

## **Белорусский форум по неразрушающему контролю и технической диагностике**

Зам. председателя оргкомитета НТК  
С.С. Сергеев

В статье подводятся итоги 6-й международной научно-технической конференции «Современные методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов», состоявшейся в г. Могилеве 19–20 сентября 2017 г. на базе Белорусско-Российского университета. Отмечается, что в ходе прошедшей конференции состоялось обобщение новых результатов исследований и обмен опытом между учеными и специалистами различных организаций и стран в области неразрушающего контроля и технической диагностики материалов, промышленных изделий и сооружений.

*Results of the 6-th international scientific and technical conference "modern methods and devices of quality control and diagnostics of a condition of objects" which took place in Mogilev on September 19-20, 2017 on the basis of the Belarusian-Russian university are given in article. It is noted that during last conference generalization of new results of researches and exchange of experience between scientists and specialists of various organizations and the countries in the field of nondestructive control and technical diagnostics of materials, industrial products took place.*

В Республике Беларусь (г. Могилев) 19–20 сентября 2017 года на базе Белорусско-Российского университета прошла 6-я международная научно-техническая конференция «Современные методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов». Основными организаторами по подготовке и проведению конференции выступили Белорусско-Российский университет, Институт прикладной физики Национальной академии наук Беларуси, Белорусская ассоциация неразрушающего контроля и технической диагностики и Российское общество по неразрушающему контролю и технической диагностике.

Целью научно-технической конференции являлось обобщение результатов исследований и обмен опытом между специалистами различных организаций и стран в области разработки и практического применения неразрушающих методов и средств контроля качества материалов, промышленных изделий, сооружений и технологического оборудования, а также в области диагностирования потенциально опасных объектов, сертификации и подготовки квалифицированных кадров.

Традиционно секционная работа конференции проходила по нескольким направлениям: дефектоскопия материалов и промышленных изделий; контроль структуры и физико-механических характеристик материалов и изделий; контроль геометрических параметров объектов; мониторинг, диагностика и прогнозирование остаточного ресурса технических объектов; компьютерные технологии в неразрушающем контроле.

Было опубликовано 86 докладов-статей учеными и практиками из 3 стран (Беларусь, Россия, Украина). Академическая наука была представлена докладами ведущих институтов в области физики неразрушающего контроля и технической диагностики стран СНГ (среди которых Институт прикладной физики, Объединенный институт машиностроения и Институт физики НАН Беларуси, Институт физики металлов и Институт машиноведения УрО РАН, Институт электродинамики НАН Украины и ряд других институтов). Вузовская наука была представлена коллективами Белорусско-Российского университета, Белорусского национального технического университета, НИИ прикладных физических проблем им. А.Н. Севченко БГУ, Национального исследовательского университета «МЭИ» (г. Москва), Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ», Санкт-Петербургского горного университета, Иркутского государственного университета, Херсонской государственной морской академии и другими вузами. Ряд сообщений сделали известные ученые из научно-производственных объединений и предприятий (Научно-производственный центр «ЭХО+», Научно-промышленная компания «ЛУЧ», ОАО «Оптоэлектронные системы» и др.). Активное участие в конференции и выставке приняли студенты Белорусско-Российского университета. Отрядным фактом было присутствие на конференции производителей из аккредитованных лабораторий неразрушающего контроля.

На пленарном заседании выступили представители двух стран, которые рассказали о некоторых достижениях и перспективах развития неразрушающего контроля в Республике Беларусь и Российской Федерации.

Открыл конференцию с приветственным словом к участникам проректор по научной работе Белорусско-Российского университета Пашкевич В.М. Он отметил, что данный форум стал традиционным и значимым для Беларуси и университета, а также рассказал о достижениях ученых и подготовке кадров в университете в области неразрушающего контроля и диагностики.

