XXIV ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО НЕРАЗРУШАЮЩЕМУ КОНТРОЛЮ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКЕ

(Москва, 13–15 мая 2026 г.)

Отчеты о работе секций (продолжение*)

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МЕТОДОВ И ТЕХНОЛОГИЙ НК НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ. АКУСТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ

Секция, посвященная акустическим методам контроля, модератором которой был д-р техн. наук Д. С. Тихонов (ООО «НПЦ «ЭХО+»), собрала наибольшее количество докладов. Заявлено было 27 докладов, однако выступить смогли только 24 спикера. В зале собралось более 60 профессионалов, среди которых бóльшую часть представляли специалисты в области применения ультразвуковых технологий.

В первом докладе «Применение импульсной акустической микроскопии для решения задач прочности ПКМ» Т. Б. Рыжова (ЦАГИ им. проф. Н. Е. Жуковского) рассмотрела применение импульсной акустической микроскопии (50–100 МГц) для исследования процессов повреждаемости полимерно-композиционных материалов (ПКМ) при растяжении, изгибе, сверлении и механической обработке. Метод позволяет верифицировать прогностические расчеты прочности и исследовать микроповреждения, в том числе in situ при нагружении в сопряжении с испытательной машиной.

А. В. Бутов в докладе «Учет анизотропии при проведении ультразвукового контроля сварных соединений при монтаже трубопроводов» (НПЦ «ЭХО+») представил методику учета анизотропии при УЗК сварных соединений трубопроводов, реализованную в автоматизированных системах на базе дефектоскопов «АВГУР-АРТ». Учет анизотропии подтвержден испытаниями на кольцевых швах труб классов прочности К60 и К70 и позволяет корректно строить изображения, полученные секторным сканированием и методом ЦФА.

В третьем докладе «Настройка чувствительности при проведении ультразвукового контроля с применением фазированных антенных решеток» канд. техн. наук А. Е. Базулиным (НПЦ «ЭХО+») исследованы способы настройки чувствительности в режиме фазированных антенных решеток с использованием различных эталонных отражателей. Показана перспективность применения АРД-диаграмм, но выявлены ограничения, связанные с моделью расчета, влиянием фокусировки и необходимостью учета затухания. Погрешность оценки эквивалентной площади по изображениям, полученным с использованием антенных решеток, составила ±2 дБ.

Д-р техн. наук Д. С. Тихонов (НПЦ «ЭХО+») в докладе «Инструмент для разработки методик ультразвукового контроля с применением антенных решеток» представил созданный в НПЦ «ЭХО+» программный инструмент для автоматизированной разработки методик УЗК с антенными решетками на основе теории лучевых трубок и дифракции Кирхгофа. Инструмент позволяет перебирать параметры (число элементов, угол призмы, акусти-

** См. «Территория NDT», 2026, № 3, с. 4–30*

Д. С. Тихонов

А. В. Бутов

ческие схемы) и выбирать оптимальные, используя биоинспирированные алгоритмы для многокритериальной оптимизации.

А. В. Бутов (НПЦ «ЭХО+») в докладе «Применение ПЭП поверхностных волн в резьбе» ознакомил слушателей с оригинальной технологией УЗ-контроля резьбы стальных стержней через центральное отверстие с использованием пьезоэлектрических преобразователей (ПЭП) поверхностных волн. Спиральное сканирование преобразователем с шагом резьбы позволяет выявлять искусственные отражатели длиной от 5 мм на фоне регулярных сигналов от витков резьбы.

В докладе канд. техн. наук Н. В. Мелешко (НПО «ЦНИИТМАШ») «Влияние параметров фазированных решеток на амплитуды эхосигналов от отражателей» приведены результаты исследования влияния параметров фазированных решеток на амплитуды эхосигналов от отражателей. Даны рекомендации по выбору режимов фокусировки и апертуры для более точной оценки размерных параметров дефектов.

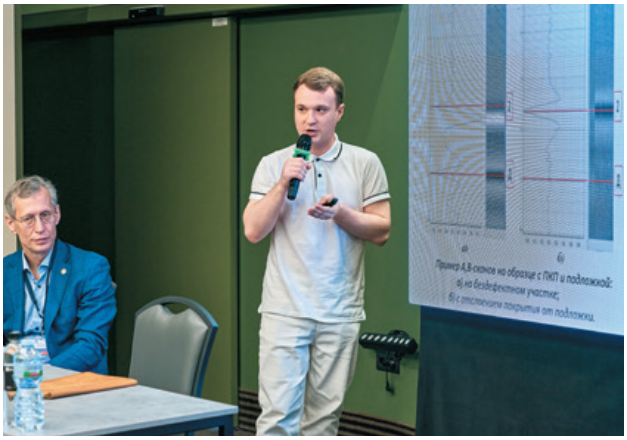
Ф. М. Северин («Тессоникс Россия») в докладе «Прикладные применения сканирующей акустической микроскопии» сделал обзор прикладных применений сканирующей акустической микроскопии (САМ) для контроля пористости алюминиевого литья, точечной сварки, клеевых соединений и ударных повреждений композитов. Показано, что САМ с частотами до сотен мегагерц обеспечивает обнаружение, количественную оценку и классификацию дефектов с высоким пространственным разрешением.

