

Секция
НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ, МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ И ИНДУСТРИЯ
4.0

Руководители: Маев Р.Г., Сясько В.А., Гоголинский К.В.

Революционные преобразования современного производства ставят перед специалистами в области НК и ТД много вопросов: от утилитарных до философских. Так и эта, впервые проводимая в рамках конференции, секция является первым небольшим шагом на пути достижения глобальной цели – разработка принципов построения и реализация сетей связанных автономных распределенных измерительных преобразователей, образующих большие системы в пределах инфраструктуры распределенных «умных» производств, развитии инженерных дисциплин в области физики методов НК, приборостроения, программирования и др. как основы обеспечения долговременного функционирования этих систем на базе реалистичных многоуровневых моделей, встроенных в кибер-физические системы, использующих машинное обучение как основу реализации принципов искусственного интеллекта при переходе от выходного НК к сплошному мониторингу состояния и обеспечению системы достоверной ТД. В рамках работы секции были рассмотрены принципы построения измерительных преобразователей, их метрологического обеспечения, а также валидации моделей, вопросы стандартизации. Часть докладов была посвящена практической реализации измерительных преобразователей и систем, отвечающих принципам инициативы «Индустрия 4.0». Были представлены доклады, в том числе, зарубежного академика РАН Р.Г. Маев (Канада), ректора Южно-Уральского университета профессор А.Л. Шестаков, вице-президента Фраунгоферовского института Б. Валеске (Германия), вице-президента Китайского общества неразрушающего контроля профессора Лю Сонгпина, ученых из ВНИИМ им. Д.И Менделеева и других специалистов. Программа работы секции состояла из двух частей.

I. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ РАЗВИТИЯ СРЕДСТВ И МЕТОДОВ НК В ЭПОХУ 4-Й ПРОМЫШЛЕННОЙ РЕВОЛЮЦИИ.

В первой части секции было представлено 11 докладов.

Доклад Р.Г. Маева «NDE 4.0. NEW APPROACHES FOR “ZERO-DEFECTIVE” MASS-MANUFACTURING PRODUCTION USING ULTRASONIC REAL-TIME MONITORING OF BONDED JOINTS QUALITY BASED ON DEEP LEARNING NEURAL NETWORK FOR MACHINE LEARNING ALGORITHMS» был посвящен анализу перспективных концепций исключения ошибок при неразрушающем контроле на примере автоматизированного анализа качества точечной сварки в реальном времени (в процессе сварки) с помощью ультразвукового В-сканирования формирующегося свариваемого металла с помощью глубокого обучения, позволяющего классифицировать сварные (хорошие, приемлемые или плохие) и вносить корректирующие поправки в сварочный процесс, что делает ревалюционным сам процесс сварки с мониторингом этого процесса с элементами технической диагностики.

В докладе Б. Валеске «NDT4.0 – ASSISTANCE SYSTEMS, INTERFACES AND NETWORKED NDT PROCESSES WITH SENSOR AND DATA INTELLIGENCE FOR SERVICES AND AUTOMATED DEVICES IN DIGITAL ENVIRONMENTS» выполнен анализ систем НК в изменяющемся промышленном производстве, что позволяет позиционировать его как NDT 4.0 – логическую составную часть INDUSTRY 4.0. Представлен обзор выполненных работ в области: универсальных платформ и электронных интерфейсом со стандартизованным форматом данных, технологий

генерации информации, передовых методов обработки измерительной информации с использованием машинного обучения и искусственного интеллекта. Представлены первые демонстрационные проекты, представляющие возможности концепций NDT4.0: - интеллектуальная модульная система человеко-машинной помощи с интегрированным интерфейсом для выполнения тестов, документирования тестовых данных и оценки данных; - ультразвуковая и вихретоковая система с развитым интерфейсом для взаимодействия человека с машиной и межмашинной связи; - интегральный датчик, реализующий концепцию "все на чипе" для хранения информации о изделии, настройках и результатах контроля; - система объединения данных испытаний с многоуровневой моделью объекта и производственного процесса в едином формате с использованием открытых унифицированных интерфейсов для ультразвуковых, вихретоковых и микроволновых систем. Представлены прототипы разработок модулей для умных производств.

