникового эффекта. Германия развернула группировку из 5 КА с разрешением до 5 м.

Широко используются данные высокого и сверхвысокого пространственного разрешения (до 50 см) со спутников США, Франции, Индии, Израиля.

В задачи экологического мониторинга с использованием спутниковых средств входит наблюдение за военными конфликтами, предупреждение террористических проявлений, наркобизнеса, авариями на трубопроводах, других видах транспорта, промыслах и т.д., наблюдение за опасными природными явлениями (землетрясениями, цунами, наводнениями, вулканами и др.). В России эти задачи решаются:

- Всероссийским центром мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера МЧС;
- Гидрометцентром;
- средствами АВИАЛЕСООХРАНЫ;
- ведомственными и региональными центрами приема и обработки данных ДЗЗ.

Автор считает важным продолжение работ в области ДЗЗ на основе международной кооперации, разра-

ботки методов и средств ДЗЗ, совершенствования технических средств доставки диагностического оборудования и программного обеспечения для эффективной обработки и передачи получаемой информации заинтересованным структурам.

Доклад 3.3. Klyuev V.V., Bobrov V.T. "Problems of Improvement of Methods and Instrumental Support of Ecological Diagnostics" (Russia) представил акад. РАН В.В. Ключев, отметивший, что в основе доклада — книга, вышедшая под его редакцией, являющаяся вторым томом раздела "Экологическая безопасность" много-томного издания "Безопасность России". Докладчик сообщил, что в канун открытия конференции книга вышла в переводе на английский язык.

С учетом того, что потери от экологических чрезвычайных ситуаций более чем в два раза превосходят все остальное, самой актуальной, перспективной, наиболее трудоемкой и затратной является экологическая диагностика. Затраты на диагностирование и прогнозирование чрезвычайных ситуаций в десятки раз ниже, чем затраты, необходимые для ликвидации последствий аварий и катастроф, отметил автор доклада.

В докладе сформулированы основные проблемы и задачи экологической диагностики, дана характеристика используемых методов и средств прогнозирования землетрясений, обнаружения радиационных загрязнений окружающей среды, экологических исследований атмосферы, воды, почвы и биоты. В настоящее время для контроля выбросов газов, утечек тепла, пожаров, геотермальной активности и т.д. используется более 150 типов тепловизоров, радиометров, пирометров, термометров, линейных сканеров и другой аппаратуры. Многие задачи по определению влажности, дождей осадков, водно-солевого режима, водозапаса, снегового, ледового покрова и т.п. позволяют решить радиоволновые методы диагностики: радиометрический, радиолокационный, телевизионный, поляризационный, радиоголографический, резонансный, геометрический, временной.



М. Фарлей, В.В. Ключев, В. Крстели

Создано более 50 типов СВЧ диагностических экологических приборов — радиометров, радиолокаторов, микроволновых сканеров, радиовысотомеров, измерителей метеопараметров, георадаров и другой аппаратуры. Официально утверждено более 700 методик и технологий химического анализа атмосферного воздуха, атмосферных аэрозолей, осадков, промышленных выбросов, питьевой и морской воды. Для этого используются десятки методов газовой хроматографии, электрохимический, фотометрический, флуоресцентный, инфракрасный, ультрафиолетовый, атомно-эмиссионный, ЯМР, весовой, кондуктометрический и другие, на основе которых создаются сотни передвижных лабораторий и приборов.

С учетом того, что применяется более 250 типов газоанализаторов атмосферы, почвы и гидросферы химико-аналитическое направление экологической диагностики также является очень важным.

Проблема модернизации устаревшего оборудования должна решаться путем разработки новых методов и использования информационных технологий, восстановления и развития наземных сейсмических станций, систем дистанционного зондирования земли, аэрокосмического мониторинга и создания инфраструктуры для доступа пользователей к спутниковым данным.

В докладе 3.8 **О.Р. Иванов, V.E. Stepanov, A.S. Danilovich, B.V. Artemiev** *"Gamma-Imaging Systems For Ecological And Nuclear Environment Measurements"* (Russia) рассмотрена система гамма- для экологиче-

ского мониторинга и радиационной безопасности. Система выполнена в виде мобильного комплекса, предусмотрено исполнение для работы в подводном положении. С использованием системы созданы карты распределения источниками радиационного загрязнения.

Интересными и актуальными были доклады:

3.4. **Verbov V.V., Gordeev S.K., Lakaev V.S., Polski O.G.** *"Radiation Monitoring of Moscow"* (Russia);

3.5. **Voland V., Firsching M., Muller A., Mohr S., Schon T., Oeckl S., Schropfer S., Hess J., Habl M., Freitag J., Gruber R., Uhlmann N.** *"Computed Tomography (CT) System for Automatic Analysis of Ice Cores"* (Germany);

3.9. **Lomaev G.V., Ryabov Yu.G., Vakhitov R.N., Kuleshova D.S., Kamalova Yu.B., Nemtyrev E.V.** *"Local Pathogenic Geomagnetic Zones in Urbanized Environment: Problems of Detection, Calculation and Elimination"* (Russia);

3.11. **Smurov A.V.** *"Biological Methods of Ecological Diagnostics for Making Representative Predictions Related to Assessment of Stability in Ecosystem Processes and Environmental Quality for a Human Being"* (Russia);

3.12. **Popov A.A.** *"Long-term forecast of ecological safety"* (Russia).

В итоге делается общее заключение, что экологическая диагностика является самой сложной, самой дорогостоящей и самой перспективной задачей для НК и ТД.

Секция 4.1. Оценка остаточного ресурса

Руководители секции: **Вопилкин А.Х., Мишакин В.В.**

В ходе работы секции были заслушаны 16 докладов и рассмотрены 4 стендовых доклада. Был сделан ряд интересных докладов, посвященных построению принципов диагностики, созданию классификации видов и категорий дефектов тестовых объектов для создания эффективной системы неразрушающего контроля (НК). Рассматривались отдельные методы НК, используемые для оценки остаточного ресурса с помощью измерения физических характеристик поврежденного материала.

В докладе 4.1.1 **А.К. Gurvich, A.Kh. Vopilkin, A.G. Kazantsev** *"Defects — Flaw Detection — Quantitative Flaw Detection — High-Risk Facilities Service Life"* *"Срок службы оборудования повышенной опасности"* показано, что цель НК — это обеспечение надежности работы тестовых объектов при максимально допустимом сроке службы за счет своевременного устранения дефек-

тов. Предполагается, что введение средств количественной дефектоскопии в системе НК создаст основу для допуска к эксплуатации содержащего дефекты из-



В.В. Мишакин (слева) на стенде "АКС"



А.Х. Вopilкин

деления при условии поэтапного контроля состояния дефектной зоны изделия в течение его эксплуатации.

В докладе 4.1.2 V.V. Klyuev *"Residual Resource Diagnostics"* были приведены основные принципы диагностики остаточного ресурса. Докладчик подчеркнул, что при исследовании объекта диагностики необходимо изучать параметры деградации, параметры повреждения на микроуровне, макроуровне, наноуровне, параметры разрушения во времени, параметры отказа во времени. При изучении объекта необходимо определять показатели деградации, кинетику и механику деградации.

В докладе 4.1.3 L. Toth, P. Trampus *"The Roots of In-Service NDT Performance Requirements"* был определен и представлен индекс чувствительности к распространению трещины (ИЧРТ) конструктивных элементов квазистатически и циклически нагружаемых элементов, который позволил оценить надежность структурных элементов, имеющих дефекты в виде трещин, параметры которых измеряются средствами НК.

В докладе 4.1.7 M. Carboni, S. Beretta, S. Cantini *"A New Approach for the Definition of "Probability of Detection" Curves"* был предложен подход к определению кривых вероятности обнаружения дефектов в терминах отражающей области дефектов вместо

их линейных размеров при проведении ультразвукового контроля.

В докладе 4.1.5 Y.Y. Semin *"Study of Stress-Deformed State in Dents Area on the Wall of Vertical Steel Tanks"* приведены результаты расчета на прочность и стабильность стальных резервуаров, имеющих повреждения в виде вмятин, возникающих как в ходе сооружения так и при эксплуатации. Показано, что учет такого

В.А. Троицкий
(Украина)

В. Моргнер (Германия), Н.А. Махутов

рода повреждений имеет ключевое значение для оценки ресурса.

Подход с использованием ультразвукового и оптического методов НК для оценки усталостной поврежденности на ранних стадиях разрушения материалов элементов конструкций до образования макротрещины был сформулирован в докладе 4.1.8 V.V. Mishakin, F.M. Mitenkov, S.N. Pichkov *"Utilization of Non-Destructive Testing Methods for Assessment of Damage in Construction Materials at Early Stages of Destruction"*. Было рассмотрено влияние процесса накопления микроповрежденности и изменения кристаллографической текстуры на параметры распространения упругих волн и связь микропластических деформаций с разрушением материала. Предложен алгоритм оценки усталостной повреждаемости с помощью совместного применения акустического и оптического методов контроля.

В докладе 4.1.14 J. Schreiber, U. Cikalova *"Assessment of Fatigue Damage and Residual Life Time by Fractal Analysis of the Deformation Structure"* был представлен новый метод оценки остаточного ресурса деталей из магнитных материалов. Метод основан на фрактальном анализе шумов Баргаузена. Для деталей из ферритной



стали найдена характерная ступенчатая зависимость фрактальной размерности от отношения числа циклов нагружения к числу циклов до разрушения.

В докладе 4.1.9 **W.A. Abbasi, S. Rahman, M.J. Metala** *"NDE and Material Evaluation for Lifetime Assessment of Power Plant Components"* был дан подход для комплексной оценки состояния элементов энергетических установок, включающий как применение различных методов и средств обнаружения макродефектов, например теплового контроля, позволяющего на крупногабаритных объектах обнаруживать дефекты размерами около одного миллиметра, так и контроль механических свойств и структуры материала с помощью измерения микротвердости и микроструктурного анализа. Контроль механических свойств материала и микроструктурный анализ производится непосредственно на объекте. Данные, полученные методами НК, вводятся в компьютерную программу, позволяющую рассчитывать ресурс изделия в целом с учетом режимов обнаружения объекта.

В докладе 4.1.17 **W. Hillger, A. Szewieczek** *"Impact Detection in a Composite Tail Boom Structure With Ultrasonic*

Imaging and Guided Waves Techniques" показано использование волн Лэмба для определения мест разрушения на хвостовой балке вертолета, выполненной из композиционного материала. Представлены результаты обнаружения дефектов типа расслоений под обшивкой композиционного материала.

В докладе 4.1.22 **V.N. Dianov** *"The Concept of Improving the Reliability of Nondestructive Testing Equipment"* была предложена концепция повышения надежности аппаратуры неразрушающего контроля, основанная на введении нового свойства "бессбойность" (аналогично свойству "безотказность") и регистрации сбоев (скрытых дефектов) контактными и бесконтактными средствами. Сбойное состояние элементов аппаратуры регистрируется совокупностью информативных признаков (дополнительное электромагнитное излучение, образование микрорезонансных контуров, субгармонические колебания, смена фаз, задержка сигналов и ряд других).