В докладе Н. В. Мелешко (НПО «ЦНИИТМАШ») «Оценка отражателей по ЦФА-изображениям» представлена оценка фактических размеров отражателей по ЦФА-изображениям с использованием амплитудного критерия — опорного уровня от плоскодонного отражателя диаметром, равным 1,5 фронтального размера фокальной зоны.

А. Е. Базулин

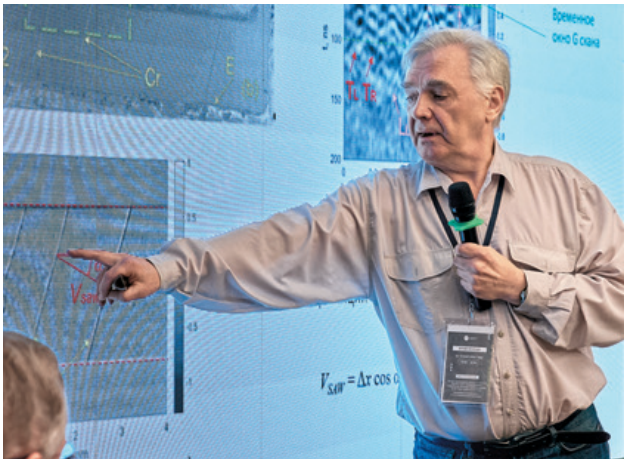
В. А. Сясько

Н. В. Мелешко



А. М. Шмаков

С. М. Нажесткин



С. А. Титов

Предложенный подход позволяет обеспечить более точную привязку измеренных параметров ЦФА-изображения к реальным размерам отражателей.

В докладе «Автоматизированный стенд паспортизации ультразвуковых преобразователей: разработка, особенности и преимущества» С. М. Нажесткин («АКС») рассказал об автоматизированном стенде паспортизации пьезопреобразователей, отвечающем требованиям ГОСТ Р 55725. Представленный стенд обеспечивает хорошую повторяемость результатов при снижении влияния человеческого фактора. Стенд формирует паспорт ПЭП, а в перспективе может быть адаптирован и для паспортизации многоэлементных антенных решеток.

В докладе д-ра техн. наук С. А. Титова (НТЦ уникального приборостроения РАН) «Дефектоскопия излучателей ультразвуковых сдвиговых волн с помощью иммерсионной схемы контроля» рассмотрена иммерсионная схема дефектоскопии излучателей ультразвуковых сдвиговых волн с использованием сфокусированного приемного преобразователя. Эксперименты на высокочастотных излучателях из ниобата лития показали, что неоднородности в преобразователе приводят к генерации продольных волн в жидкости, что позволяет обнаруживать расслоения и трещины.

В докладе К. А. Синициной (НИИЭФА) «Опыт использования роботизированных систем для проведения УЗК компонентов ИТЭР» представлена методология применения роботизированных иммерсионных УЗ-комплексов для контроля компонентов ИТЭР (панелей первой стенки и дивертора). Шестиосевые роботы с фазированными решетками и лазерным профилометром обеспечивают точное сканирование по сложным 3D-траекториям и высокую информативность контроля разнородных сварных соединений.

А. М. Шмаков (Учреждение науки ИКЦ СЭКТ, университет ИТМО) в докладе «Количественная оценка структурных параметров многослойных композиционных покрытий методом УЗК» демонстрировал методику количественной оценки структурных параметров многослойных композиционных покрытий с помощью эхометода с оптико-акустической генерацией сверхкоротких импульсов. Метод обеспечивает прецизионное измерение

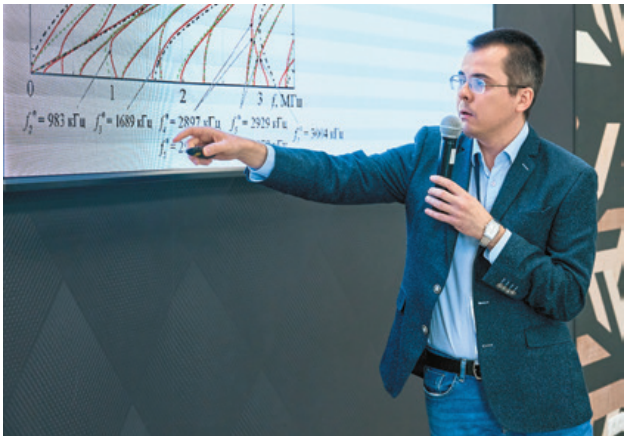
общей толщины покрытия и каждого слоя, а также выявление небольших, но опасных расслоений.

Канд. техн. наук А. С. Бойчук (НИЦ «Курчатовский институт» — ВИАМ) в докладе «НК конструкций авиационной техники из ПКМ ультразвуковым методом с применением фазированных решеток» поделился опытом контроля монолитных деталей авиационной техники из полимерно-композиционных материалов с помощью фазированных антенных решеток. Разработаны специальные призмы и приспособления для контроля объектов со сложными криволинейными поверхностями. Достигнута чувствительность, эквивалентная выявлению плоскодонного отражателя диаметром 2 мм, и разрешающая способность до 1 мм, а также обеспечен контроль радиусных зон с углами изгиба от 30 до 120°.