Доклад В.А. Сясько и К.В. Гоголинского «АКТУАЛЬНЫЕ ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ МЕТРОЛОГИИ И ПРИБОРОСТРОЕНИЯ В ОБЛАСТИ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ, ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ И МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ, СВЯЗАННЫЕ С ТЕНДЕНЦИЯМИ ЦИФРОВИЗАЦИИ ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ЭКОНОМИКИ» является завершающим в исследованиях, посвященных указанным в названии проблемам применительно к интенсивно развивающимся умным распределенным производствам. Рассмотрены проблемы и задачи объединения в единую распределенную сеть средств измерения (СИ) и НК разных производителей, создания систем НК, функционирующих без человека, выработки единых подходов разработки, аттестации и применения цифровых моделей «система НК- объект контроля», разработке соответствующих стандартов и принципов метрологического обеспечения, в частности: - разработка и внедрение методических основ и технических решений при создании «интеллектуальных» многопараметрических датчиков; - разработка новых методов метрологического обеспечения многопараметрических измерений, включая измерения при НК с целью повышения достоверности результатов НК, а также автоматической адаптации средств НК к изменению параметров контролируемого объекта или окружающей среды; - разработка стандартов на методы и средства самодиагностики и автокоррекции СИ и НК, функционирующих в автоматическом режиме, а также их метрологическое обеспечение; - разработка средств и методов метрологического обеспечения цифровых моделей и встраивания виртуальных СИ и эталонов в цепи прослеживаемости; - разработка стандартов для аттестации (верификации и валидации) цифровых моделей объектов контроля и средств НК.

В рамках двухстороннего научно-технического сотрудничества Российского и Китайского национальных обществ был представлен доклад Лю Сонгпина и Лю Фейфей «CHINA SOCIETY OF NON-DESTRUCTIVE TESTING. BASIC TECHNICAL CONSIDERATION AND ACTION FOR INDUSTRY 4.0 IN COMPOSITES NDT&E DIRECTION», в котором, помимо общих вопросов, касающихся перехода от традиционного НК к НК 4.0, подробно рассмотрены проблемы развития технологий производства композитных материалов до уровня Индустрии 4.0, в связи с которыми возникли новые практические требования к инновационным технологиям НК. Рассмотрены решения в области исследований, разработки и применения методов и систем НК композитов, некоторые основные технические идеи и последние действия в области NDT&E 4.0 для Индустрии 4.0 умных производств авиационной техники.

С фундаментальным докладом «РАЗВИТИЕ МЕТРОЛОГИИ В КОНТЕКСТЕ ЧЕТВЕРТОЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ РЕВОЛЮЦИИ» выступили сотрудники ВНИИМ им.

Д.И. Менделеева Р.Е. Тайманов и К.В. Сапожникова. В докладе были рассмотрены следующие вопросы: - расширение спектра величин, требующих измерения и мониторинга их состояния (переход к многопараметрическим измерениям, усложнение моделей, необходимость мониторинга характеристик пространственно-разнесенных объектов, увеличение числа каналов измерения и объема данных при необходимости виртуальных испытаний систем и расширения межповерочного интервала при обеспечении требуемой достоверности информации); - автоматизация метрологического обеспечения в процессе эксплуатации (стремительно увеличивающееся число датчиков многоканальных распределенных систем измерения не должно приводить к снижению достоверности результатов при условии расширения межповерочных интервалов при условии выполнения самокалибровки и самовосстановления характеристик). Приведен пример и подробно описаны характеристики первых в мире измерительных систем с функциями самоконтроля: прямыми и диагностическими, в основе которых обеспечение избыточности различного типа с целью контроля критических составляющих погрешности и ее корректировки. Рассматриваемое направление актуально для всех видов измерения, в том числе НК. В будущем при условии широкого использования СИ и МИС с МСК, а также встроенных в аппаратуру серийных квантово-механических эталонов для большей части средств периодическая поверка или калибровка не потребуется. Достаточно будет заменять их как морально устаревшие, в среднем, через 10 – 15 лет.