В целом можно сделать вывод о стремительном развитии работ в НК по оценке остаточного ресурса и риска эксплуатации.

Секция 4.2. Характеристика материалов

Руководители секции: **Бобров В.Т., Розловенко С.Г., Мурашов В.В.**

На трех заседаниях секции "Характеристики материалов" было заслушано 16 секционных докладов представителей 7 стран — России, Бельгии, Болгарии, Германии, Украины, Франции и Туниса. На секции было представлено 10 стендовых докладов.

Большое количество докладов секции было посвящено вопросам определения свойств металлических и неметаллических материалов неразрушающими методами контроля. Вызвал интерес доклад из Германии о характеристиках микроструктуры титановых сплавов и ее изображении при помощи атомного акустического микроскопа (доклад 4.2.7 **S. Hirsekorn, J. Rabe, U. Rabe** *"Microstructure Characterization and Imaging in Titanium Alloys by Atomic Force Acoustic Microscopy"*) и доклад из Украины о новом методе определения механических свойств сталей с рассмотрением их микроструктуры (доклад 4.2.16 **M. Karpash, Y. Dotsenko, O. Karpash** *"New Methods for Mechanical Properties Evaluation of Steel Structures with Consideration of Its Microstructure"*).

Е.З. Коварская (Россия) сообщила об использовании частот собственных колебаний при неразрушающем контроле физико-механических свойств материа-

лов и изделий (доклад 4.2.10 **E.Z. Kovarskaya, I.B. Moskovenko** *"Utilization of Natural Oscillations Frequencies "NOF" in Non-Destructive Testing of Physical Mechanical Properties of Materials and Products"*) и Н. Никитина рассказала о новом перспективном методе измерения напряжений в конструкционных материалах (доклад 1.11.24 **N. Nikitina** *"Acoustoelasticity — a New Perspective Method For Measuring of Stress in Engineering*



С.Г. Розловенко (Молдова) и Г. Шнайдер (Германия)



Materials" (Russia)). Е. Niederleithinger из Германии доложил о интерферометрии кодовыми волнами (доклад 4.2.18 **Е. Niederleithinger, S. Stahler, T.-R. Nowak** "Detection of Subtle Changes in Materials by Coda Wave Interferometry").

Большой интерес вызвали доклады G. Pyka из Бельгии (доклад 4.2.19 **G. Pyka, G. Kerckhofs, S. Van Bael, M. Moesen, D. Loeckx, J. Schrooten, M. Wevers** "Non-Destructive Characterisation of the Influence of Surface Modification on the Morphology and Mechanical Behaviour of Rapid Prototyped Ti6Al4V Bone Tissue Engineering Scaffolds"), G. Mook из Германии (доклад 4.2.20 **G. Mook, J. Pohl** "Application of Lamb Waves and Impedance Spectroscopy for Structural Health Monitoring of Composite Materials"), В.М. Мацевитого из Украины (доклад 4.2.21 **V.M. Matsevyti, G.Ya. Bezlyudko** "Coercivity of Thermostrengthened Steel 14X17H2 After Forging and Repeated Loading"), S. Maalej из Туниса (доклад 4.2.22 **S. Maalej, Z. Lafhaj, M. Bouassida** "Micromechanical Assessment of Ultrasound Velocity in Entrained Air Cement Paste"), I. Solodov из Германии (доклад 4.2.23 **I. Solodov, D. Döring, M. Rheinfurth, G. Busse** "Ultrasonic NDT of In-Plane Stiffness Anisotropy in Metals And Composites"), **Э.С. Горкунов** (доклады 4.2.12 – 4.2.14).

Целью доклада G. Mook (доклад 4.2.20 **G. Mook, J. Pohl** "Application of Lamb Waves and Impedance Spectroscopy for Structural Health Monitoring of Composite Materials") были вопросы мониторинга состояния конструкций из углепластиков, где для обнаружения дефектов используются специальные сенсоры и актуаторы. Отмечено, что для изделий, изготовленных из углепластика, использование встроенных в материал или прикладываемых к поверхности изделия пьезокерамических элементов, является привлекательным методом при создании интеллектуальных материалов. В докладе рассмотрены различные подходы к вопросу



Г.Е. Нидерляйтингер
(Германия)

контроля состояния материала конструкции при использовании пьезокерамики: импедансная спектроскопия, при которой анализируются электрические сигналы пьезокерамики в зависимости от механических вибраций конструкции, и измерение характеристик волн Лэмба, причем пьезокерамика служит в пассивном варианте как приемник сигналов, вызываемых повреждающими

событиями, такими как разрушения при ударе конструкций из материалов, армированных волокном. Актуаторные пьезокерамики возбуждают волны Лэмба, которые принимаются распределенными в материале сенсорами в активной альтернативе таким образом, чтобы удаленные области объекта контроля могли бы быть рассмотрены выборочно.

G. Mook представил примеры оценки влияния различных факторов на результаты выявления ударных повреждений материала конструкции из углепластика с пьезокерамическими сенсорами и актуаторами, таких как изменение свойств электрических контактов, внешних механических нагрузок или деградации пьезокерамики.

Огромный интерес вызвал доклад А.А. Карабутова об исследованиях композитов лазерным контактным ультразвуком (доклад 4.2.26 **A.A. Karabutov, E.V. Savateeva, A.N. Zharinov, A.A.Jr. Karabutov, A.A. Filatov, S.A. Khizhnyak, V.V. Koshkin** "Contact Laser Ultrasonic Evaluation of Composites" (Russia)). Докладчик ввел новое понятие CLUE (от "contact laser ultrasonic evaluation"), что является, по мнению докладчика, но-



Д. Буассида (Тунис)



Корабейникова О.В., Муравьев В.В.



А.А. Карабутов и В.В. Мурашов на стенде МГУ им. Ломоносова

вым неразрушающим методом контроля. Собственно CLUE — это, как было заявлено, контактная лазерно-ультразвуковая структуроскопия. Метод основан на лазерном возбуждении широкополосных акустических сигналов в оптико-акустическом преобразователе, распространении акустических сигналов в материале детали или конструкции, пьезорегистрации обратно рассеянных на неоднородностях материала объекта контроля акустических сигналов и анализе зарегистрированных сигналов.

Преимущества CLUE: лазерное возбуждение ультразвука позволяет генерировать мощные и короткие УЗ-сигналы практически произвольной формы; длительность лазерного УЗ-импульса в несколько раз меньше, чем у пьезоэлектрического, что приводит к тому, что осевое разрешение при лазерно-ультразвуковом контроле в несколько раз превосходит разрешение при пьезоультразвуковом контроле при тех же глубинах контроля; амплитуда лазерного УЗ-импульса в десятки раз превосходит амплитуду пьезоэлектрического, полученного при той же мощности. В докладе была представлена структурная схема лазерного ультразвукового

дефектоскопа УДЛ-2М и показаны лазерно-ультразвуковые и пьезоультразвуковые изображения графито-эпоксидных композитов.

Представитель ФГУП "ВИАМ" А. Бойчук сделал доклад по вопросам совершенствования эхо-метода ультразвукового контроля полимерных композиционных материалов (ПКМ), в основном углепластиков (доклад 4.2.27 A.S. Generalov, M.A. Dalin, A.S. Boychuk "CFRP Inspection by Ultrasonic High-Frequency Pulse-Echo Method" (Russia)). Развитие технологий производства конструкций из ПКМ привело к тому, что на данный момент акустические свойства готовых конструкций из ПКМ не сильно отличаются от свойств металлических материалов, а современная аппаратура позволяет проводить высокочувствительный контроль деталей из ПКМ различной толщины (от 2,5 до 25 мм) с мертвыми зонами не более 0,2...0,7 мм.

В итоге можно сделать заключение, что все известные методы НК должны быть использованы более эффективно для определения характеристик материалов.

Секция 4.3. Нанотехнологии

Руководитель секции: Матвеев В.И.

Впервые в число самостоятельных секций была введена секция "Нанотехнологии". В программу секции было включено 12 секционных и 6 стендовых докладов, осветивших в целом состояние в области нанотехнологий и нанодиагностики. В докладе 4.3.2 "Non-Destructive Testing and Technical Diagnosis Aids of Nanoproducts" (Средства НК и ТД нанопродукции)

(В.В. Ключев, В.И. Матвеев) были отмечены определенные успехи в разработке новых возобновляемых источников энергии — солнечных элементов на основе нанотехнологий, энергосберегающих полупроводниковых источников света, противоизносных нанодисперсных составов, модифицированных наночастицами материалов с целью упрочнения, повышения каче-



Э.С. Горкунов, В.И. Матвеев

ства и защитных свойств и т.д. На основе нанотехнологий уже разработаны перспективные типы сенсоров, датчиков и преобразователей, которые можно использовать при создании приборов НК нового поколения, обладающих более высокими чувствительностью и разрешающей способностью. Изучение и мониторинг наночастиц и нанообразований производится в первую очередь с помощью сканирующих зондовых микроскопов, обеспечивающих визуализацию участков поверхности на нанометровом уровне с одновременным определением локальных физических свойств. Тем не менее, развиваются и другие физические методы нанодиагностики.

В докладе 4.3.5 **K. Indukaev, P. Ignatyev, A. Loparev, P. Osipov** "*MIM Laser Microscope as a New Insight into Nanomaterial Science*" как раз речь шла о развитии лазерной интерферометрии и разработке нового модуляционного интерференционного лазерного микроскопа, разрешающая способность которого позволяет исследовать современные наноструктуры и получать метрологически достоверную информацию об оптических и геометрических параметрах измеряемых объектов. Обработка интерферограмм и фазовой модуляции дает возможность при реконструкции фазы визуализировать мельчайшие детали фазового портрета, обеспечивая чувствительность на уровне 0,07 нм.

В докладе 4.3.7 **M.V. Kovalchuk, V.V. Kvardakov** "*Synchrotron Emission for Non-Destructive Testing and Nanodiagnosics*" дан анализ возможностей синхротронного излучения в целях нанодиагностики наногетероструктур, наномембран и других нанообразований.



В.А. Клименов

Ряд докладов 4.3.3 **V.E. Asadchikov, I.V. Kozhevnikov, B.S. Roshchin, Yu.O. Volkov, A.E. Muslimov** "Investigation of Nanoscale Profile of Dielectric Surfaces with the Use of X-Ray Scattering Technique", 4.3.6 **V.A. Klimenov, B.I. Kapranov, S.V. Chakhlov, D.S. Belkin, Yu.P. Sharkeev, Y.R. Kolobov** "*Visualization and Control of the Internal Structure of Nanocrystalline Titanium and Articles Thereof*" был посвящен развитию и применению радиационных методов и, прежде всего, рентгеновского излучения для НК-диэлектриков, полупроводниковых элементов и нанокристаллических материалов с нанометровым разрешением, что обеспечивается новыми возможностями современной рентгеновской техники, работающей в микрофокусном и нанофокусном режимах.