Канд. физ.-мат. наук А. А. Еремин (Кубанский государственный университет) в докладе «Применение волн Рэлея—Лэмба с нулевой групповой скоростью для ультразвуковой диагностики клеевых соединений и покрытий слоистых упругих материалов» исследовал применение волн Рэлея–Лэмба с нулевой групповой скоростью для диагностики клеевых соединений и покрытий слоистых упругих материалов. Бесконтактная лазерно-оптическая система регистрирует ZGV-резонансы, чувствительные к изменению толщины и качеству межслойного соединения, включая появление многопиковых резонансов в материалах с мягкой прослойкой.

Л. Н. Дроган (НТЦ уникального приборостроения РАН) в докладе «Выявление дефектов в полимерных сотовых конструкциях с помощью АУЗК» рассмотрела возможности автоматизированного иммерсионного УЗ-контроля полимерных сотовых конструкций в диапазоне частот 10–50 МГц. Метод позволяет уверенно выявлять непроклей и расслоения, а также оценивать состояние клеевых соединений с повышенной разрешающей способностью.

Д-р техн. наук Е. Г. Базулин (НПЦ «ЭХО+») выступил с тремя докладами. В первом из них «Ультразвуковая структурометрия металла с использованием метода цифровой фокусировки апертуры и теории Роуза» предложен метод построения карты номера зерна в сечении объекта контроля на основе теории Роуза и ЦФА-изображений, полученных на частотах 2,25, 5,0 и 10,0 МГц. Модельные эксперименты показали корреляцию полученных карт с металлографическими данными, что позволяет браковать заготовки непосредственно в производственной линии без непосредственного доступа к поверхности сечения. Во втором докладе (19-м в общем списке) «Определение коэффициентов упругости однородного анизотропного материала по эхосигналам, измеренным ультразвуковой антенной решеткой» рассмотрен разработанный метод определения коэффициен-



А. А. Еремин

Л. Н. Дроган

Е. Г. Базулин

тов упругости однородного анизотропного материала по эхосигналам от вертикального отверстия или от донной поверхности, измеренным одной или двумя антенными решетками. Погрешность оценки коэффициентов упругости составляет около ±1,7%, а учет анизотропии повышает фокусировку ЦФА-изображений более чем в 3 раза. В третьем докладе «Определение распределения углов поворота кристаллитов в анизотропном наплавленном металле по эхосигналам, измеренным двумя антенными решетками» (24-м в общем списке) описан оригинальный метод определения распределения углов поворота кристаллитов в анизотропном наплавленном металле путем сравнения измеренных и рассчитанных донных сигналов в приближении Кирхгофа. Метод минимизирует разницу между сигналами и позволяет корректно восстанавливать ЦФА-изображения отражателей в неоднородных сварных соединениях.

В докладе «Особенности дистанционного способа возбуждения вращающихся мод и их использование для НК» А. В. Воробей (ГНУ «Институт прикладной физики НАН Беларуси», Белгазстрой) предложен дистанционный способ возбуждения вращающихся поверхностных волн через акустическую подложку для контроля цилиндрических и сферических объектов. Исследованы зависимости амплитуд и времени обегания моды от углового волнового числа, определены оптимальные условия контакта, при которых достигается минимальный шум и высокая чувствительность к дефектам.

Д-р техн. наук О. В. Муравьева (ИжГТУ имени М. Т. Калашникова) в докладе «Бесконтактный акустический контроль тонколистовых низкоплотных материалов» представила разработку бесконтактной акустической методики контроля тонколистовых низкоплотных материалов (терморасширенный графит, пенополиолефины) с использованием воздушных преобразователей. Амплитудный теневой и временной методы позволяют оценивать поверхностную плотность, анизотропию и упругие модули, а также выявлять сквозные дефекты.

В докладе С. Л. Молоткова («Радиоавионика») «Новые возможности ультразвуковых дефектоскопов локального контроля объектов железнодорожного транспорта и других отраслей промышленности» описаны новые возможности ультразвукового дефектоскопа «АВИКОН-20» для локального контроля рельсов и стрелочных переводов, включая встроенный тест-образец, преобразователь с памятью и двухкоординатный сканер. Прибор поддерживает частоты 0,1–15,0 МГц, работает при температурах от –40 до +50 °С и позволяет создавать 3D-изображения дефектов с привязкой локализации дефектов по сигналам GPS или датчику пути.

В. А. Чернушин (ОНПП «Технология» им. А. Г. Ромашина) в докладе «Особенности НК локальным методом свободных колебаний изделий из ПКМ» рассмотрел особенности локального метода свободных колебаний для контроля изделий из полимерно-композиционных материалов с высоким затуханием и сложной формой поверхности. Метод, основанный на анализе амплитудно-частотных и амплитудно-временных характеристик, позволяет точно определять границы приповерхностных дефектов и может применяться в дополнение к импедансному контролю.