Четвертая промышленная революция, приведшая к возникновению Индустрии 4.0. предполагает более широкое применение информационных технологий, путем трансформации предприятия в «цифровое». В ПАО «Газпром нефть» цифровую трансформацию рассматривают как важнейший фактор роста, чему был посвящен доклад А.А. Кирьянова (Газпромнефть) «АКТУАЛЬНЫЕ ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ МЕТРОЛОГИИ В НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ В ЭПОХУ ЦИФРОВИЗАЦИИ». До 2030 года Компания предполагает создание собственной единой цифровой платформы и переход на управление бизнесом на основе данных при помощи искусственного интеллекта, в том числе в области измерений, НК и МС технологического оборудования. При этом главными вопросами будут: метрологическое обеспечение цифровой платформы (при обеспечении самодиагностики, самокалибровки, дистанционной поверки); построение защищенных распределенных информационно-измерительных систем на основе облачных вычислений; метрология цифровых двойников на основе моделирования процессов и объектов). За последние два года компания реализовала успешные проекты в области внедрения систем с искусственным интеллектом, предиктивной аналитики, промышленного интернета вещей, использования технологии блокчейн. Высокую эффективность показали первые разработки цифровых двойников скважин, буровых и нефтеперерабатывающих установок. Это позволяет использовать полученные результаты для выработки решений в области обеспечения единства измерений для развития цифровых технологий в области измерений, НК и МС.

Важным направлением развития систем НК и МС является использование риск-ориентированного подхода. Комплексный подход к проблеме обеспечения надежности технологического оборудования с применением этого подхода проанализирован А.Б. Самохваловым («ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПЛАНИРОВАНИЯ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РИСК-ОРИЕНТИРОВАННЫХ ПОДХОДОВ») на примере обобщенной модели технического обслуживания и НК сосудов давления, насосов и компрессоров, учитывающей конструктивные особенности, условия эксплуатации, механизмы возникновения повреждений, виды отказов и их последствия, стратегии технического обслуживания и диагностики, историю техобслуживания и блок планирования. В ходе исследования предложенная модель реализована для установки первичной переработки нефти. Модель

составлена для предприятий нефтеперерабатывающей отрасли с использованием методик RBI и RCM, но, с учетом соответствующих модификаций, может применяться более широко. Полученная информация использована для оптимизации планов применения НК в рамках предприятия с целью увеличения эффективности диагностики и технического обслуживания оборудования, снижения рисков и повышения надежности технологических процессов.

В докладе Г.Я. Буймистрюка «НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ ВСТРАИВАЕМОЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОЙ СЕНСОРИКИ» рассмотрены возможности интеллектуализации неразрушающего контроля изделий, состоящей в обеспечении их диагностического самоконтроля исправности (достоверности показаний) и метрологического самоконтроля погрешности (точности измерений) встроенных малоразмерных волоконно-оптических датчиков (микронного и субмикронного размера) в процессе их эксплуатации при контроле недопустимых внутренних напряжений, с помощью передовых аддитивных технологий. Основой реализации является то, что выходные сигналы волоконно-оптических сенсоров по своей физической природе мультимодальны (изменяемыми параметрами их сигналов являются взаимосвязанные амплитуда, фаза, частота и поляризация), что позволяет, за время меньшее времени изменения большинства контролируемых процессов, калибровать (градуировать) датчики в отсутствие эталонов, изменяя с помощью встраиваемых оптико-электронных элементов один из четырех параметров, при условном постоянстве других. Обосновано, что разработка и применение технологий сенсорного слияния многопараметровой информации от волоконнооптической сенсорной сети малоразмерных и нервоподобных интеллектуальных датчиков является ключевой тенденцией развития систем оптического НК.

«КОНЦЕПЦИЯ МОБИЛЬНОГО МОДУЛЬНОГО МАТЕРИАЛОВЕДЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА НА ОСНОВЕ AR-ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ НУЖД ОБРАЗОВАНИЯ, ПРОИЗВОДСТВА И НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ» была рассмотрена коллективом авторов: Ганзеным М.А., Воробьевым К.А., Михрютиной А.В., Мусиновым В.В., Серовым Р.А. из Рыбинского государственного технического университета, которыми предлагается использовать технологии дополненной реальности (AR) в процессе обучения студентов технических специальностей, в том числе в области НК. При использовании комплекса в учебном процессе предполагается взаимное обучение студента и слабого искусственного интеллекта под контролем тьютора (опытного преподавателя). При этом система генерирует набор возможных ответов (подсказок), а студент итерационным методом выбирает наиболее правильное решение. Таким образом, одновременно, в интерактивном режиме происходит обучение и студента и системы искусственного интеллекта (нейросети). При применении в промышленности, в базу данных комплекса могут быть загружены цифровые двойники технологий сборки, дефектоскопии и ремонта ответственных изделий (в качестве примера авторами доклада рассматривались современные и перспективные газотурбинные двигатели).