В пленарном докладе председателя Белорусской ассоциации НК и ТД д.т.н. Венгриновича В.Л. (Институт прикладной физики НАН Беларуси) рассмотрены проблемы анализа данных и оценки состояния конструкций в задаче мониторинга сложных технических сооружений с помощью многосенсорных систем, измеряющих текущие параметры объекта. Задача сводится к идентификации (восстановлению) свойств объекта по измеряемым его характеристикам. Взаимосвязь временных свойств объекта и системы мониторинга определяется на этапе предварительного моделирования, для чего используются все алгоритмы моделирования от Метода Монте-Карло до RBF (радиальные базисные функции). Сущность обратной задачи идентификации рассмотрена на примере восстановления напряжений в любой точке металлической оболочки, на которой расположено разреженное множество датчиков напряжений. Для оценки данных мониторинга предложен фрактальный метод, который позволяет на каждой стадии мониторинга работать с квадратными матрицами, все характеристики которых легко вычисляются. Выделены статистически значимые параметры фракталов, обладающие необходимыми чувствительностями к малым изменениям параметров объекта.

В докладе Костина В.Н. и Смородинского Я.Г. (Институт физики металлов им. М.Н. Михеева УрО РАН, Екатеринбург) были рассмотрены перспективы развития мобильных многоцелевых аппаратно-программных систем электромагнитного контроля. Показана неустойчивость результатов пассивного магнитного контроля к воздействию неконтролируемых неоднородных полей. Автор отметил, что совместное использование нескольких параметров контроля для оценки одного объекта может быть обусловлено как нелинейностью взаимосвязей контролируемых параметров с измеряемыми параметрами контроля, так и необходимостью учета условий измерений. Сформулированы основные критерии, которым должны отвечать перспективные многоцелевые системы активного электромагнитного контроля.

Большой интерес вызвал доклад профессора Артемьева Б.В. (МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва), посвященный нетрадиционному использованию методов неразрушающего контроля для сохранения памятников культуры. В докладе было показано, что для изучения произведений искусства используют широкий диапазон электромагнитного излучения от инфракрасного до рентгеновского, включая оптическую (видимая область): бинокулярную и поляризационную микроскопию. Отмечено, что радиационные методы исследования картин могут предоставить полезную информацию для искусствоведов, но

проблема не будет полностью решена, и поэтому необходимо разработать методы управления и создать новое оборудование, особенно в таких перспективных областях, как плоскостная томография, радиография на обратно рассеянном излучении и нейтронная радиография.

С интересом был воспринят доклад Вовилкина А.Х. и Тихонова Д.С. (ООО «Научно-производственный центр «ЭХО+», Москва), где были рассмотрены современные автоматизированные средства и методы ультразвукового контроля сварных соединений оборудования и трубопроводов реакторных установок типа ВВЭР. Отмечено, что основные методы визуализации дефектов в настоящее время реализованы в системе АУЗК с антенными решётками АВГУР-АРТ и находят всё большее применение при эксплуатации АЭС, а также в процессе предэксплуатационного контроля. Повышение качества получаемых изображений дефектов уже в настоящее время позволяет создавать программные комплексы с автоматическим формированием пространственных контуров дефектов и заключений об их размерах. Рассмотрены направления дальнейшего совершенствования методов дефектометрии.

В докладе Сясько В.А. (ООО «Константа», Санкт-Петербург) рассмотрены перспективные бесконтактные методы неразрушающего контроля для задач измерения толщины покрытий, их основные характеристики, а также информативные и мешающие параметры при измерении толщины покрытий. Проанализирована нормативная база по метрологическому обеспечению методов измерения толщины покрытий. Сформулированы предложения по разработке нормативных документов на рассмотренные бесконтактные методы измерения толщины покрытий, которые будут устанавливать требования к толщиномерам, мерам толщины покрытий, а также требования к их поверке и калибровке. Указаны меры, позволяющие обеспечить единство измерений в рассматриваемой области.

Несомненный интерес вызвала демонстрация новых приборов и оборудования неразрушающего контроля некоторыми компаниями (SciAps, VALTECH, ИУП «Пентатроник», ООО «Профтим»). Были представлены лазерные системы центровки валов, лазерные анализаторы металлов, тепловизоры, дефектоскопы, вибродиагностическая техника и др.