Канд. техн. наук К. В. Курашкин (ИПФ РАН) в докладе «НК структуры и свойств литого алюматричного композита, дисперсионно-упрочненного многослойными углеродными нанотрубками» представил результаты контроля структуры и свойств литого алюматричного композита, дисперсно-упрочненного многослойными углеродными нанотрубками, с использованием акустических методов. Исследовано влияние нанотрубок на упругие характеристики и затухание для оценки равномерности распределения упрочнителя.

В докладе «Спектральный метод определения дисперсии скорости нормальных волн в трубах» канд. техн. наук В. А. Стрижак (ИжГТУ им. М. Т. Калашникова) предложен спектральный метод определения дисперсии скорости нормальных волн по эхограммам с многократными отражениями в трубах-заготовках. Для партии труб из стали 38Х2МЮА определены значения скоростей: стержневая — 5139 м/с, крутильная — 3258 м/с, причем стержневая волна демонстрирует выраженную дисперсию в диапазоне 7–20 кГц.

Глубокое обсуждение докладов во время работы секции подтвердило большой интерес научной общественности к докладам. В целом выступления и дискуссии продемонстрировали высокий уровень научных и технических достижений и подтвердили передовые позиции УЗ-контроля среди других методов НК.

Дмитрий Сергеевич ТИХОНОВ, д-р техн. наук,
ООО «НПЦ «ЭХО+», Москва

ВИХРЕТОКОВЫЙ КОНТРОЛЬ. ОТ ОДНОПАРАМЕТРОВОГО КОНТРОЛЯ — К КОМПЛЕКСНЫМ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫМ СИСТЕМАМ

Работа секции, модератором которой выступил канд. техн. наук П. В. Соломенчук (ООО «Константа»), показала, что современный вихретоковый контроль уже не ограничивается обнаружением поверхностного дефекта по превышению пороговой амплитуды. В центре внимания оказались многопараметровая интерпретация сигналов, расчетное проектирование преобразователей, компенсация мешающих факторов, автоматизация операций и перенос вихретоковых методов на сложные по форме и условиям эксплуатации объекты.

Ключевые векторы секции:

- многопараметровая оценка дефектов вместо однопороговой классификации;
- конечно-элементное моделирование и виртуальная отладка преобразователей;
- многообмоточные вихретоковые преобразователи со сложной схемой включения и анализа сигналов;
- совмещение дефектоскопии, размерного контроля и структуроскопии;
- контроль сложных изделий и объектов непосредственно в условиях эксплуатации.

Первый доклад, «Вихретоковый контроль стресс-коррозионных трещин магистрального газопровода», представленный д-ром техн. наук А. Т. Бакиевым и д-ром техн. наук Р. В. Загидулиным (ФГБОУ ВО УГНТУ), был посвящен контролю стресс-коррозионных трещин магистральных газопроводов. Авторы показали принципиальное ограничение традиционной оценки глубины по оценке только амплитуды сигнала накладного преобразователя: группа близко расположенных трещин может восприниматься прибором как одиночный дефект, а форма сигнала существенно зависит от соотношения эффективного диаметра преобразователя и расстояния между трещинами. Практический вывод этой работы особенно важен для диагностики длительно эксплуатируемых газопроводов. Однопараметровый подход способен давать значительную погрешность, тогда как использование топографии сигнала, его амплитуды, ширины и других характеристик позволяет оценивать не только глубину, но также количество и взаимное расположение трещин. Многопараметровая обработка и методы регуляризации снижают неопределенность и создают основу для более обоснованной классификации дефектов.

Канд. техн. наук М. А. Ганзен (РГАТУ имени П. А. Соловьева) в докладе «Комплексный автоматизированный вихретоковый контроль ответственных авиационных изделий (на примере лопаток ГТД)» рассмотрел комплексный автоматизированный вихретоковый контроль ответственных деталей газотурбинных двигателей, прежде всего лопаток компрессора и турбины. Такие изделия требуют одновременного контроля геометрии, поверхностной сплошности и состояния поверхностного слоя, однако традиционные операции выполняются раздельно, занимают значительное время и увеличивают производственные затраты. Предложенный подход объединяет вихретоковую дефектоскопию, размерный контроль и структуроскопию в одной измерительной операции. В качестве кинематической основы может использоваться координатно-измерительная машина, где вместо обычного контактного наконечника устанавливается вихретоковый преобразователь. Эксперимент на модели лопатки подтвердил возможность бесконтактного выявления дефектов при рабочем зазоре, оценки изменения геометрии по амплитуде и анализа состояния поверхностного слоя по фазовым характеристикам сигнала. Важным результатом стало не только доказательство технической реализуемости, но и постановка вопроса об экономической эффективности автоматизации для мелкосерийного производства.