Весьма содержательным представляется материал исследований коллектива авторов Маркова А.А., Максимовой Е.А., Полонского Н.В. (ОАО Радиоавионика) «МОНИТОРИНГ РАЗВИТИЯ ДЕФЕКТОВ РЕЛЬСОВ ПРИ МНОГОКАНАЛЬНОМ УЛЬТРАЗВУКОВОМ КОНТРОЛЕ». Оценка сигналов от дефектов рельсов усложняется тем, что диагностические средства осуществляют многоканальный и многометодный контроль. Кроме того, средства разработаны разными производителями, имеют разные схемы прозвучивания и разную специфику отображения дефектоскопических сигналов. Для их оценки предлагается использовать интегральные параметры, охватывающий

контролируемые параметры на основании типовых моделей дефектов. С использованием разработанной на основании данного подхода методики были проанализированы десять реальных развивающихся дефектов разного типа в головке рельсов с момента их развития до изъятия рельсов. Результаты исследования показали, что используя предлагаемый параметр, возможно усовершенствовать алгоритмы автоматической расшифровки сигналов от дефектов на фоне шумов и ложных отражений в процессе мониторинга. Предложенные подходы могут быть использованы при мониторинге развития дефектов и в других отраслях НК.

Доклад Е.В. Абрамовой «ОЦЕНКА ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЕПЛОВЫМ МЕТОДОМ. МЕТОДИКИ КОНТРОЛЯ» посвящена практической реализации системы мониторинга сопротивления теплопередачи в условиях нестационарных условий окружающей среды на основе многоуровневых моделей «дефектоскоп/ограждающая конструкция», учитывающих основные требования существующей и перспективной нормативной документации, и разработке единой технологии контроля с учетом современной теории и практики теплового контроля.

II. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ И ДАТЧИКИ

Во второй части секции было представлено шесть докладов.

Перспективы применения концентрационных элементов из одной жилы кабеля из меди или нержавеющей стали для задач измерения уровня однофазных или двухфазных жидких сред (например, пар - вода) и реализации метрологического самоконтроля кондуктометрических и емкостных уровнемеров дискретного типа рассмотрены в докладе А.А. Калашникова «УРОВНЕМЕРЫ С ФУНКЦИЕЙ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО САМОКОНТРОЛЯ НА ОСНОВЕ КОНЦЕНТРАЦИОННОГО ЭФФЕКТА».

«ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ СИЛЫ СОВОКУПНЫМ МЕТОДОМ» для больших значений силы (свыше 1 МН) рассмотрены сотрудниками ВНИИМ им. Д.И. Менделеева А.Ф. Остривным и И.Ю. Шмигельским. Метод совокупных измерений силы заключается в одновременном нагружении измеряемой силой нескольких предварительно отградуированных силоизмерительных датчиков, находящихся между двумя жесткими плоскостями. В условиях эксплуатации неизбежно появление систематических погрешностей, связанное с нестабильностью градуировочных характеристик. Основными влияющими факторами при выявлении систематической погрешности каждого отдельного датчика в группе являются геометрия силовведения и возможное перераспределение силы. Соблюдение условий компланарности позволяет путем сравнения показаний датчиков между собой с применением специальной математической модели выявлять появление систематической погрешности измерений и на этой основе в течение длительного времени эксплуатации обеспечивать метрологический самоконтроль измерительной системы.

Четыре доклада были представлены группой студентов и аспирантов Южно-Уральского государственного университета и их научным руководителем А.Л. Шестаковым.

И.И. Федосов, А.Л. Шестаков «КОНЦЕПТ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ ДАТЧИКОВ ТЕМПЕРАТУРЫ». Рынок средств измерения температуры составляет более 20 % от мирового рынка устройств для измерений и испытаний. Статистические данные показывают, что до 15 % аварий энергетического оборудования вызваны выходом из

стройка измерительных систем, в том числе средств измерения температуры. В работе предложен концепт системы диагностики контактных средств измерения температуры, которая позволит увеличить точность и надежность измерения температуры при сохранении простоты внедрения и стоимости владения для пользователя. Система основана на получении дополнительной диагностической информации и будет совместима с существующими типами контактных средств измерения температуры и интерфейсами взаимодействия с АСУТП. Основным элементом новизны системы – диагностические модели для одной или группы термодпар на основе классических математических моделей и моделей, управляемых данными, критерии оценки текущего состояния термодпары и качества теплового контакта с объектом измерения, метод компенсации дополнительной погрешности, метод оценки остаточного эксплуатационного ресурса.

