

# УЧЕНЫЕ – ИЗОБРЕТАТЕЛИ

## УЛЬТРАЗВУКОВЫХ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ

### К 90-летию изобретения С.Я. Соколова. Обзор.\*

#### Часть 2. Этап интеллектуальных технологий ультразвукового контроля



**БОБРОВ Владимир Тимофеевич**

Д-р техн. наук, проф., главный научный сотрудник  
ЗАО «НИИИИИ МНПО «Спектр», Москва

...в стороне от базара и славы жили издавна  
изобретатели новых ценностей.

*Фридрих Ницше*

Говоря о перспективах применения ультразвука, Сергей Яковлевич Соколов отмечал: «Сейчас в них мало кто верит, а они будут гигантскими, и вы еще сами убедитесь в этом». Что же, нам, его наследникам, не только довелось убедиться в справедливости его пророческих слов, но и стать исполнителями его заветов и творцами новейших концепций и принципов информационных и интеллектуальных технологий ультразвукового контроля.

#### Концепция интеллектуальных технологий УЗ-контроля

*Спираль истории..., выражение это справедливо применительно ко всем явлениям и сторонам человеческой деятельности. В этом понятии и неизбежность ухода одних поколений, и оптимизм прихода других... В этом понятии и неизбежность смены старых представлений и появления новых концепций. И, наконец, необходимость замены технологий прошлого новейшими, в этом — залог прогресса, залог развития.*

Появление новых задач, новых технологий производства, основанных на применении материалов с существенно отличающимися свойствами, потребовало развития новых подходов к исследованию и разработке новых методов комплексной диагностики и, наконец, разработки интеллектуальных технологий неразрушающего контроля и технической диагностики (НК и ТД).

Концепция интеллектуальной технологии комплексного диагностирования опирается на применение информационных (цифровых) и телекоммуникационных технологий, обеспечивающих повышение качества и производительности диагностирования объектов контроля (ОК), снижение негативного влияния человеческого фактора и аварийности в процессе эксплуатации. Эффективное выполнение этих задач достигается благодаря широкому внедрению достижений современных информационных и интеллектуальных технологий, обеспечивающих автоматическое управление процессом диагностирования, обработку информативных сигналов, регистрацию результатов диагностирования, передачу данных в центры принятия решений о продолжении эксплуатации, выводе объекта диагностирования из эксплуатации и ремонте, а также сохранении информации в единой базе данных.

При разработке интеллектуальной технологии диагностирования решаются задачи создания комплексных методов и программно-аппаратных систем автоматизированного неразрушающего контроля и технической диагностики, обеспечение оперативного обмена информацией, применение спутниковой навигационной связи, создание единых баз данных.

Принципы интеллектуальной диагностики включают оперативность проведения диагностических работ, прогнозирование периода безопасной эксплуатации ОК, своевременное предупреждение об опасности отказов на основе прогнозирования скорости развития дефектов.

К основным требованиям к новой технике НК и ТД относятся применение цифровых технологий, разработка алгоритмов и программное обеспечение, дистанционное управление, автоматическая обработка и регистрация информации, возможность обмена информацией в сетях (выходы на ПК и GPS), минимизация влияния воздействующих

\* Часть 1 см. «Территория NDT». 2018. №4. С. 38

факторов (например, качества поверхности ОК, качества акустического контакта и др.).

Выбор методов и технологий НК и ТД, не влияющих на процесс функционирования ОК, обеспечивается использованием дистанционных и бесконтактных способов и аппаратуры НК и ТД, снижением требований к подготовке объекта контроля к процессу диагностирования.

Для снижения доли человеческого субъективизма (негативного влияния человеческого фактора) применяются робототехнические комплексы, самодиагностика средств НК и информирование оператора об их отказах в процессе обследования ОК, автоматическая идентификация аномалий, введение электронных форм отчетности.