Доклад 4.3.18 **A.V. Bepalov, E.Yu. Usachev, A.C. Sigov** "*Complex Approach to Solutions of Failure Analyze Submicron Semiconductor Devices*" посвящен новой перспективной разработке – сканирующим нанотвердомером NANOSCAN-3D, позволяющим производить механические испытания наноструктур, выдавая результаты измерения нанотвердости, модуля упругости одновременно с визуализацией нанорельефа исследуемой поверхности. При использовании специальных зондов и кантилевера стало возможным определение параметров твердости искусственных алмазов.

В своем докладе 4.3.10 **P.A. Todua** "*Metrology and Standardization for Nanotechnologies*" кратко сообщил о существенных результатах руководимого им Центра: разработке современного метрологического лазерного измерителя наноперемещений, шаговых мерах для оценки и калибровки приборов нанодиагностики, новых стандартах и методических материалах.

Вывод по секции однозначен: наступил новый этап развития нанодиагностики на основе достигнутых результатов нанотехнологий.

Секция 4.4. Преобразователи и датчики

Руководитель секции: **Балицкий Ф.Я.**



Ф.Я. Балицкий

В процессе работы секции 4.4 на конференции были представлены доклады специалистов из США (1 доклад), Великобритании (1 доклад), Румынии (1 доклад), Молдовы (1 доклад) и России (3 доклада). Наибольший интерес вызвали следующие доклады.

Презентация работы, представленной профессором **В.И. Шашкиным** 4.4.3 *"Uncooled Planar Receivers Based on Semiconductor Devices for Millimeter-Wave Vision Systems"* (в соавторстве с **В.Р. Закамовым**), касалась полупроводниковых устройств для передачи — приема миллиметровых волн и применения таких устройств для получения изображения исследуемых образцов в высокочастотном диапазоне. Показаны результаты всестороннего исследования нескольких схем таких устройств для разных приложений.

С большим интересом аудиторией был принят доклад 4.4.5 проф. **Р. Гримберга** из Румынии (соавторы

А. Савин, Р. Стейгман) *"GPR — Electromagnetic Sensor Array Data Fusion"*, посвященный совместному использованию "низкочастотных" электромагнитных волн (метод электромагнитной индукции — ЕМІ) и "высокочастотных" электромагнитных волн (GPR — радар, просвечивающий почву) для поиска пластиковых антитанковых мин, укрытых слоем почвы. Разная глубина проникновения, разная разрешающая способность, и т.п. этих волн вкуче дают возможность поиска мин с очень большой степенью точности их обнаружения, в отличие от применяемых методов.

Доклад 4.4.10 *"Development of Magnetostrictive Sensor Technology for Guided Wave Examinations of Piping and Tubing"* проф. **С.А. Виноградова** (совместный с Дж. Леоном) показывает развитие технологии инспекции трубопроводов с применением направленных волн на основе магнестрикционных датчиков.

По результатам работы секции сделано заключение о необходимости усиления работ по созданию новых типов преобразователей для НК.

Секция 4.5. Моделирование, обработка сигналов, реконструкция изображений

Руководители секции: **Лунин В.П., Венгринович В.Л.**

Состоялось 16 секционных докладов и 7 стендовых. Из докладов, вызвавших наибольший интерес участников секции, можно выделить следующие.

В докладе 4.5.2 **F. Zhao, P. Mendonca, R. Kaucic** *"Minkowski-Functional Based Approach to Defect Detection"* (USA) представлен метод обнаружения дефектов алюминиевых слитков на радиографических изображениях, который использует значения функционалов Минковского как признаки. Продемонстрировано, как инвариантные свойства функционалов Минковского хорошо адаптируются под решение задачи обнаружения. Показан процесс обучения с



В.Л. Венгринович

применением случайных рядов Маркова и трехдиагональной обратной ковариационной матрицы, который приводит к компактному представлению образов дефектов на изображении. Новый подход с использованием комбинации характеристик площади и периметра, выраженных соответствующими функционалами Минковского, приводит к более качественному решению задачи. Результаты приведены для двумерных радиографических изображений и могут быть использованы для трехмерных снимков.

В докладе 4.5.3 **A. Lhemery, K. Jezzine, V. Baronian, S. Mahaut** *"Simulation Tools for Ultrasonic Guided Wave Inspection Methods"* (France) описан программный комплекс для моделирования задач контроля методом головных волн. Комплекс включает модуль конечно-элементного анализа различных мод волн (с блоком аналитического расчета некоторых характеристик), модуль излучения и приема преобразователем

этих мод, а также специальный конечно-элементный модуль для анализа процедуры отражения головных волн от неоднородности произвольной конфигурации. Для случая простых дефектов (например, плоских трещин, направленных перпендикулярно распространению волны) существует модуль аналитического расчета. Поскольку большинство головных волн по природе являются дисперсионными, контроль осуществляется в ограниченном частотном диапазоне, излучающий импульс задается в форме одночастотного сигнала, модулированного по амплитуде (в частности, по Гауссу).

Приведено несколько примеров использования разработанного моделирующего комплекса для стандартных классических задач контроля, и для более сложных комплексных задач, включающих изменения геометрической конфигурации объекта контроля и дефекты сложной формы и ориентации.

В докладе 4.5.8 **A. Deresch, G-R. Jaenisch, C. Bellon, A. Warrikhoff** "*Optimization of X-Ray Sources By Modeling*" (Germany) представлены результаты исследования, ориентированного на оптимизацию условий рентгеновского излучения для решения инспекционных задач методом моделирования. Используются табулированные энергетические спектры, зависящие от трех переменных: материала объекта контроля (его атомного номера), кинетической энергии электронов и излучаемой энергии. Разработанная модель включает задание некоторых технических параметров рентгеновской трубки, таких как подаваемое напряжение (в киловольтах), а также угла наклона объекта контроля (для учета явления абсорбции в нем) и такого радиографического параметра, как коэффициент фильтрации. Обоснованность разработанной модели подтверждена экспериментальным путем.

В докладе 4.5.22 **F. Jenson, S. Mahaut, C. Calmon, C. Poidevin** "*Simulation Based Pod Evaluation of NDI Techniques*" (France) основное внимание уделено роли моделирования в оценке вероятности обнаружения дефектов (Probability of Detection-POD), в первую очередь, для решения задач контроля методом вихревых токов и ультразвуковым методом. Что дает значительное сокращение времени по сравнению с использова-

нием большого количества экспериментов с искусственными или естественными дефектами, а программный комплекс CIVA предназначен для построения кривых вероятности обнаружения дефектов для различных практических ситуаций.

Доклад 4.5.23. **M. Mayos, T. Sollier, M. Lambert, C. Gilles-Pascaud, O. Moreau, M. Dessendre, F. Deneuille, C. Reboud, F. Foucher, Q. Mistral, M. Debroise** "Multi-Domain Industrial Benchmarks for Eddy Current Modelling: The Cofrend Working Group" (France). Для анализа процедур вихретокового контроля разработано множество программных средств, которые различаются по реализованным в них математическим формулировкам и сложности описания как геометрии, так и электрофизических свойств комплектующих модель элементов. Предлагается выбор программ, прошедших проверку на решении задач из практики вихретокового контроля. С этой целью во Французском Обществе Неразрушающего контроля (COFREND) создана Рабочая группа, объединившая представителей основных пользователей от промышленности (атомная энергетика, авиация, металлургия), производителей аппаратуры неразрушающего контроля и другой измерительной техники, а также представителей высшей школы и программистов.

В качестве примеров представлено несколько тестовых задач.

- тонкая пластина из никелевого сплава с дефектами в форме канавок различной длины и глубины;
- дефекты различной формы в высверленных отверстиях;
- многоэлементный матричный преобразователь, охватывающий стержень из коррозионно-стойкой стали с дефектами;
- контроль ферромагнитной трубы изнутри методом удаленного поля;
- обнаружение дефектов в пластине с помощью абсолютного точечного датчика.

Рабочая группа готова предоставить тестовые задачи для мирового научного сообщества и разрабатывает интернет-сайт, на котором тестовые задачи (COFREND) будут доступны для пользователей.

Секция 5.1. Сертификация, квалификация и подготовка персонала

Руководители секции: Томпсон Дж., Батов Г.П., Волкова Н.Н., Муллин А.В.

9 июня 2010 г. в рамках 10-й Европейской конференции по неразрушающему контролю состоялось заседание секции 5.1 "Сертификация, квалификация и подготовка персонала". В работе секции участвовали представители России, Великобритании, Германии, Канады, Украины, Узбекистана, США, Бразилии, Бельгии, Финляндии. Было заслушано 16 докладов, представлено 4 стендовых доклада.

В начале работы присутствующие минутой молчания почтили память безвременно ушедшей из жизни Н.П. Бирюковой.



Е.В. Абрамова

Е.В. Абрамова (НУЦ "Качество") представила доклад на тему "Тепловой контроль в рамках системы обеспечения промышленной безопасности и энергетической эффективности объектов промышленности, жилого и общественного сектора. Опыт сертификации персонала по Российским и Европейским стандартам". В докладе отмечено, что тепловой контроль широко применяется во многих областях как промышленного, так и жилого

сектора. В связи с этим важным является вопрос подготовки и сертификации персонала, проводящего тепловой контроль. Подготовка может складываться из следующих частей:

- Теоретические основы

- Методологические основы
- Технология контроля
- Практическая подготовка
- Экзамен. Собеседование.

Для проведения теоретической части экзамена применяется компьютерная программа. Для улучшения качества подготовки осуществляется обратная связь со слушателями.

Майк Фарлей (Великобритания) представил доклад "Квалификация системы ультразвукового контроля внутренней поверхности переливных патрубков первичного трубопровода атомной станции". Объект контроля имеет очень сложную геометрию, кроме того, зоны контроля являются труднодоступными. Предусмотрены две зоны контроля: патрубки петли охлаждения первичного трубопровода (LEP) и патрубки ввода бора (RIB). Квалификация проводится на основе требований французского кода RSE-M (Правила по проведению инспекции во время эксплуатации механических компонентов атомных станций). Квалификация подразделяется на три типа: условная, общая и специфическая. Для рассматриваемого случая применяется общая квалификация. При этом обнаружение дефектов, определение их местоположения и типов проводятся на основе технического подтверждения и практического контроля. При контроле выявляются дефекты типа термических усталостных трещин, ориентированных в радиальном или осевом направлении относительно патрубка, расположенных на внутренней поверхности патрубка и соединении патрубка с трубой, размером примерно 60 мм (длина) × 12 мм (глубина). В докладе представлены технологии контроля, типы преобразователей на фазиро-



Н.Н. Волкова, Д. Нардони



М. Фарлей (Великобритания)



Дж. Томпсон



Е. Азизова (Узбекистан), С. Маммадов (Азербайджан)

ванной решетке, обеспечивающие высокую надежность и выявляемость дефектов.