Ш.Ш. Кодиров, А.Л. Шестаков «РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЙ КОЛОННЫ БУРИЛЬНЫХ ТРУБ НА ПРЕДМЕТ РИСКА ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПРИХВАТОВ».

Наиболее распространенным и трудоемким видом аварий в процессе бурения скважин является прихват бурильной колонны - непредвиденный процесс при сооружении скважин, характеризующийся потерей подвижности колонны труб или скважинных приборов при приложении к ним максимально допустимых нагрузок с учетом запаса прочности труб и применяемого оборудования. На основе искусственных нейронных сетей, разработана модель диагностирования и прогнозирования прихватов на стадии проектирования строительства и в процессе бурения скважины на основании анализа шестнадцати параметров с их бинаризацией. В разработке полученной модели диагностирования и прогнозирования применялись важные и обобщающие косвенные диагностические показатели, влияющие на возникновение всех видов прихватов, что позволяет прогнозировать все виды прихватов колонн бурильных труб; применяемый способ преобразования элементов входных данных позволяет полученной модели нейронной сети адаптироваться к новым выборкам, в том числе от скважин различных месторождений; экспериментальным способом обоснована архитектура сети и выявлены наилучшие гиперпараметры, а также комбинация активационных функций, которые позволили получить оптимальную модель для решения данной задачи; полученная модель позволяет произвести процедуру диагностирования и прогнозирования прихватов на стадиях проектирования и в процессе бурения скважины, что позволит минимизировать риски возникновения непредвиденных аварий (прихватов).

В.В. Синицин, А.Л. Шестаков «МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ О ТЕХНИЧЕСКОМ СОСТОЯНИИ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО МЕХАНИЗМА С ЕГО ВРАЩАЮЩЕГОСЯ ВАЛА». Крутильные колебания иногда несут значительную диагностическую информацию о состоянии машины. Авторами разработан и изготовлен прототип (экспериментальный образец) датчика ускорений, который содержит три равноудаленных от центра вала в одной плоскости одноосевых акселерометра. Датчик ускорений закрепляется на валу машины-симулятора для получения первичный «сырых» данных. Двигатель симулятора раскручивается от состояния покоя до заданной частоты вращения. В результате, получены ускорения, измеряются акселерометрами датчика. Испытания прототипа датчика ускорений для получения расширенной диагностической информации непосредственно с вращающегося механизма показали, что датчик обладает высокой чувствительностью к собственным частотам механической системы. Данный факт может свидетельствовать о том, что вал имеет существенно большую чувствительность к вынужденным и собственным колебаниям – колебаниям, вызванным

работой и дефектами механизма. Таким образом, применение предложенного метода перспективно для обнаружения зарождающихся дефектов механизмов.

Е.С. Тугова, О.Ю. Бушуев, Д.Д. Салов, Е.А. Бобков «ДИАГНОСТИКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДАТЧИКА ДАВЛЕНИЯ ШТУЦЕРНОГО ИСПОЛНЕНИЯ». Штатная электроника датчиков давления позволяет обнаружить ряд неисправностей чувствительного элемента, но не проблемы, происходящие с механико-гидравлической системой датчика давления, такими как точечная коррозия или вытекание жидкости. В работе исследовались датчики для измерения избыточного давления - изменение состояния механико- гидравлической системы преобразователя. Датчики испытывались на гидропроливочном стенде при разных значениях давления рабочей среды, далее данные с них записывались и обрабатывались. Статистические характеристики исправных и неисправных модулей сравнивались между собой. В результате было установлено, что среднеквадратичное отклонение (СКО) кодов на выходе АЦП в случае исправных датчиков в технологическом процессе зависит от значения давления рабочей среды, напротив, при наличии неисправности (вытекание жидкости более 10 %) – СКО становится минимальным и не зависит от входного давления. Таким образом, СКО может служить признаком возникновения данного вида неисправности при наличии достаточного уровня шума в системе.

По результатам работы секции принято решение об организации рабочей группы, целями которой будет являться формирование задач и программы работы в области стандартизации и метрологического обеспечения распределенных измерительных средств и систем НК и МС, а также систем моделирования, сбора и обработки измерительной информации для кибер-физических систем и перспективных умных производств.