П. В. Соломенчук

Д-р техн. наук С. Г. Сандомирский (ГНУ Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси) выступил с докладом «Использование результата моделирования безгистерезисной кривой намагничивания ферромагнитного материала для магнитного структурного анализа». В работе рассмотрен внутренний коэффициент размагничива-

С. Г. Сандомирский

П. Н. Шкатов

ния материала, который может быть определен через стандартно измеряемые параметры предельной петли гистерезиса — намагниченность насыщения, остаточную намагниченность и коэрцитивную силу. На примере среднеуглеродистых сталей показано, что этот коэффициент закономерно изменяется с температурой отпуска и может служить чувствительным показателем структурных и механических изменений. Методический смысл работы состоит в том, что дополнительная диагностическая информация извлекается из набора параметров, которые уже могут быть получены стандартными измерениями, без усложнения экспериментальной процедуры.

Д-р техн. наук П. Н. Шкатов (МИРЭА), канд. техн. наук Г. Д. Холомкина (МИРЭА) и канд. техн. наук А. С. Зубарев (ООО «А3 Инжиниринг») представили доклад «Сигналы вихретоковых преобразователей с П-образными сердечниками при сканировании участков с трещинами разной ориентации». Работа наглядно показала, что ориентация дефекта относительно линий вихревого тока существенно влияет на форму и амплитуду сигнала: наибольшее возмущение возникает, когда трещина пересекает токовые линии, а при иной ориентации чувствительность может заметно снижаться. Для уменьшения этой зависимости предложена балансная конструкция с вложенными катушками и дифференциальным включением измерительных элементов. Экспериментальные результаты подтвердили возможность надежного выявления дефектов разной ориентации и одновременно подчеркнули необходимость учитывать направление сканирования при интерпретации сигнала.

Д-р техн. наук П. Н. Шкатов (МИРЭА) и канд. техн. наук Г. Д. Холомкина (МИРЭА) представили доклад «Дефектоскопические вихретоковые преобразователи типа ШВТП с улучшенными техническими характеристиками». Мультидифференциальная схема формирует сигнал, близкий ко второй пространственной производной магнитного поля, благодаря чему подавляется влияние медленно меняющихся факторов — магнитных свойств материала, перекоса, шероховатости и изменения рабочего зазора. На бездефектном участке сохраняется практически нулевой выходной сигнал, а годографы в зоне дефекта приобретают характерную форму, пригодную для распознавания трещин и оценки их размеров.

В продолжение предыдущего доклада прозвучало выступление по теме «Практическая реализация вихретоковых преобразователей типа ШВТП» (д-р техн. наук П. Н. Шкатов, канд. техн. наук Г. Д. Холомкина (МИРЭА) и канд. техн. наук А. А. Шумилин (НИУ МЭИ)). В нем рассмотрена практическая реализация нескольких вариантов таких преобразователей — с одной возбуждающей катушкой и с двумя встречно включенными возбуждающими элементами. Второй вариант обеспечивает более высокую точность балансировки, а исполнение катушек, изготовленных по технологии печатных плат, снижает трудоемкость и повышает воспроизводимость изготовления.

В завершение работы секции с докладом «Вихретоковый контроль резьбы бурильных, насосно-компрессорных и обсадных труб при эксплуатации: проблемы и эффективное решение» выступил д-р техн. наук А. Е. Шубочкин (АО «НИИИН МНПО «СПЕКТР»). Автор сопоставил традиционный подход с применением ультразвуковых методов с методами вихретокового вида НК и обратил внимание на практические ограничения применения ультразвуковых методов: необходимость подготовки по-

А. Е. Шубочкин

Вопрос из зала

верхности, сложность охвата всей геометрии резьбы и трудности контроля непосредственно на месте эксплуатации. Предложенная структура преобразователей и методика вихретокового контроля ориентирована на применение без тщательной очистки поверхности и позволяет обследовать все витки резьбы, включая сбег резьбы, как наружной, так и внутренней, и выявлять поперечные и продольные трещины, коррозионные повреждения и другие эксплуатационные дефекты. Именно способность работать на сложной поверхности и в полевых условиях делает такое решение перспективным.

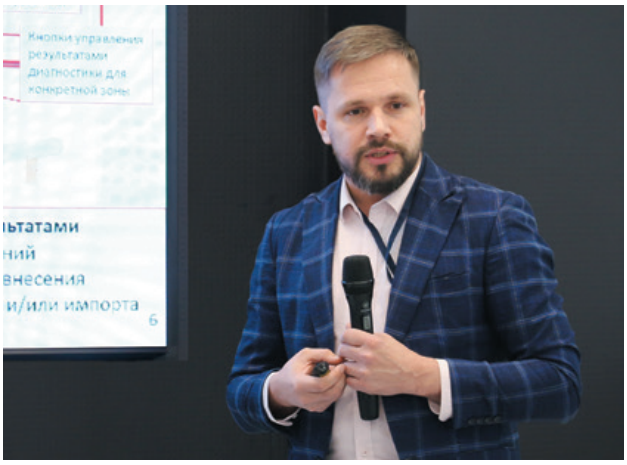
Павел Валентинович СОЛОМЕНЧУК,
канд. техн. наук, ООО «КОНСТАНТА»,
Санкт-Петербург

СТАЦИОНАРНЫЙ И МОБИЛЬНЫЙ МОНИТОРИНГ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ИНФРАСТРУКТУРНЫХ ОБЪЕКТОВ И РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ. ОТ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ — К ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОМУ МОНИТОРИНГУ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ

Модератором секции выступил д-р техн. наук О. А. Рыбин (ООО «Константа»). Представленные доклады охватили широкий круг объектов: криогенное и энергетическое оборудование, магистральные и технологические трубопроводы, объекты газотранспортной системы, железнодорожные рельсы, подземные сооружения и опасные производственные объекты. При всем многообразии тем секцию объединила общая идея — переход от периодического обследования и фиксации отдельных параметров к непрерывному накоплению диагностических данных, анализу изменения технического состояния и прогнозированию остаточного ресурса.