Е.А. Азизова (Узбекистан) представила доклад *"Гармонизация системы неразрушающего контроля в Узбекистане с требованиями международных стандартов"*. В докладе представлена структура Системы неразрушающего контроля в Узбекистане, которая функционирует в рамках действия надзорного органа "Саноат-КонТехНазорат" и органа по стандартизации "УзСтандарт". С целью координации деятельности создан Координационный совет. Система устанавливает, что лаборатории неразрушающего контроля должны быть аккредитованы на соответствие ISO 17025, а персонал — на соответствие EN 473. Обозначены проблемы — отсутствие национальных производителей оборудования и материалов для неразрушающего контроля и сложности с ввозом такого оборудования из-за рубежа.

К. Ньютон (Великобритания) представил доклад *"Преимущества и ограничения взаимосвязи нужд производства с академическими исследованиями"*. В 2003 г. в Великобритании был основан исследовательский центр по неразрушающему контролю (RCNDE), призванный объединить научные исследования с реальными потребностями промышленности. Авиакосмический комплекс, нефтяная и газовая промышленность, тепловая и атомная энергетика стали первыми отраслями промышленности, объединившими свои усилия с научными учреждениями. Одной из задач RCNDE является определение степени проработки технологии по неразрушающему контролю с использованием системы "Уровень Готовности Технологии (TRL)". Данная система позволяет определить все аспекты новой технологии перед ее воплощением в коммерческий продукт или процесс. В докладе приведены примеры применения системы для различных объектов.

Б.И. Капранов (Россия) представил доклад *"Построение системы научных исследований и подготовки*

кадров мирового уровня в области неразрушающего контроля на базе Центра опережающей подготовки специалистов неразрушающего контроля Томского политехнического университета". В докладе представлены результаты развития Центра, оснащения новейшим оборудованием НК, нормативными документами как национальными, так и международными, успехи в кооперации с университетами Германии, Франции, Испании и Швеции по вопросам научных исследований и подготовки кадров.

А.Н. Дергачев (Россия) по поручению ОАО НТЦ "Промышленная безопасность" представил доклад *"Подтверждение компетентности органов оценки соответствия в области неразрушающего контроля опасных производственных объектов"*. В докладе представлены результаты функционирования Системы неразрушающего контроля, нормативная и техническая база для ее создания, структура Системы. Отмечено, что Центральным органом Системы является ОАО "НТЦ "Промышленная безопасность". В докладе приведена интересная статистика по количеству независимых органов по аттестации персонала, лабораторий, средств и методических документов по неразрушающему контролю, распределению аттестованных специалистов по уровням, методам и объектам контроля, аттестованных лабораторий по годам, методам и объектам контроля. Еще раз подтверждено, что неразрушающий контроль является важным фактором обеспечения промышленной безопасности, повышается роль организационного обеспечения работ по неразрушающему контролю.

М.А. Мудров (Россия) представил доклад *"Статистика сертификации персонала неразрушающего контроля в Сибирском регионе"*. Региональный центр по сертификации образовательного учреждения высшего профессионального образования НИИ Интроскопии, созданный в 1992 г., проводил активную работу в Сибирском регионе по подготовке и аттестации персонала неразрушающего контроля. Распределение персонала по методам соответствует специфике отраслей промышленности в регионе.

В. Чарлом (Бельгия) представил доклад *"Квалификация ультразвукового контроля в соответствии с различными нормативными документами"*. В докладе представлены различные программы квалификации ультразвукового контроля, применяемые в мире с начала 90-х годов до нашего времени, такие как PISC, PDI, ENIQ, Round Robin тест, ASME BPV Code, Case 2235 и многие другие. Приведены интересные примеры. Представлены современные программы квалификации.

А.В. Муллин (Россия) представил доклад *"Российский и международный подходы к понятию "производст-*

венный сектор" при сертификации персонала неразрушающего контроля". ISO 9712 и EN 473 уделяют большое внимание четкому определению понятия "промышленный сектор" с целью унификации подхода к объектам контроля. Известно, что объекты контроля разделены на сектора продукции, такие как сварные швы, отливки, поковки, трубы, обработанные изделия, или их комбинация в промышленные мультисектора. Существующая Российская схема аттестации персонала определяет объект контроля как определенный тип технического устройства: котлы, сосуды под давлением, трубопроводы, резервуары, краны, лифты и т.д. В сумме это 55 объектов, т.е. 55 секторов. Такая ситуация создает большие проблемы как кандидату, так и органу по сертификации. Орган по сертификации должен иметь огромное количество экзаменационных образцов и вопросов для специального экзамена. Кандидат должен потратить много времени на сдачу экзамена. В докладе приведены пути оптимизации экзаменов.

В.И. Панин (Россия) представил доклад *"Особенности сертификации персонала неразрушающего контроля на больших малозаселенных территориях"*. В докладе приведены примеры дистанционного проведения квалификационных экзаменов с целью уменьшения финансовых расходов предприятия по командированию специалистов на большие расстояния для таких регионов, как Сибирь и Дальний Восток.

В.И. Радько (Украина) представил доклад *"Системы оценки квалификации персонала неразрушающего контроля в Украине"*. В настоящее время в Украине существует две схемы оценки компетентности персонала неразрушающего контроля: работодателем на разряды на основе ЕТКС (без сертификации работодателем) и независимая сертификация на уровне компетентности на соответствие "Классификатора профессий". Недостатком первой схемы является субъективный фактор при проведении экзаменов и зависимость от работодателя. До сих пор такая схема применяется в атомной промышленности, металлургии и железнодорожном транспорте, хотя в последнее время наблюдается тенденция сдвижения в сторону независимой сертификации. Независимая сертификация применяется как в добровольной, так и в обязательной областях. Процедуры сертификации в Украинских органах по сертификации во многом схожи с зарубежными и основаны на требованиях EN 473.

В докладе обсуждается вопрос необходимости применения в экзаменах Европейских норм или национальных нормативных документов. Данный вопрос должен решаться с учетом требований промышленности. Также отмечено, что для обеспечения полной не-

зависимости сертификации орган по сертификации должен иметь собственный экзаменационный центр, что также повысит уровень его компетентности.

Г.П. Батов (Россия) представил доклад *"Опыт работы в Системе добровольной сертификации персонала в области неразрушающего контроля и диагностики РОНКТД"*. Представлены результаты по подготовке и аттестации персонала в области оценки напряженно-деформированного состояния конструкций. Разработан курс "Определение напряженно-деформированного состояния", который включает в себя три раздела: 1) требования к специалистам I, II, III уровня квалификации, 2) программа подготовки, которая включает необходимый объем теоретических вопросов, программного обеспечения, методик расчетов, практических занятий по курсу, обзор нормативных и методических документов, 3) сборники экзаменационных вопросов общие и специальные, соответствующие 1-му, 2-му пунктам Программы. Для практического экзамена разработаны задания на замеры и расчеты НДС. По данной дисциплине сертифицировано более 100 человек.

А.К.В. Дойтч (Германия) представил доклад *"Оценка чистоты стали ультразвуковым методом в соответствии с SEP 1927 с применением ECHOGRAPH 1093"*. Представлен ряд приборов, которые производит фирма KARL DEUTSCH: ECHOGRAPH 1090 — широкое применение для ультразвукового контроля, ECHOGRAPH 1092, 1093, 1094 — для исследований и частных случаев. В докладе описан способ определения чистоты стали с применением специально созданного роботизированного комплекса. Комплекс позволяет проводить контроль образцов круглого или прямоугольного сечения в любом порядке. В начале работы производится проверка геометрических размеров образца, затем он помещается в иммерсионную ванну, в которой производится ультразвуковой контроль чистоты стали с обработкой результатов прибором ECHOGRAPH 1093. Данный метод обеспечивает высокую надежность и воспроизводимость результатов и соответствует требованиям спецификации SEP 1927.

М. Генис (США) представил доклад *"Обучение и подготовка по неразрушающему контролю по инженерным и инженерно-технологическим программам"*. Программы обучения разработаны в Дрексельском университете, штат Филадельфия, с целью удовлетворения требованиям рекомендаций ASNT. Курс обучения состоит из двух частей: основы неразрушающего контроля и практическое применение метода контроля с решением реальных задач. Интерес представляет дистанционное практическое обучение студентов. На экране компьютера создается интерактивная модель дефектоскопов USN 58L и USM 35X, а также открывает-

ся окно с изображением объекта контроля и процесса контроля. Студент с этого компьютера может управлять как самим контролем, так и дефектоскопом. В результате студент практически сам проводит контроль, находясь на удалении от реального объекта и дефектоскопа.

И.П. Белокур (Украина) представил доклад *"Управление профессиональной деятельностью персонала неразрушающего контроля"*. Авторы предложили при сертификации персонала вместо понятия производственный сектор или сектор продукции ввести производственные процессы, такие как нанесение покрытий, неразъемные соединения, изготовление и использование материалов, химический анализ, механические испытания, неразрушающий контроль. Такой подход позволит более точно соответствовать требованиям предприятий к оценке квалификации персонала, максимально приближенной к реальным производственным задачам. В докладе представлены структура управления знаниями и факторы мотивации персонала организаций.

И. Эйнав (Канада) представил доклад *"Обучение, подготовка, сертификация, как быть успешным"*. В докладе представлены различные пути и средства достижения успеха как в производственной, так и повседневной жизни.

В рамках секции были представлены 4 стендовых доклада, представляющих определенный интерес: Программно-аппаратный комплекс *"Аппарат для подготовки операторов оборудования по неразрушающему контролю"* **В.Е. Шатерников, Г.А. Дидин, А.В. Филинов, П.Г. Аракелов** (Россия); *"Подготовка специалистов в области технической диагностики"* **С.М. Колокольников, А.А. Дубов** (Россия); *"Сертификация специалистов неразрушающего контроля объектов железнодорожного транспорта в Ижевском Государственном техническом университете"* **В.В. Муравьев** (Россия); *"Квалификация инспекции при эксплуатации в Финляндии"* **Дж. Силанпаа, Т. Паккален, П. Укконен** (Финляндия).

Секция 5.2. Стандартизация

Руководители секции: **Муравская Н.П., Муллин А.В.**

На секции были представлены доклады специалистов из США, России и Казахстана.

В докладе 5.2.6 **V.T. Bobrov, V.N. Kozlov, V.M. Bobrenko, A.V. Gul'shin, G.N. Maiorov, A.L. Uglov** *Gost R 52889—2007 "Nondestructive Testing. Acoustic Method for Testing Tightening Force of Threaded Joints" General Requirements* изложены основы метода акустической тензометрии, применяемого для контроля усилий затяжки резьбовых соединений узлов энергетических установок в авиации, космической технике и других отраслях промышленности. Авторы показали, что в основе метода, как и всех акустических способов определения напряженного состояния, лежит акустоупругий эффект — линейная зависимость скорости распространения упругих ультразвуковых (УЗ) волн (продольных, сдвиговых, поверхностных — волн Рэлея), от напряжений в материале контролируемой детали. В докладе сообщается, что на основе многолетних исследований и успешного использования акустического метода и аппаратуры для контроля усилия затяжки резьбовых соединений при производстве жидкостных ракетных двигателей в ОАО "НПО Энергомаш им. акад. В.П. Глушко" разработан государственный стандарт ГОСТ Р 52889—2007 "Контроль неразрушающий акустический. Метод контроля усилия затяжки резьбовых соединений. Общие требования".