На секции №1 «Дефектоскопия материалов и промышленных изделий» были представлены на обсуждение 16 докладов. Из них наибольшее количество посвящено акустическим, электромагнитным и оптическим методам контроля. Анализ содержания докладов показывает, что они, преимущественно, направлены на решение как акту-

альных научно-прикладных проблем промышленности, так и на развитие физических основ неразрушающего контроля. Необходимо отметить, что из докладов, посвященных акустическим методам, наибольший интерес представили работы Аббакумова К.Е. (СПбГЭТУ, Санкт-Петербург), а также – работы сотрудников ИПФ НАНБ (Минск) и БРУ (Могилев). В результате исследований предложены оптимальные конструкции устройств, использование которых позволяет существенно повысить надежность контроля физико-механических свойств твердых тел. Следует выделить доклады Базулина Е.Г. и др., в которых решалась достаточно сложная техническая задача повышения эффективности получения ультразвукового изображения. Для этой цели предложено использовать псевдоортогональные сигналы и сплит-сигналы, реализуемые с помощью антенных решеток, что позволяет существенно повысить скорость регистрации эхосигналов. Во втором же случае рассмотрена задача, связанная с повышением точности измерения скорости продольных волн в изотропном однородном сварном соединении. Практические результаты по внедрению ЭМА-преобразователей при серийном ультразвуковом контроле полуфабрикатов из алюминиевых сплавов представлены Медведевым Д.Д. из компании «НОРДИНКРАФТ». Среди представленных докладов в области электромагнитных и магнитных методов контроля наибольший интерес вызвала работа Пудова В.И., и Соболева А.С. (УРО РАН, Екатеринбург), имеющая важное значение для обеспечения безопасности движения лифтового транспорта. Изложен усовершенствованный метод и методика проведения дефектоскопии стальных канатов, что представляет интерес для специалистов, решающих подобные вопросы. Некоторые вопросы повышения надежности и чувствительность магнитографического метода контроля намагничивающихся объектов по остаточной намагниченности рассмотрены в докладе сотрудников БРУ (Новиков В.А., Кушнер А.В., Шилов А.В.). Необходимо также отметить оригинальный доклад, сделанный Анисович А.Н. по проблемам металлографии и ее развитию в Беларуси (ФТИ НАН Беларуси, Минск). Ею представлены материалы по аппаратуре и современным методам обработки изображений, возможностям повышения чувствительности и контраста изображений.

На секции №2 «Контроль структуры и физико-механических характеристик материалов и изделий» секции было заявлено 25 докладов, из них 11 относятся к магнитному методу контроля, 7 докладов – к оптическому контролю, 2 – посвящены механическим испытаниям объектов, 2 – электрическому контролю, 1 – вихретоковому контролю,

2 доклада посвящены другим методам контроля. В целом, все доклады на заседании секции содержали новые интересные научные и технические результаты. Так, авторы И.И. Брановицкий и др. сообщили о реализации индукционного метода измерения магнитных характеристик магнитомягких материалов при частоте 50 Гц, включая разработанный высокоточный алгоритм, описали созданную на этой основе эталонную установку и государственные стандартные образцы для аттестации, поверки и калибровки. В докладе В.Л. Венгриновича и др. представлены результаты работы по исследованию эффекта Баркгаузена при двухосном напряженно-деформированном состоянии материала. Проведенное ими математическое моделирование, а также независимые измерения интенсивности магнитного шума на крестообразном образце оптимизированной формы с использованием двухосного нагружающего оборудования подтверждают инвариантность метода эффекта Баркгаузена относительно любых изменений шаровой компоненты тензора деформаций. В докладе Э.С. Горкунова и др. (Институт машиноведения Уральского отделения РАН) исследовано влияние величины предварительной пластической деформации, моделирующей исходное напряженно-деформированное состояние изделия, на поведение магнитных характеристик металла различных зон сварной трубы при последующем упругом растяжении и сжатии. Авторы Р.И. Воробей, О.К. Гусев и др. из Белорусского национального технического университета выполнили сравнительный анализ методов картирования слоев полупроводниковых пластин и показали перспективность методов на основе регистрации изменений потенциала поверхности зондовым электрометрическим преобразователем в режиме статической либо динамической фотоЭДС, отличающихся неразрушающим характером измерений и позволяющих получить ряд новых количественных и качественных характеристик слоев. И.В. Ивашкевичем, Н.И. Стаськовым и др. (УО «Могилёвский государственный университет им. А.А. Кулешова» и УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники») методом спектральной эллипсометрии получены дисперсионные зависимости показателей преломления и поглощения пленок PEDOT: PSS и йод-свинцового перовскита. Сандомирским С.Г. (ГНУ «Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси») показано, что «многопараметровые» методы магнитной структуроскопии, основанные на измерении магнитных параметров, не могут обеспечить достоверного контроля структуры сталей. В качестве альтернативы предложено формировать параметры, чувствительные к структурным изменени-