Открывающий доклад, подготовленный д-ром техн. наук В. А. Сясько (ООО «Константа») и модератором секции д-ром техн. наук О. А. Рыбиным (ООО «Константа»), «Мировые тенденции в области технического диагностирования и мониторинга технического состояния объектов» был посвящен сравнительному анализу и современным тенденциям развития двух ключевых подходов к оценке состояния инфраструктурных объектов: неразрушающего контроля (NDT) и мониторинга технического состояния (SHM). В докладе освещены основные тренды развития систем мониторинга технического состояния: 1) интеграция передовых сенсорных технологий (волоконно-оптические датчики, MEMS, дроны, роботизированные платформы); 2) развитие методов анализа данных и ИИ (машинное/глубокое обучение, цифровые двойники, автоматическое

О. А. Рыбин



А. А. Зорин

формирование отчетов); 3) автоматизация и стандартизация (беспроводные сенсорные сети, автономные и энергоэффективные датчики, учет внешних условий). Представлены новые уникальные технологии и приборы, такие как: волоконно-оптические сенсоры нового поколения (распределенные датчики на основе рассеяния Рэлея, Бриллюэна и Рамана); лазерные и оптические методы (цифровая корреляция изображений, лазерно-ультразвуковые системы); микроэлектромеханические системы (MEMS) для акустической эмиссии, пьезопреобразователей и магнитострикторов; беспроводные сенсорные сети, IoT, самочувствительные материалы и трибоэлектрические наногенераторы; системы ИИ (алгоритмы классификации, цифровые двойники); роботизированные и мобильные платформы (дроны, роботы, необитаемые аппараты); новые методы НК (фазированные решетки, полная матрица захвата, термография, георадары); гибридные и мультисенсорные системы, электрохимические и магнитострикционные датчики, сенсоры на основе смартфонов. В заключении докладчиком сделан вывод: современные системы SHM/NDT становятся интеллектуальными, распределенными и автономными. Их развитие направлено на повышение надежности инфраструктуры, снижение эксплуатационных расходов и интеграцию с цифровыми платформами для управления жизненным циклом оборудования.

Большой интерес вызвал доклад д-ра техн. наук В. А. Сясько (ООО «Константа»), д-ра техн. наук О. А. Рыбина (ООО «Константа») и канд. техн. наук В. А. Воронова (БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова) «Мониторинг технического состояния и ресурса криогенного оборудования на стадиях жизненного цикла», посвященный мониторингу технического состояния и оценке ресурса криогенного оборудования на всех стадиях жизненного цикла. Авторы предложили рассматривать проектирование, производство, транспортирование, эксплуатацию и вывод оборудования из эксплуатации как единый информационно связанный процесс. Важную роль в этом подходе играют последовательно уточняемая математическая модель либо двойник объекта и его электронный паспорт. Такой паспорт должен содержать не только исходные проектные характеристики, но и сведения о фактических режимах работы, ремонтах, выявленных дефектах, авариях и изменении показателей надежности.

Эту тему продолжил доклад А. А. Зорина (ООО «Константа»), д-ра техн. наук О. А. Рыбина (ООО «Константа») и канд. техн. наук В. А. Воронова (БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова) «Программа оценки технического состояния и остаточного ресурса технологического оборудования объектов ПАО «ГАЗПРОМ» ReSOURCE, посвященный разработке компьютерной программы мониторинга технического состояния и остаточного ресурса объектов газотранспортной системы. Представленная цифровая платформа ReSOURCE объединяет паспортные и эксплуатационные сведения, результаты неразрушающего контроля и расчетные модели. Благодаря этому объект рассматривается не как набор отдельных обследованных участков, а как целостная техническая система — информационная среда, состояние которой изменяется во времени.

Большой интерес вызвал доклад д-ра техн. наук Д. М. Ляпичева (РГУ нефти и газа (НИУ) им. И. М. Губкина), канд. техн. наук М. М. Адмакина (ООО «Газэнергоэкспертиза»), Д. И. Андреева, д-ра техн. наук А. С. Лопатина (РГУ нефти и газа (НИУ) им. И. М. Губкина) «Внедрение технологий комплексного мониторинга как необходимый этап цифровизации нефтегазовых объектов». В докладе отмечено, что цифровизация ТЭК невозможна без перехода от периодического контроля к непрерывному мониторингу. Штатные системы АСУ ТП и заводские модели для этого непригодны — не хватает датчиков, точности и ресурсов. Были разработаны: смарт-элементы

Д. М. Ляпичев

И. В. Разуваев

(трубные детали со встроенными датчиками); лазерный комплекс «ПОТОК 1» (контроль перемещений до 1500 м); волоконно-оптические сенсоры. Создана модель ИИ (градиентный бустинг) с точностью $F1 = 0{,}807$ для прогноза деформаций грунта по реакции трубопровода. Сделан вывод, что для развития систем мониторинга нужна новая научно-техническая документация, объединение усилий науки и бизнеса, развитие методов предиктивной аналитики.