Стандарт устанавливает основные требования к порядку определения усилий и вызываемых ими одноосных механических напряжений растяжения, возникающих в материале болтов или шпилек при затяжке. Стандарт введен в действие с 01.01.2010 г. Регламентируемый стандартом метод может быть использован при пусконаладочных, ремонтных работах и в процессе эксплуатации на АЭС, ГЭС, ТЭС, а также в космическом машиностроении, нефтегазовой промышленности и других отраслях.



А.В. Муллин, Б.В. Артемьев, В.В. Клюев

Секция 5.3. Метрология

Руководители секции: Муравская Н.П., Муллин А.В.



Н.П. Муравская

На секции были представлены доклады, которые отражали проблемы в области метрологического обеспечения НК, создания средств поверки и калибровки приборов. Очень серьезно была проведена дискуссия о статусе стандартных

образцов, мер и контрольных образцов для различных методов контроля.

Большой интерес вызвал доклад 5.3.10 К. Hajek, S. Sikula, J. Bajer "Detailed Analysis of Impact-Echo Signals of Specimens with Nonlinear Effects" о применении нелинейного эффекта для обработки ударного эхо-сигнала.

Заседание ИСО ТК 135 "Неразрушающий контроль"

В период со 2 по 5 июня 2010 года проходило заседание ИСО ТК 135 "Неразрушающий контроль". На заседании присутствовало более 60 участников из 20 стран мира. На заседании был заслушан отчет Секретариата ИСО ТК 135 "Неразрушающий контроль", а также отчеты подкомитетов:

- Инфракрасная термография для неразрушающего контроля (ПК 8).
- Поверхностные методы (ПК 2).
- Методы течеискания (ПК 6).
- Радиационные методы (ПК 5).
- Классификация персонала (ПК 7).
- Акустико-эмиссионный контроль (ПК 9).
- Ультразвуковой контроль (ПК 3).

На заседаниях подкомитетов присутствовало от 30 до 40 участников. Каждый подкомитет доложил о работах по стандартизации, проведенных за последние 2–3 года, и представил планы по разработке новых стандартов и пересмотру действующих. Также были высказаны предложения по составу рабочих групп в рамках разработки новых стандартов в области акустической эмиссии, ультразвукового контроля. Особое внимание участников заседания ИСО ТК 135 было уделено вопросу квалификации и сертификации персонала в области НК. Было доложено о заседании рабочей группы ИСО в сентябре 2009 года в Мадриде о рассмотрении стандартов ЕН 473 и ИСО 9712. Было принято решение об объединении этих двух стандартов в один. Более подробную информацию можно получить на сайте ИСО (www.iso.org).



Выставка

Руководитель выставки приборов НК: **Клюев С.В.**

Выставка явилась самой представительной из проводившихся в России за последние 10 лет. В ней приняли участие 110 компаний из 16 стран мира — все ведущие фирмы Европы, США, Канады, Китая.

Аппаратура для ультразвукового (УЗ) контроля была представлена на большинстве стендов. Это дефектоскопы, толщиномеры, преобразователи, автоматизированные системы, сканеры. В основном демонстрировались традиционные приборы и системы.

Уже несколько лет прогресс в области традиционных средств ультразвукового контроля преимущественно идет в направлении улучшения эргономики приборов. Оборудование становится легче и удобнее в использовании, повышается его надежность. Дефектоскоп УД4-76 производства НПФ "Промприбор" формирует развертку В-скана с использованием преобразователя с датчиком пути. Новый толщиномер А1210 ("Акустические Контрольные Системы") с функцией А-скана позволяет проводить измерения через покрытие. НПЦ "Кропус" представил свою линейку оборудования, среди которого — дефектоскоп УСД-50, обладающий всеми функциями по полному документированию результатов контроля. Одно из преимуществ этого прибора — функция смены цвета фона и всех



С.В. Клюев

элементов экрана, позволяющая комфортно работать даже при прямом солнечном свете.

Все эти разработки, несомненно, облегчают работу оператора, а также снижают влияние человеческого фактора на результаты контроля.

Существенную часть выставки занимали новинки, в том числе приборы, использующие фазированные антенные решетки (ФАР).

Аппаратура, использующая ФАР для качания луча и фокусировки изображения, представлена на 10 стендах. Наиболее продвинутые и в то же время новые приборы компании Sonotron "Isonic -1009" на 64 канала и "Isonic — 2010" на 32 канала представлены на стенде ООО "МНПО Спектр". В них применены оригинальные алгоритмы обработки и представления результатов, они оснащены дополнительно обычными ультразвуковыми каналами, обеспечивающими большую гибкость. Приборы могут работать с матричными ПЭП.

На этом же стенде продемонстрирован уникальный прибор "Acoustic Eye", обеспечивающий внутритрубный дистанционный контроль на расстоянии до 100 м труб диаметром от 6 до 115 мм.

Единственной отечественной разработкой приборов с применением технологии ФАР, показанной на выставке, является прибор А1550 "IntroVisor" компании "Акустические Контрольные Системы". В нем впервые реализован алгоритм "мультисафт", позволяющий визуализировать профиль трещины.

Компания Imasonic представила новое поколение гибких решеток для ФАР. Они удобны для ручного контроля, имеют функцию коррекции поверхности объекта. Также делают решетки со случайным размещением элементов (ay, Compressed Sensing), в результате можно



В. Крстели, В.В. Клюев, открытие выставки





вдвое увеличивать эффективную апертуру решетки (а следовательно, и разрешение), не увеличивая числа элементов.

Компания Zetec показала систему "Dynarray Lite" с 64 каналами, расширяемую до 256 каналов, предназначенную для автоматизированного УЗК с применением до 8 ПЭП на ФАР. В ней реализовано автообразмеривание с наложением на данные УЗК. На стенде компании "НПЦ ЭХО+" продемонстрирована на реальном объекте система АУЗК "Авгур Т" для контроля тройников с накладками магистральных газопроводов. В ней впервые реализован алгоритм трехмерной голографии, позволивший получать сфокусированное изображение в сварном шве на расстоянии до 1 м. Эта же система обеспечивает высокопроизводительный контроль основного металла труб с высоким разрешением за счет применения алгоритма фронтальной голографии на

расстоянии до 2 м. Здесь показана система АУЗК для контроля основного металла труб без снятия изоляции, толщина которой может составлять до 8 мм.

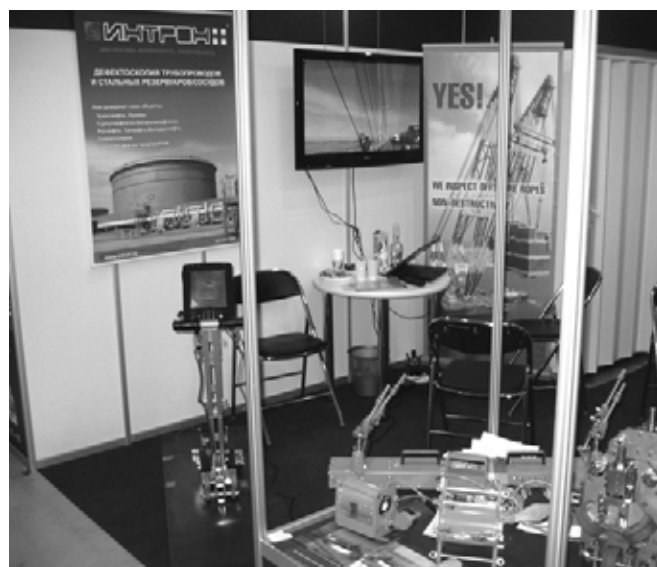
Привлек внимание роботизированный сканер "Scorpion DCP", показанный на стенде компании "Пергам", для контроля объектов больших размеров. Механизм перемещения с обрезиненными магнитными колесами + большой магнит, все колеса независимы, поэтому может поворачивать р/с датчик для толщинометрии с сухим контактом (во вращающемся колесе). Может заехать на высоту 50 м.

На стенде компании "Алтеc" продемонстрирован ультразвуковой дефектоскоп УИУ "Скаруч-ПВ1" для подводного контроля сварных соединений и основного металла с глубиной погружения до 60 м.

Основными производителями томографических систем являются фирмы Olympus ("OmniScan", "EPOCH" 1000), GE Sensing & Inspection Technologies ("Phasor"), HARFANG Microtechniques Inc. (X-32), а также "Акустические Контрольные Системы" (A1550 "IntroVisor", A1040 "Mira").

Благодаря применению новых алгоритмов обработки данных в обновленной версии высокочастотного томографа A1550 "IntroVisor" для контроля металла значительно улучшилась визуализация дефектов. Кроме этого, в приборе реализована функция временной регулировки чувствительности для томографического режима. Низкочастотный томограф A1040 "Mira" для контроля бетона также был существенно доработан. В нем появился встроенный цветной дисплей, конструкция корпуса значительно облегчена.

На выставке были представлены автоматизированные системы контроля как протяженных объектов (рельсы, трубопроводы), так и сварных соединений.



Система "АВГУР-Т", разработанная НПЦ "ЭХО+", позволяет определять реальные размеры дефектов и строить их трехмерную визуализацию.

Компания "Акустические Контрольные Системы" представила свою разработку — сканер-дефектоскоп А2075 "SoNet", предназначенный для контроля основного металла тела трубы. Благодаря использованию электромагнито-акустического принципа возбуждения и приема ультразвуковых колебаний, в процессе работы не требуется применения контактной жидкости.

Также была представлена система волноводного контроля "WAVEMAKER G3" производства компании Guided Ultrasonics Ltd, Великобритания. Система предназначена для оценки коррозионного состояния трубопроводов. Благодаря использованию сложного программного обеспечения существует возможность классифицировать отраженные от дефектов сигналы.

НПК "Луч" (Россия) представила новый ультразвуковой толщиномер УТ-111.

Магнитные методы контроля на выставке были представлены в экспозициях более чем 30 отечественных и зарубежных компаний. ООО "АСК-Рентген" в качестве официального представителя фирмы Chemetall (Германия) предлагает расходные материалы для магнитопорошковой дефектоскопии торговых марок "ARDROX" и "OVERCHECK".

НПФ "АВЭК" поставляет обширный спектр продукции, в том числе по магнитному и магнитопорошковому контролю: магнитометры ИМП-6 и ИМАГ-400Ц для контроля остаточной намагниченности, ферритометры МФ-51НЦ и МФ-51ПЦ для контроля альфа-фазы в металле, а также ферритометры МК-1Ф, МК-2Ф и МК-3Ф. Также НПФ "АВЭК" в качестве официального представителя фирмы ITW Tiede GmbH (Германия) предлагает стационарные магнитопорошковые системы контроля, мобильные дефекто-

скопы, намагничивающие устройства, облучатели и расходные материалы для МПК.