ям в сталях, из коэрцитивной силы  $H_c$ , остаточной намагниченности  $M_r$  и намагниченности  $M_s$  технического насыщения, измеренных на предельной петле магнитного гистерезиса. А.В. Хомченко, И.У. Примаком, А.Н. Василенко (ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет») продемонстрирована возможность измерения распределения двулучепреломления в неоднородных анизотропных средах методом поляризационной интерферометрии. Исследованы возможности и границы применения метода при анализе распределения величины механических напряжений в плоскости закаленного стекла. Сотрудниками Института прикладной физики НАН Беларуси были приведены сведения о возможности обнаружения дефектов вида «расслоение» на основании контроля твердости индентирования, определяемой согласно стандарту, а также о приборе, реализующем метод динамического индентирования, для контроля механических свойств композиционных материалов. Сотрудники Института физики металлов им. М.Н. Михеева УрО РАН привели экспериментальную методику, которая позволяет определить величину критических полей смещений 90-градусных доменных границ, что делает возможным оценить уровень остаточных напряжений в деформированном металле. На основе экспериментальных данных предложен алгоритм расчета значений средних механических напряжений в образце, рассмотрены перспективы применения разных моделей феррозондовой аппаратуры для локальной диагностики ферритной  $\alpha$ -фазы в сталях аустенитного класса. Учеными Белорусско-Российского университета предложен метод внутрирезонаторной волноводной спектроскопии тонкоплёночных структур,

На третьей секции «Контроль геометрических параметров объектов» в докладе Артемьева Б.В. были представлены результаты разработки ионизационной камеры, обладающей более высокими метрологическими характеристиками по сравнению с существующими. В докладах Баева А.Р. и Костина В.Н. показана возможность контроля параметров поверхностного упрочнения при измерении значения напряженности магнитного поля в зависимости от толщины упрочненного слоя при фиксированном значении магнитного потока, а также возможность определения глубины упрочненных поверхностных слоев стальных образцов и чугуна ультразвуковыми методами, включая амплитудно-угловые и импульсный методы. 5 докладов были представлены сотрудниками ОАО «Оптоэлектронные системы» (г. Минск). Они посвящены анализу проблемы создания систем для микро- и нанопозиционирования, решению задачи измерения линейных размеров с

субпиксельной точностью для элементов полупроводниковых пластин в микроскопии; рассмотрен метод измерения с помощью анализа профиля сечения изображения, содержащего края объекта с применением метода взвешенных сумм, приведен анализ особенностей применения интерферометра белого света для восстановления профиля поверхности по набору интерферограмм, рассмотрены подходы к реализации коррекции нелинейностей при сканировании объектов в существующих микроскопах. В докладе сотрудников РУП «Гомельэнерго» и БГУТ Короткевича С.В. и Холодилова О.В. описана методика оценки толщины граничного смазочного слоя, основанная на измерении его электрического сопротивления.

Для представления на секции 4 «Мониторинг, диагностика и прогнозирование остаточного ресурса технических объектов» было заявлено 10 докладов, посвященных оценке физического состояния различных технических объектов, из которых 6 относятся к диагностике различных технических устройств, 3 доклада посвящены разработке измерительных преобразователей для систем диагностики технических объектов, и один доклад – определению диагностических параметров при контроле процесса центробежной индукционной наплавки цилиндрических полостей. В целом, все доклады на заседании секции содержали новые интересные научные и технические результаты. В докладе Болотова С.В. и Герасименко Н.В. (БРУ) показано, что применение цифровых датчиков влажности позволяет усовершенствовать возможности существующей системы контроля трубопроводов с теплоизоляцией из пенополиуретана, основанной на измерении электрического сопротивления между специальным медным проводом и металлической трубой. Интерес вызвал доклад Гришина С.А. и Климентовского В.В. (ГНПО «Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника», г. Минск), посвященный анализу результатов применения мультисенсорной системы для исследования физических полей, создаваемых при работе технологической установки аддитивного синтеза материалов и модельных жидкостных ракетных двигателей. От этой же организации был представлен доклад по результатам разработки, испытаний и применения аппаратно-программного комплекса, предназначенного для диагностики технического состояния, наладки и контроля функционирования блоков бортового мультidetекторного сцинтилляционного спектрометра излучений и частиц околоземного космического пространства. В докладе Сосновского И.А. и др. (Объединенный институт машиноведения НАН Беларуси, БНТУ, Минск), представлен метод контроля и регулирования температуры