Практический опыт длительного мониторинга опасных производственных объектов представили И. В. Разуваев, В. И. Саматов, И. П. Слепов и Е. В. Сучков (АО «НПО «Алькор») в докладе «О корректировке подходов к обеспечению промышленной безопасности ОПО на основе системного применения комплексов интегрального мониторинга их технического состояния». Разработанные ими комплексы интегрального мониторинга применяются более чем на 300 объектах. Накопленные массивы данных включают десятки тысяч контролируемых параметров и результаты работы тысяч датчиков акустической эмиссии. Доклад наглядно показал, что современная система мониторинга — это не только набор средств измерений, но и сложная информационная инфраструктура, обеспечивающая хранение, сопоставление и интерпретацию многолетних наблюдений.

Вопросам связи результатов диагностики с безопасностью эксплуатации был посвящен доклад д-ра техн. наук В. И. Иванова и д-ра техн. наук Н. Н. Коновалова (АО НТЦ «Промышленная безопасность») «Неразрушающий контроль — техническое диагностирование с оценкой риска аварии». Авторы рассмотрели неразрушающий контроль и техническое диагностирование в сочетании с оценкой риска аварии. Такой подход особенно важен для принятия решений по объектам, на которых выявленные повреждения нельзя оценивать только по геометрическим размерам: необходимо учитывать вероятность отказа, его возможные последствия и фактические условия эксплуатации.

Заметное место в программе заняли практические вопросы внедрения систем мониторинга. А. В. Гончар (ИПФ РАН) в докладе «Отечественная беспроводная взрывозащищенная система мониторинга коррозии и эрозии высоконагретых промышленных объектов» представил отечественную беспроводную взрывозащищенную систему контроля коррозии и эрозии высоконагретых промышленных объектов. Разработанный ультразвуковой датчик рассчитан на продолжительную работу при температурах поверхности до 600 °С. Температурная компенсация и оригинальная конструкция преобразователя позволяют повысить повторяемость измерений толщины стенки. Натурные испытания подтвердили возможность выявления устойчивой тенденции уменьшения толщины трубопровода непосредственно в условиях действующего производства.

Х. Ф. Махмудов (Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН) в докладе «Разработка интегральных критериев оценки состояния горных пород на основе данных мониторинга в подземных сооружениях» рассмотрел задачу оценки состояния горных пород по данным акустико-эмиссионного мониторинга подземных сооружений. Особое внимание в докладе уделено фильтрации сигналов и повышению достоверности данных при оригинальном расположении датчиков и наличии внешних помех. Представленная работа показала, что результаты мониторинга определяются не только чувствительностью аппаратуры, но и качеством алгоритмов обработки информации.

Целый блок докладов был связан с применением акустических направленных волн для мониторинга состояния протяженных объектов. А. С. Гусев (ООО «Константа») в докладе «Конечно-элементное моделирование процесса распространения крутильной волны в трубопроводе, имеющем кон-

В. Ю. Чертищев

А. А. Марков

структивные особенности» представил результаты конечно-элементного моделирования распространения крутильной волны в трубопроводах с поворотами и тройниками. Расчеты показали, как конструктивные элементы изменяют форму и амплитуду отраженных импульсов. Учет этих эффектов необходим, чтобы разделить сигнал от дефекта от отражений, вызванных вариацией геометрических параметров трубопровода и наличием конструктивных элементов.

С. С. Ступин и канд. техн. наук П. В. Соломенчук (ООО «Константа») в докладе «Многосекционный магнитострикционный преобразователь для систем акустического волноводного мониторинга состояния тела трубы» предложили многосекционный магнитострикционный преобразователь для акустического волноводного контроля трубопроводов различных типоразмеров. Секционная конструкция расширяет возможности систем мониторинга состояния оборудования для приема сигналов и позволяет получать дополнительную информацию о расположении отражателя.

В докладах канд. техн. наук В. Ю. Чертищева (ООО «НПЦ «Эхо+») и д-ра техн. наук О. А. Рыбина (ООО «Константа») «Особенности обработки, передачи и представления данных мониторинга состояния трубопроводов акустическими методами с волноводными эффектами распространения» и «Разработка системы мониторинга состояния трубопроводов на основе контроля крутильными волнами» рассмотрены два взаимосвязанных направления: обработка, передача и представление данных акустического мониторинга, а также построение системы контроля трубопроводов крутильными волнами. Представлена последовательная цепочка — от фильтрации сигнала и выделения признаков до классификации дефектов, формирования прогноза и выдачи рекомендаций. По существу, речь идет о переходе от прибора, фиксирующего отраженный импульс, к интеллектуальной системе поддержки инженерных решений.