ОАО "АВТОГАЗ" (Россия) демонстрировал различные магнитные сканеры для дефектоскопии трубопроводов, сосудов и резервуаров, а также магнитный дефектоскоп КОД 4М-1420.

Компания CGM (Италия) является производителем оборудования для МПК и предлагает большую номенклатуру стационарных дефектоскопов для различных отраслей промышленности, переносных намагничивающих устройств и дефектоскопов, порошков, концентратов, облучателей и тест-образцов.

Компания "Константа" занимается производством толщиномеров защитных покрытий, среди которых толщиномер "Константа К5", малогабаритный толщиномер "Константа К6", миниатюрный толщиномер "Константа МК4", толщиномер-карандаш "Константа М1". Компания предлагает электроискровые дефектоскопы серии "Корона", электроды и принадлежности к ним.

Компания EFER endoscopy (Франция) представила специальные эндоскопы, предназначенные для обнаружения дефектов деталей механического оборудования в процессе проведения магнитолюминесцентного неразрушающего контроля с использованием источника УФ-облучения. Эндоскопическая видеокамера "EASY" 600 оснащена традиционной механической системой управления дистальным концом и миниатюрным видеопроцессором, встроенным в рукоятку прибора. В сочетании с источником ультрафиолетового облучения "VEGA" 600 эта видеокамера является мощным средством для магнитолюминесцентного неразрушающего контроля.

Компания Electronic & Engineering co (Индия) производит под маркой "EECIFLUX" оборудование для МПК — стационарные и переносные дефектоскопы, намагничивающие устройства на постоянных и электромагнитах, УФ-облучатели и расходные материалы.

Компания Helling GMBH (Германия) предлагает широкий спектр оборудования и расходных материалов для МПК собственного производства. Помимо стационарных дефектоскопов и портативных намагничивающих устройств, особое внимание на стенде уделялось разнообразным УФ-осветителям: это карманные фонарики на светодиодах, мощные светодиодные и газоразрядные лампы с питанием от сети 220В, УФ-эндоскопы.

На стенде ООО "Интрон плюс" (Россия) демонстрировалось оборудование для магнитной дефектоскопии:

— магнитный дефектоскоп "ИНТРОС", предназначенный для НК стальных канатов лифтов, кранов, подвесных канатных дорог и фуникулеров, линий электропередачи и других объектов. Дефектоскоп од-



новременно измеряет относительную потерю сечения каната по металлу и выявляет наружные и внутренние локальные дефекты, например, обрывы проволок и прядей, пятна коррозии, места сварки проволок;

– дефектоскоп "ИНТРОКОР" М150, предназначенный для магнитного неразрушающего контроля стальных листов, стенок и днищ резервуаров, сосудов под давлением, а также других объектов из ферромагнитных конструкционных сталей. Дефектоскоп обнаруживает поражения внутренней и наружной поверхностей (точечную и общую коррозию, трещины, риски). Контроль может производиться через защитное покрытие, при этом определяется толщина покрытия.

Помимо своих разработок ООО "Инtron плюс" предлагает различные толщиномеры компании ElektroPhysik: магнитоотрывные толщиномеры карандашного и рычажного типов, магнитоиндукционные толщиномеры.

Компания Karl Deutsch (Германия) – производитель и поставщик оборудования и расходных материалов для МПК. В перечне производимого оборудования под маркой DEUTROPULS – электромагниты, стационарные и портативные намагничивающие устройства, УФ-облучатели на светодиодах и газоразрядных лампах, магнитометры, тест-образцы. Под маркой "Fluxa" компания производит магнитные порошки, суспензии и концентраты. Помимо этого, была представлена система для автоматического контроля чувствительности магнитофлуоресцентных суспензий.

НПЦ "Кропус" (Россия) представлял на выставке портативный импульсный коэрцитиметр КИМ-2М. НПЦ "Кропус" совместно с ДНТЦ "Дефектоскопия" и 13 ГНИИ Минобороны представил магнитопорошковый модульный дефектоскоп МД-М. Максимальный намагничивающий ток импульсного модуля до 5000 А. В дефектоскопе предусмотрено 30 ячеек памяти, в которых записываются и сохраняются параметры технологии контроля конкретных объектов. Значения параметров, записанных в ячейках памяти, при контроле



устанавливаются автоматически. Размагничивание осуществляется на основе скин-эффекта. В дополнение к собственным разработкам НПЦ "Кропус" предлагает оборудование фирмы Magnaflux: переносной дефектоскоп, постоянные магниты, электромагниты, а также магнитные порошки и суспензии.

ЗАО "Литас" предлагает магнитные порошки и суспензии фирмы Babb Co (Франция).

НПК "Луч" (Россия) представила новое оборудование для магнитопорошкового контроля – импульсное намагничивающее устройство УНН-2000/4000 (ток до 4000 А).

Промышленная ассоциация "МЕГА" занимается поставками оборудования для НК, в частности – продукции фирмы Parker (США): магнитные дефектоскопы и ручные электромагниты.

Группа партнерских компаний NDT TD предлагает портативные электроискровые дефектоскопы фирмы Elcometer – "Elcometer" 236, "Elcometer" 266 и набор датчиков к ним; магнитоиндукционные толщиномеры защитных покрытий фирмы Time Group Inc (Китай) TT211, TT212 и TT220; оборудование для МПК фирмы Magnaflux – специализированные стационарные и портативные дефектоскопы, ручные намагничивающие устройства на постоянных и электромагнитах, УФ-облучатели, тест-образцы, индикаторы магнитного поля, магнитометры, магнитные порошки и суспензии.

Ассоциация "ОКО" (Украина) демонстрировала на своем стенде магнитоиндукционные толщинометры TT211 и TT220 для измерения толщины немагнитных покрытий на магнитном металлическом основании, ручные намагничивающие устройства на электромагнитах (МД01-ПК) и постоянных магнитах.

ООО "ПАНАТЕСТ" (Россия) для МПК предлагает продукцию компании Western Instruments, в том числе, ручные электромагниты и постоянные магниты, катушки намагничивания, индикаторы магнитного поля.



ОАО "Пергам" (Россия) поставляет на российский рынок оборудование для сканирования труб и резервуаров фирмы SILVERWING (Великобритания), а именно, магнитные сканеры для днищ и крыш резервуаров с картографией коррозии — "Floormap VS2i", с детектированием коррозии MFL 2000, ручной мини-сканер с детектированием коррозии — "Handscan", и система сканирования труб наружным диаметром от 48 до 2400 мм — "Pipescan". Для МПК предлагаются портативные дефектоскопы и ручные электромагниты фирмы Parker, аналогичные продаваемым промышленной ассоциацией "МЕГА". Расходные материалы для МПК представлены порошками и суспензиями фирмы ELY (Великобритания).

Компания Pfinder Chemie (Германия) является производителем оборудования и расходных материалов для магнитопорошковой дефектоскопии и представляла на своем стенде линейку флуоресцентных магнитных концентраторов и суспензий, намагничивающих устройств и ультрафиолетовых облучателей.

Компания "Промприбор" (Россия) поставляет ручные намагничивающие устройства на электромагнитах (МД01-ПК) и постоянных магнитах (МД-4КМ, МД-4К, Унимаг), аналогичные тем, что предлагает Ассоциация "ОКО".

Группа компаний "Рентест" (Россия) предлагает электроискровые дефектоскопы, магнитные толщиномеры, структуроскопы, портативные намагничивающие устройства, ручные намагничивающие устройства на электромагнитах и на постоянных магнитах российских и зарубежных производителей, а также магнитные порошки и суспензии производства фирм Bycotest и Chemetall.

Компания Rozen (Нидерланды) представила магнитные инспекционные снаряды:

- снаряд для определения продольно ориентированных дефектов (AFD), позволяющий с высокой точностью обнаруживать и измерять такие узкие продольно ориентированные дефекты, как риски, трещины, задиры и ручейковая коррозия;

- снаряд для определения потери металла (CDP), являющийся на сегодняшний день самым малогабаритным на рынке, что особенно существенно для больших диаметров (от 16 дюймов и выше).

Компания SebaKMT (Германия) производит и поставляет высоковольтные электроискровые дефектоскопы для проверки качества изоляции энергетических кабелей, а также комплексных лабораторий для контроля кабелей.

Компания Sentinel (США) предлагает для МПК намагничивающие устройства, индикаторы поля, тест-образцы, УФ-облучатели, магнитные порошки и суспензии фирмы "Magnaflux".

НПФ "Специальные Научные Разработки" (Украина) демонстрировала магнитные структуроскопы серии КРМ-Ц, предназначенные для неразрушающего контроля механических свойств, напряженно-деформированного состояния и степени усталости по изменениям магнитной характеристики металла — коэрцитивной силы; магнитный анализатор КРМ-Ц-МА, предназначенный для измерения параметров петли гистерезиса — коэрцитивной силы, остаточной индукции, магнитной проницаемости, площади петли и релаксационных параметров. Также предлагаются магнитометры: магнитометр постоянных магнитных полей МТП, универсальный (измерение постоянных, переменных и импульсных магнитных полей) магнитометр МТУ-1 и трубный магнитометр МТТ для измерения остаточной намагниченности.

Фирмы, входящие в Ассоциацию "Спектр-групп" (Россия), производят и поставляют большую номенклатуру оборудования для магнитного, в том числе и магнитопорошкового контроля. Это магнитометры, толщиномеры, структуроскопы, электроискровые дефектоскопы, мобильные и ручные намагничивающие устройства, стандартные образцы для МПК, УФ-облучатели на светодиодах и газоразрядных лампах, оборудование для контроля магнитных суспензий. Помимо собственных разработок, ЗАО "НИИИН МНПО "Спектр" предлагает в качестве официального представителя расходные материалы для МПК производства фирмы Circle Systems (США) — магнитные порошки, концентраты и аэрозоли. Из новинок, показанных на стенде, необходимо отметить структуроскоп "МС-10", предназначенный для контроля напряженно-деформированного состояния металлоконструкций, изготовленных из ферромагнитной стали; электроискровый дефектоскоп "Крона-12", предназначенный для контроля изоляционного покрытия трубопроводов, мощный светодиодный УФ-фонарик "УФО-3-10", толщиномер покрытий "МТ-51НП", магнитометр дефектоскопический "МФ-23ИМ", комплект для магнитопорошковой дефектоскопии, состоящий из устройства намагничивающего на постоянных магнитах УН-5, стандартного образца, белой фоновой краски и аэрозоля с черной магнитной суспензией.

Для контроля качества защитных покрытий предлагаются электроискровые дефектоскопы фирмы BUCKLEY's "PHD 2-40" и "PHD 1-30". Для МПК предлагается продукция фирмы Helling GMBH — стационарные и мобильные дефектоскопы, ручные намагничивающие устройства, тест-образцы, магнитные порошки и суспензии.