Интеллектуализация предполагает повышение экономичности технологии диагностирования, обеспечение уменьшением трудозатратных операций, снижением доли использования ручных операций (замена традиционных средств НК и ТД цифровым оборудованием, сканерами-дефектоскопами и др.).

Все эти принципы реализованы учеными и специалистами в последние десятилетия прошлого и первые годы нового веков.

## Научные школы конца XX – начала XXI веков

Примером реализации принципов интеллектуальной технологии могут служить созданные учеными и специалистами известных научных школ и возникающих в последние десятилетия новых фирм и предприятий методы, приборы и комплексы НК и ТД в процессе производства и эксплуатации ответственных конструкций и сооружений.

### Научная школа МЭИ

Научную школу МЭИ «Ультразвуковая помехоустойчивая дефектоскопия крупногабаритных изделий и материалов с большим затуханием ультразвука и сложной неоднородной структурой» вот уже около пятидесяти лет возглавляет д-р техн. наук проф. Владимир Клементьевич Качанов. Становление научной школы сопровождалось созданием нового направления, основанного на использовании радиотехнических методов в ультразвуковой дефектоскопии.

Среди наиболее существенных приоритетных достижений, созданных научной школой МЭИ и получивших широкое применение, следует отметить:

- впервые предложенные УЗ-пьезопреобразователи (ПЭП) на основе мозаичных конструкций;
- конструкции высокочувствительных мозаичных фокусирующих ПЭП, которые в настоящее время широко используются в УЗ-приборах;
- принципы создания мозаичных ПЭП различного назначения как гибких многофункциональных устройств, которые в зависимости от конфигурации могут выполнять целый спектр задач УЗ-контроля;
- высокочувствительные широкополосные мозаичные пьезопреобразователи, представляющие собой набор электрически объединенных разновысоких пьезоэлементов, соответствующий выбор

которых позволяет повышать чувствительность и полосу частот преобразования в несколько раз.

Учеными МЭИ разработан целый ряд новых методов помехоустойчивого УЗ-контроля, в которых используются линейная оптимальная фильтрация, синхронное детектирование, корреляционная обработка принимаемых сигналов, что позволило существенно увеличить отношение сигнал/шум, динамический диапазон принимаемых сигналов и повысить абсолютную чувствительность УЗ-контроля.

Для контроля изделий с ярко выраженной неоднородной структурой и с большим уровнем структурных помех была разработана теория выделения сигналов из структурного шума, основанная на положениях статистической радиотехники. Были разработаны методы пространственно-временной обработки сигналов, позволяющие выделять полезные сигналы из коррелированных с этими сигналами структурных помех. Эти методы позволили уверенно контролировать как полимерные композиционные материалы, так и сложноструктурные бетоны и металлы, в том числе чугуны, колокольную бронзу старинного литья. Была создана аппаратура для помехоустойчивого контроля изделий из колокольной бронзы и проконтролированы такие уникальные памятники отечественной культуры, как Царь-колокол, действующие колокола в звоннице колокольни Ивана Великого Московского кремля, колокола строившегося храма Христа Спасителя, колокол «Большой» исторического комплекта колоколов Данилова Монастыря г. Москвы.

Начиная с середины 1990-х гг. начаты разработка и создание помехоустойчивых методов, способов обработки специальных сигналов непосредственно для задач УЗ-контроля изделий с большим затуханием ультразвука и сложной неоднородной структурой, создание новых помехоустойчивых широкополосных сложномодулированных сигналов (сплит-сигналов) специально для задач УЗ-контроля сложноструктурных изделий, новые методы обработки сложномодулированных сигналов, работы по УЗ-томографии бетонов, по разработке новых методов контроля крупногабаритных изделий из бетонов (толщиной до 2 м и более) на основе использования собственных частот изделий и др.