Развитие акустических методов применительно к магистральным газопроводам было отражено в докладе канд. техн. наук А. А. Решетова (ООО «Газпром трансгаз Нижний Новгород») «Акустическая диагностика магистральных газопроводов, подверженных коррозионному растрескиванию под напряжением». Предложенный подход ориентирован на выявление участков, потенциально опасных с точки зрения коррозионного растрескивания под воздействием механических напряжений. В качестве диагностической информации рассматриваются собственные акустические колебания газопровода, возникающие при изменении режимов транспортирования газа. Такая технология мониторинга состояния магистральных газопроводов может дополнить традиционные внутритрубные и локальные методы контроля.

Отдельное направление работы секции составили технологии контроля железнодорожной инфраструктуры. Д-р техн. наук А. А. Марков и канд. техн. наук А. Г. Антипов (АО «Радиоавионика») в докладе «Автоматизация мониторинга элементов железнодорожного пути при неразрушающем контроле рельсов» рассмотрели автоматизацию мониторинга состояния элементов пути при магнитном контроле рельсов. Синхронизация результатов повторных проходов мобильных средств позволяет отслеживать изменение болтовых стыков, сварных соединений, стрелочных переводов и поверхностных повреждений. Были представлены ключевые разработки: алгоритмы автоматического выделения сигналов от стыков; оценка температурной зависимости зазоров на основе 23 проездов за 1,5 года по 755 стыкам в диапазоне от –21 до +27 °С; прогнозирование достижения критических значений зазора. Основными результатами работы являются: возможность мониторинга круглогодично, независимо от погоды и освещенности; возможность прогнозирования предотказного состояния пути (выбросы летом, разрывы зимой); оптимизация ремонтов по фактическому состоянию.

Продолжил тематику контроля железнодорожной

К. Р. Овсеенко

К. В. Сапожникова

инфраструктуры доклад К. Р. Овсеенко (АО «Фирма ТВЕМА») «Передовые технологии в сфере неразрушающего контроля железнодорожных рельсов». Целью работы являлось повышение безопасности, продление срока службы рельсов и оптимизация затрат через переход к обслуживанию по фактическому состоянию. Докладчик представил следующие ключевые технологические решения, которые обеспечивают: адаптивный порог — снижение ложных срабатываний и влияния оператора, повышение надежности при нестабильном акустическом контакте; две независимые УЗ-системы — перекрестную проверку данных, снижение пропуска дефектов; метод накопления сигналов — улучшение отношения сигнал/шум, выявление дефектов на ранних стадиях; вихретоковый контроль (8 каналов) — выявление поверхностных и поперечных дефектов; акустические моноблоки — повышенный ресурс, исключение сборки и обслуживания в поле; автоматизированная обработка — интеграцию данных УЗК, ВТК и видео для повышения достоверности. Перспективами этих технических решений являются: автоматизация, цифровая интеграция, совместный анализ данных разных методов НК, внедрение предиктивной аналитики.

Доклад д-ра техн. наук А. П. Креня с соавторами (ИПФ НАН Беларуси) «Анализ изменения напряжений в образцах стали 10 после усталостных испытаний с малыми деформациями» был посвящен изменению остаточных напряжений в образцах стали после циклических испытаний с малыми пластическими деформациями. Работа подчеркнула значение контроля напряженного состояния материала: даже при отсутствии выраженного макродефекта перераспределение напряжений может влиять на долговечность и вероятность последующего разрушения конструкций.

Завершая обзор представленных направлений, необходимо отметить доклад канд. техн. наук К. В. Сапожниковой и канд. техн. наук Р. Е. Тайманова (ВНИИМ им. Д. И. Менделеева) «Развитие методов мониторинга состояния энергетических станций» о развитии методов мониторинга энергетических станций. Авторы связали повышение эффективности контроля с применением искусственного интеллекта, компактных средств обработки данных и методов метрологического самоконтроля измерительных систем. Последнее особенно важно для длительной эксплуатации стационарных комплексов: система должна не только оценивать состояние оборудования, но и своевременно выявлять ухудшение характеристик собственных датчиков и измерительных каналов.

Можно выделить несколько общих тенденций. Во-первых, мониторинг все чаще охватывает весь жизненный цикл объекта. Во-вторых, ценность представляет не отдельное измерение, а сопоставимый временной ряд, позволяющий определить скорость развития повреждения. В-третьих, физические методы контроля активно объединяются с цифровыми моделями, автоматизированной обработкой сигналов и алгоритмами прогнозирования. Наконец, результатом работы системы мониторинга должна становиться не просто регистрация отклонения, а обоснованная рекомендация: продолжить эксплуатацию, изменить режим работы, провести дополнительное обследование или запланировать ремонт.

Работа секции показала, что современная техническая диагностика постепенно переходит от поиска уже сформировавшихся дефектов к управлению техническим состоянием. Именно объединение измерительных технологий, инженерных моделей и накопленных данных создает основу для повышения безопасности, продления ресурса оборудования и перехода к обслуживанию по фактическому состоянию.

Олег Александрович РЫБИН,
д-р техн. наук, ООО «Константа»,
Санкт-Петербург