Компания STARMANS electronics (Чехия) рекламировала установку для МПК колес поездов с автоматическим распознаванием дефектов "DIO5000", со-

стоящую из системы намагничивания и полива суспензии, УФ-облучателя, видеокамеры и компьютера со специальным программным обеспечением, позволяющим уменьшить шум получаемого изображения и затем определить местоположение дефектов.

На стенде компании TCK WIRE ROPE INSPECTION TECHNOLOGY CO (Китай) был представлен портативный магнитный дефектоскоп "ТСК" для контроля стальных тросов, способный выявлять внутренние и внешние трещины, коррозии, усталостные напряжения тросов и оценивать остаточную допустимую нагрузку, статус безопасности троса. Сенсорными элементами дефектоскопа являются элементы Dou, обладающие чувствительностью в 250 000 раз большей, чем чувствительность датчиков Холла. Благодаря внедрению новых чувствительных элементов, системы автокалибровки и системы шумоподавления удалось достичь высокой надежности контроля даже при скоростях до 30 м/с и зазоре между датчиками и тросом от 30 до 60 мм.

ЗАО "Тестрон" (Россия) предлагает магнитные порошки и суспензии фирмы Babb Co (Франция), а также разнообразные ручные намагничивающие устройства на постоянных и электромагнитах, магнитометры и индикаторы магнитного поля, тест-образцы.

Компания "Виматек" группы компаний "Юнитест" (Россия) представила большую номенклатуру оборудования для МПК как своего производства, так и фирм Helling GMBH, Magnaflux, Chemetall: портативные и стационарные магнитопорошковые дефектоскопы, ручные электромагнитные намагничивающие устройства, автоматизированные установки для магнитолуминесцентного контроля концов труб и колесных пар железнодорожных вагонов, тест-образцы, УФ-облучатели, расходные материалы.

Приборную технику по электромагнитному контролю представили такие известные фирмы, как GE (США), Zetec (США), Olympus (Англия), Ассоциация Spektr-Group (Россия), НТЦ "Кропус", ООО "Промприбор", ОАО "Панатест" и др. Выполняется на основе программно-управляемого встроенного микропроцессора. Информация представлена на графическом дисплее. Диапазон частот тока возбуждения вихретоковых преобразователей от единиц герц до нескольких мегагерц. Представляются приборы как переносные для ручного применения, так и стационарные для автоматического контроля. Процесс калибровки почти полностью автоматизирован. Способы обработки сигнала: амплитудно-фазовый, фазовый. В ряде приборов используются 3–4 рабочие частоты. Кривые изменения вектора выходных сигналов (годографы) представляются набором изображений на дисплее.

Среди действующих образцов электромагнитных средств НК можно выделить следующие универсальные приборы широкого применения:

– GE (General Electric) США – "Phasec 3", "Vector 22", которые используются для дефектоскопии и структуроскопии деталей и узлов авиации, ракетной техники. Приборы содержат набор вихретоковых преобразователей, в том числе, вращающихся для контроля отверстий. Способ обработки сигналов – фазовый. Выявляемые дефекты – трещины, коррозионные повреждения, раковины, неметаллические включения и т.д.

– Zetec (США) – MIZ-17ET – универсальный прибор широкого применения. Широко используется в авиационной, ракетной и других отраслях машиностроения для выявления трещин, коррозионных повреждений, раковин, утонений и т.д.; структуроскопии деталей и узлов. Комплектуется набором вихретоковых преобразователей. Измерения проводятся на нескольких частотах (от одной до четырех). Годографы отображаются на дисплее (на нескольких частотах одновременно).

– ЗАО "НИИИИ МНПО "Спектр" (Ассоциация "Спектр-групп", Россия, Москва) – ВД-90НП – вихретоковый дефектоскоп, предназначенный для обнаружения дефектов типа нарушений сплошности при контроле деталей и узлов машиностроения, авиационной техники, оборудования железнодорожного транспорта. Отличительной чертой данного дефектоскопа является универсальность, он позволяет работать как по грубым криволинейным поверхностям, выявляя дефекты от 0,3 мм, так и по гладким поверхностям ферромагнитных и немагнитных материалов, выявляя дефекты от 0,1 мм; ВД-41П – вихретоковый дефектоскоп для дефектоскопического контроля в автоматизированном режиме продукции черной и цветной металлургии широкой номенклатуры диаметров и марок сталей труб, прутков, проволоки; МТ-51НП и ВТ-51Н – приборы для измерения толщин покрытий различного назначения в диапазоне от 5 до 1250 мкм. Погрешность измерения $(0,03X+1)$ мкм, где X – измеряемая толщина покрытия.

– ООО "Промприбор" (Россия, Москва) – ВДЗ-71 – вихретоковый дефектоскоп широкого применения (авиация, машиностроение, оборудование ж/д транспорта, энергетика и др.).

– НПЦ "Кропус" (Россия) – "Вектор" – универсальный вихретоковый дефектоскоп для контроля ферромагнитных и неферромагнитных металлов. Применяется в авиации, машиностроении, при контроле оборудования ж/д транспорта.

Все большее распространение получает ЭМА (электромагнито-акустический) метод, позволяющий



измерять толщину (степень коррозии) металлоконструкций без зачистки, без контактной жидкости, через защитный слой краски и другие покрытия. Так, чешская компания STARMANS Electronics Ltd предложила целый ряд преобразователей для реализации ручного и автоматизированного контроля ЭМА-методом.



На стендах "МНПО Спектр" и Ассоциации "Спектр-Групп" было представлено большое количество приборов НК, использующих практически все физические методы диагностики. Наиболее интересными были "Акустический глаз" для экспресс-контроля качества труб малого диаметра и портативный вихретоковый дефектоскоп ВД-90НП, отличающийся высокой чувствительностью к обнаружению микротрещин под слоем изоляции при работе в диапазоне температур от -30 до $+50$ °С.

Большинство компаний ("Константа", НПЦ "Кропус", НПК "Луч", "Пергам", "Панатест" и др.) демонстрировали приборы комплексного контроля материалов и изделий с привлечением многих физических методов неразрушающего контроля: ультразвукового, вихретокового, магнитного и магнитопорошкового, теплового, визуального и т.д. Выбор главного метода и применение дополнительных приборов определяется спецификой объектов, необходимостью получения надежных и оптимальных результатов контроля. Широкое распространение при этом получают роботы-датчики с дистанционным управлением, что позволяет обследовать объекты значительной высоты без стремянок и лесов.

Широко на выставке были представлены рентгеновские методы неразрушающего контроля и оборудование для их осуществления. В экспозиции приняли участие около 30 отечественных и зарубежных компаний, предлагающих оборудование, компоненты и решения для таких приложений, как контроль материалов, изделий и сварных соединений; толщинометрия; сортировка минералов; безопасность; спектрометрия; контроль качества пищевых продуктов.

В области разработки и производства высоковольтных генераторов и рентгеновских аппаратов свою продукцию наряду с известными мировыми лидерами — ICM, YXLON, BALTEAU, GILARDONI, представили





отечественные компании — Spektr MSIA, "СИНТЕЗ", "ФЛЭШ ЭЛЕКТРОНИКС", "Лаборатория ТСНК", "СПЕКТРОФЛЭШ". Предлагаются мощные кабельные системы для работы в производственных условиях, переносные — для работы в нестационарных условиях, портативные — для специальных применений. Основными направлениями совершенствования оборудования данного класса являются: уменьшение размера фокусного пятна за счет использования новых типов рентгеновских трубок с целью улучшения параметров изображения и возможности работы с большим геометрическим увеличением; повышение стабильности параметров излучения; снижение массогабаритных параметров и увеличение КПД. Следует отметить появление на выставке компаний-производителей современных металлокерамических трубок — rtw (Germany) и Gulmay Limited (UK) для таких сфер применения, как аналитика, дефектоскопия, промышленный контроль, специальные приложения.

На экспозиции — традиционно большой выбор рентгеновских пленок с широким диапазоном чувствительности и усиливающих экранов — Foma, Kodak, Tasma, однако для решения многих задач потребитель все чаще обращает внимание на рентгеновские цифровые панельные детекторы на основе аморфного кремния. Они позволяют получать цифровые рентгеновские изображения в 14-битном формате практически мгновенно (без какой-либо промежуточной обработки), при высокой чувствительности (малая дозовая нагрузка на исследуемый объект) они имеют малые габариты и массу. На выставке были представлены панельные детекторы фирм Varian (USA), PerkinElmer (Germany), General Electric (USA). Отличительной особенностью детекторов PerkinElmer является возможность работы в диапазоне энергий от 20 кэВ до 15 МэВ, а панели General Electric имеют

увеличенную зону контроля. Применение панельных детекторов в основном сдерживает высокая цена, однако с каждым годом на рынке появляется все больше производителей в данном сегменте продукции (Samsung), что в конечном итоге скажется на их доступности.

Вместе с тем стоит отметить, что для спецприменений, например для построения мобильных комплексов в сфере безопасности (разминирование, поиск оружия и наркотиков) — фактор цены сегодня уже не является определяющим. Например, израильская компания Vidisco представила на выставке портативные системы "RayzorXPro" и "FlashXPro", состоящие из панельного детектора, импульсного рентгеновского аппарата, портативного компьютера и программного обеспечения обработки изображений. Следует заметить, что в России на этом сегменте рынка доминирует отечественная компания "Флэш электроникс", которая представила на выставке портативные комплексы серий "Шмель" и "Колибри", использующие как панельные, так и рентгеновско-телевизионные преобразователи. По таким характеристикам, как просвечивающая способность, масса, помехозащищенность, защита персонала от неисполь-



зуемого излучения, оборудование, предлагаемое "Флэш электроникс" превосходит аналоги Vidisco.

Была показана также новая модель рентгеновского микротомографа с программным обеспечением, позволяющим консолидировать получаемые томограммы с чертежами контролируемых деталей, импортируемыми из CAD-систем. Интересен ряд высокоэнергетических излучателей бетатронного типа на энергии от 2 до 8 МэВ, представленный ТПУ, г. Томск, в том числе мобильный источник, предназначенный для работы в полевых условиях.

Оборудование оптического контроля на выставке было представлено OLYMPUS (видеоскопы и системы IPLEX), французскими разработчиками и производителями EFER, ООО МНПО "Спектр". Видеоэндоскопы и системы были также представлены концерном GE Inspection Technologies.

Судя по представленным на выставке образцам, прогресс в развитии видеоэндоскопических систем в настоящее время наблюдается в области расширения набора пользовательских функций, повышения точности измерений размеров наблюдаемых объектов, а также в повышении удобства связи видеоэндоскопических систем с вычислительными средствами. Так, во многих представленных системах для переноса информации возможно использование стандартных карт памяти.

Описанные выше устройства представляют лишь малую часть наиболее запомнившихся экспонатов для ультразвукового контроля из более чем 1000 экспонатов, представленных на выставке. Благодаря международному формату мероприятия, его участники и гости имели возможность сравнить уровни развития отечественной и зарубежной техники.