нагрева для процесса центробежной индукционной наплавки покрытий с использованием пирометрического контроля температуры наружной поверхности заготовки и регулирования мощности нагрева и метод непрерывного контроля за уплотнением порошкового слоя, связанный с изменением его момента инерции вследствие усадки. Доклад Завальнюк О.П., Нестеренко В.Б., представленный сотрудниками Херсонской государственной морской академии, посвящен анализу существующих средств контроля прочности судна в процессе его эксплуатации. На основании экспериментального материала авторов обосновано применение современных магнитных методов неразрушающего контроля в морских транспортных технологиях. В докладе сотрудников Института электродинамики НАН Украины Зайцева Е.А. и др. описана структура гибридного волоконно-оптического измерителя контрольно-диагностических параметров электрооборудования. Предложено для передачи питания к первичным преобразователям, размещенным в изолированной зоне, использовать информационно-энергетический канал, реализованный на основе технологий "Wavelength-Division Multiplexing".

На секции 5 «Компьютерные технологии в неразрушающем контроле» было заслушано 14 докладов, посвященных оценке различных применений компьютерных технологий при решении задач неразрушающего контроля, из которых 6 относятся к разработке программных средств, позволяющих ускорить и упростить оформление результатов проведенного неразрушающего контроля технических систем; 3 доклада посвящены расчету акустических полей излучения пьезоакустических преобразователей; 1 доклад – расчету вихретокового преобразователя; 2 доклада посвящены применению компьютерных технологий для диагностики электрических приводов; в одном из докладов решалась задача расчета импульсных магнитных полей вторичных источников. В докладе Борисова В.И., Сергеева С.С. и др. представлены результаты расчета акустических полей излучения круглых фокусирующих акустических преобразователей в виде участка гиперболоида и эллипсоида вращения. Показано, что в дальней зоне как на оси пьезопластины, так и вне оси поле носит неоднородный характер и практически не отличается для обоих типов преобразователей. Доклад Щукис Е.Г., Лунина В.П., Куликова Е.А «Применение непрерывного вейвлет-преобразования для выделения дефектов под дистанцирующими решетками» посвящен повышению надежности анализа данных многочастотного вихретокового контроля теплообменных труб парогенераторов за счет выделения сигналов от дефектов под

конструктивными элементами на основе непрерывного вейвлет-преобразования. В докладе Мышкина Ю.В., Петрова К.В. (ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет им. М.Т. Калашникова») представлены основные подходы к моделированию акустических полей проходных электромагнитно-акустических преобразователей и фазированных решеток для контроля прутков и труб. Рассмотрены особенности моделирования распространения акустических волн методом конечных элементов. Интерес вызвал доклад Филончика П.Е., в котором он представил анализ разработанных программ для подготовки, проведения и документирования различных задач неразрушающего контроля технических изделий

Большинство представленных докладов были выполнены на высоком научно-техническом уровне и вызвали живой интерес, как у производителей, так и у специалистов, разрабатывающих методы и средства неразрушающего контроля.

Проведенная конференция помогла участникам обменяться новейшими результатами в области физики и техники неразрушающего контроля и технической диагностики. Отрадно отметить, что в ходе конференции были установлены научные и деловые контакты между академическими и вузовскими учеными и специалистами от промышленности. Материалы конференции в виде сборника статей можно посмотреть на сайте Белорусско-Российского университета [www.bru.by](http://www.bru.by).

Следующая 7-я международная научно-техническая конференция намечена к проведению в 2020 году.

*См. 4-ю страницу обложки*

*Статья поступила в редакцию 09.10.17*