Выставка отразила тенденции развития приборостроения: укрупнение фирм-производителей, концентрацию и глобализацию капитала. В выставке участвовало большое количество фирм по оказанию сервисных услуг на проведение комплексного неразрушающего контроля конкретных объектов.

По результатам выставки можно выделить три основных направления развития оборудования неразрушающего контроля. Во-первых, это совершенствование томографических систем, с каждым годом занимающих все большую долю рынка. Во-вторых, это создание и развитие систем автоматизированного контро-

ля. И, наконец, это совершенствование традиционных средств, таких как ультразвуковые дефектоскопы и толщиномеры.

В рамках выставки прошел конкурс инноваций. Международный комитет, в составе Б.В. Артемьев — Россия, Д. Гилберт — Великобритания, М. Дуглас — Канада, Н.П. Мигун — Беларусь, У. Эверт — Германия, присудил 6 дипломов инновационным разработкам, представленным на выставке.

1. Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Томский политехнический университет Научно-исследовательский институт интроскопии.

Малогабаритный бетатрон на энергию 2,5 МэВ для работы в полевых условиях (Small-size betatron for energy 2,5 MeV for field inspection).

2. ООО МНПО "Спектр"

Acoustic eye.

Система неразрушающего контроля внутреннего состояния труб теплообменников, парогенераторов и других промышленных объектов, имеющих в своем составе трубы небольшого диаметра.

(The system of nondestructive testing (NDT) of inside condition tubing of heat exchangers, steam generators and another industrial objects having tubes with little diameter.)

3. UNITEST GROUP.

Автоматизированный стенд вихретокового контроля колец подшипников "ВИСТКОН".

(The automated system eddy-current inspection of bearings rings "VISTKON").

4. Southwest Research Institute.

Магнитострикционные генераторы волноводных волн повышенной мощности.

High-Powered Magnetostrictive Transducers.

5. Лаборатория ТСНК.

"ШИЛО" — автоматизированная установка контроля кольцевых сварных швов в системе труба—трубная доска. ("SHILO" The system for testing of pipe-to-pipesheet welded joints).

6. АВГУР-Т — система для внешнего и внутреннего АУЗК сварных соединений и основного металла трубопроводов и тройников сварных с накладками.

(AUGUR-T — system for external and internal automated ultrasonic inspection of welded joints and basic metal of pipelines and welded tees with overlays).

Итоги работ по НК и ТД за период 1980–2010 гг. и перспективы развития до 2040 г.

В Москве 22–27 августа 1982 г. была впервые организована 10-я Международная конференция и выставка по НК, в которых принимали участие представители 31 страны, и было заслушано 313 докладов. Подготовка к этой конференции проходила с 1980 г., т.е. ровно 30 лет назад.

7–11 июня 2010 г. в Москве состоялась 10-я Европейская конференция по НК, в которой принимали участие представители уже 65 стран, и было заслушано 700 научных докладов, т.е. за 30 лет произошло удвоение как количества стран участников, так и количества обсуждаемых докладов. Одновременно происходит и аналогичный рост количества организаций, вовлеченных в НК в мире. Очень важно подвести итог развития НК на сегодняшний день и сформулировать новые задачи на последующие 30 лет. Проблемы техногенной, экологической, антитеррористической и медицинской безопасности, безусловно, требуют продолжения процесса глобализации НК и ТД в связи с усложнением и умножением проблем деградации городов и оборудования, усилением природных катаклизмов и разнообразных чрезвычайных происшествий.

Глобализация ТД и НК предусматривает прежде всего крупномасштабное увеличение количества диагностических операций и технологий, что, в свою очередь, требует глубоко интегрированной международной кооперации разработок и производства технических средств и информационных технологий.

По степени неизученности и непрогнозируемости в настоящее время на первом месте стоят проблемы экобезопасности, связанные с дорогостоящим мониторингом и непрерывным измерением тысяч диагностических параметров окружающей среды для научно обоснованного предсказания степени опасности природных аномалий: землетрясений, наводнений, пожаров, ураганов, радиационных и других загрязнений, газового состава воздуха, состояния флоры, фауны, водной среды и т.п.

Бурно развиваются методы и средства антитеррористической диагностики (миноискатели, рентгеновские флюороскопические и телевизионные системы, приборы ночного видения, криминалистические инфракрасные и ультрафиолетовые комплексы, наносекундные нейтронные и спектрометрические ядерно-физи-

ческие установки для контроля взрывчатых веществ и др.). Номенклатура приборов НК в этом направлении уже превышает 1000 типов.

При этом все четыре направления безопасности используют одни и те же физические и химические методы диагностирования, ставят перед собой идентичные цели развития: расширение диапазонов измерения в микро-, нано- и макрообластях, повышение чувствительности, точности, производительности, плотности хранения данных, использование всех видов излучений и эффектов, кремниевых и других микросхем, био- и нанотехнологий, квантовых вычислений, обработки многомерных сигналов и изображений и т.д.

Главным остается дальнейшая интеллектуализация диагностических операций, переход на обязательное определение остаточного ресурса и рисков эксплуатации технически и экологически опасных объектов, со-





П. Мазал (Чехия)



М. Йоханнес (ЮАР)



В. Крстели, П. Мазал, В.В. Клюев

ставление банков и баз данных дефектов, аварий, наблюдаемых объектов и их особенностей и связанных с ними статистических измерений физических полей и химического состава вещества. Необходимо развитие систем космического, авиационного, морского и автомобильного мониторинга, минимизация влияния обслуживающего персонала на принятие конечного решения, а также применение полного спектра методов и средств НК и ТД.

В настоящее время номенклатура приборов НК и ТД по каждому из направлений техногенной, антитеррористической и экологической безопасности превышает 1000 типов приборов, а если учесть средства медицинской диагностики, то необходимо иметь около

5000 типов диагностических устройств контроля для обеспечения безопасности страны. При этом следует одновременно решать проблемы автоматизации мониторинга и обработки многомерных сигналов, получаемых от десятков тысяч контролируемых технических параметров, сотен применяемых физических способов и методов по всему диапазону спектров излучения. Так что объем предстоящих работ в области НК и ТД соответствует значению и величине проблемы безопасности жизни человека и общества в XXI веке. Следует ожидать, что через 30 лет (к 2040 г.) должно произойти удвоение и номенклатуры (в том числе, диагностических комплексов с определением остаточного ресурса) и объема внедрения НК и ТД на опасных объектах и операциях.

Всемирные конференции по НК

Конференция	Дата	Место проведения	Президент
1-я Всемирная конференция по НК	23 – 28 мая 1955 г.	Брюссель, Бельгия	Проф. Дж. Хомс
2-я Всемирная конференция по НК	3 – 8 ноября 1957 г.	Чикаго, США	Дж. Тенни
3-я Всемирная конференция по НК	16 – 21 марта 1960 г.	Токио, Япония	Др. Х. Кихара
4-я Всемирная конференция по НК	9 – 13 сентября, 1963 г.	Лондон, Великобритания	Др. М.Х.Н. Пембертон
5-я Всемирная конференция по НК	22 – 26 мая, 1967 г.	Монреаль, Канада	Проф. М.В.Ф. Хаверкрофт
6-я Всемирная конференция по НК	1 – 5 июня, 1970 г.	Ганновер, Германия	В. Хаук
7-я Всемирная конференция по НК	4 – 8 июня, 1973 г.	Варшава, Польша	Проф. З. Павловский
8-я Всемирная конференция по НК	6 – 11 сентября, 1976 г.	Канн, Франция	П. Бастьен
9-я Всемирная конференция по НК	18 – 23 ноября, 1976 г.	Мельбурн, Австралия	Л.С. Хёд
10-я Всемирная конференция по НК	23 – 27 августа, 1982 г.	Москва, СССР	М.Н. Михеев
11-я Всемирная конференция по НК	3 – 8 ноября, 1985 г.	Лас-Вегас, США	Дж. К. Аман
12-я Всемирная конференция по НК	23 – 28 апреля, 1989 г.	Амстердам, Нидерланды	Г. ванн Дийк
13-я Всемирная конференция по НК	18 – 23 октября, 1992 г.	Сан Пауло, Бразилия	К. Халлаи мл.
14-я Всемирная конференция по НК	8 – 13 декабря, 1996 г.	Дели, Индия	Др. Б. Радж
15-я Всемирная конференция по НК	19 – 24 октября, 2000 г.	Рим, Италия	Дж. Нардони
16-я Всемирная конференция по НК	30 августа – 3 сентября, 2004 г.	Монреаль, Канада	Др. Д. Маршалл
17-я Всемирная конференция по НК	25 – 28 октября, 2008 г.	Шанхай, Китай	Проф. Гэн. Ронгшен
18-я Всемирная конференция по НК	18 – 20 апреля, 2012 г.	Дурбан, ЮАР	М. Йоханнес

Европейские конференции по НК

Конференция	Дата	Место проведения	Президент
1-я Европейская конференция по НК	24 – 26 апреля, 1978 г.	Майнц, Германия	Др. Г.-Й. Копинек
2-я Европейская конференция по НК	14 – 16 июля, 1981 г.	Вена, Австрия	Э. Крайнер
3-я Европейская конференция по НК	15 – 18 октября, 1984 г.	Флоренция, Италия	Др. Дж. Нардони
4-я Европейская конференция по НК	13 – 17 сентября, 1987 г.	Лондон, Великобритания	Др. Дж. Оутс
5-я Европейская конференция по НК	Не состоялась из-за военных действий. Сараево, Югославия		
6-я Европейская конференция по НК	24 – 28 октября, 1994 г.	Найс, Франция	Р. Рош
7-я Европейская конференция по НК	26 – 29 ноября, 1998 г.	Копенгаген, Дания	Др. Б. Ларсен
8-я Европейская конференция по НК	17 – 21 июня, 2002 г.	Барселона, Испания	Е. Ромеро
9-я Европейская конференция по НК	25 – 29 сентября, 2006 г.	Берлин, Германия	Др. Й. Фолкер
10-я Европейская конференция по НК	7 – 11 июня 2010 г.	Москва, Россия	Проф. В.В. Клюев

ООО "Издательство **Машиностроение**", 107076, Москва, Стромьинский пер., 4
 Учредители: РОНКТД; ООО "Издательский дом "Спектр". E-mail: td@mashin.ru; kdpost@rambler.ru
 Телефоны редакции журнала: (499) 268-36-54; (495) 514-76-50. [Http://www.Mashin.ru](http://www.Mashin.ru); www.td-j.ru
 Технический редактор *Жиркина С.А.* Корректоры: *Сажина Л.И., Сонюшкина Л.Е.*

Сдано в набор 07.07.10 г. Подписано в печать 02.08.10 г.

Формат 60×88 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 8,82. Уч.-изд. л. 10,37. Заказ 558. Свободная цена.

Оригинал-макет и электронная версия подготовлены в ООО "Издательство Машиностроение".

Отпечатано в ООО "Подольская Периодика". 142110, Московская обл., г. Подольск, ул. Кирова, д. 15.