В 2000-е гг. в МЭИ создан универсальный, не имеющий аналогов программно-аппаратный многофункциональный адаптивный измерительный комплекс (ИК), реализующий простые и сложномодулированные сигналы, алгоритмы их радиотехнической обработки, обеспечивающий помехоустойчивые методы акустического контроля. ИК позволяет программным образом адаптивно подстраивать параметры сигналов (частоту, полосу,



В.К. Качанов



А.Х. Вopilкин

базу, вид модуляции и др.) под характеристики контролируемого изделия, реализовывать новые методы контроля, способы обработки сигналов, методы анализа структуры материалов. Универсальный ИК дает возможность осуществлять УЗ-контроль широкого круга изделий из сложноструктурных материалов, широко применяемых в оборонной, космической и других отраслях промышленности.

Результаты исследований ученых МЭИ отличаются новизной и оригинальностью. На технические решения, полученные в процессе исследований д-ром техн. наук, проф. В.К. Качановым, д-ром техн. наук, проф. В.Г. Карташевым, д-ром техн. наук, проф. И.В. Соколовым и др., выдано более 40 авторских свидетельств СССР и патентов РФ.

В.К. Качанов активно участвует в подготовке научных кадров, под его руководством защищены докторская и 6 кандидатских

диссертаций, он является членом диссертационного совета МЭИ.001 по научной специальности 05.11.13 «Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий (технические науки)».

### Научная школа «ЭХО+»

Основателем и руководителем ООО «Научно-производственный центр «ЭХО+» (НПЦ «ЭХО+»), ставшего за 29 лет успешной работы флагманом отечественного автоматизированного УЗ НК опасных промышленных объектов, является д-р техн. наук, проф. Алексей Харитонович Вopilкин. За эти годы компанией разработана и выпускается линейка автоматизированных комплексов УЗ-контроля, обеспечивающих эксплуатационную надежность опасных промышленных объектов, в первую очередь атомных электростанций. В этих разработках реализованы новые принципы и алгоритмы получения изображений дефектов (в том числе с применением фазированных антенных решеток, таких как 3D-C-SAFT), когерентная ультразвуковая голография и др., позволившие создать уникальный автоматизированный комплекс с полным циклом автоматизации, исключаящий влияние субъективного фактора на результаты контроля.

Продукция компании эксплуатируется на всех российских и ряде зарубежных атомных электростанций, в системе ПАО «Газпром», ПАО «Транснефть», ОАО «РЖД» и др. Разработки компании

не раз награждались дипломами и медалями на российских и международных выставках. Внедрение этих разработок дает значительный технико-экономический эффект, исчисляемый многими сотнями миллионов рублей. Это происходит за счет уменьшения объема необоснованного ремонта, снижения дозозатрат на операторов, повышения производительности контроля и др. Так, например, экономический эффект от сокращения простоя энергоблоков на одной лишь Ленинградской атомной электростанции в 2000 г. составил 120 млн руб.

Под руководством д-ра техн. наук, проф. А.Х. Вopilкина работают талантливые ученые, инженеры, конструкторы, в том числе д-ра техн. наук В.Г. Бадалян и Е.Г. Базулин, шесть кандидатов наук. За эти годы выпущено и внедрено более 140 комплектов систем, разработаны и аттестованы 32 руководящих документа. А.Х. Вopilкиным создана научная школа, занимающаяся разработкой приоритетного направления «Ультразвуковая дефектометрия энергетического комплекса страны», обеспечивающего эксплуатационную надежность опасных промышленных объектов.

Исследуя особенности ультразвукового поля в неоднородных средах, А.Х. Вopilкин внес существенный вклад в развитие теории дифракции ультразвуковых волн в твердом теле. Им предложена четырехуровневая классификация типов дифракции, объяснены многие ранее не исследованные физические эффекты, связанные с образованием и распространением головных и боковых волн. На основе проведенных исследований разработаны и реализованы на практике методики повышения информативности УЗ-контроля. Успех компании обеспечен благодаря проведению научных исследований в области формирования изображений внутреннего сечения объектов (когерентная обработка УЗ-сигналов, акустическая голография, многоэлементные антенные системы), разработке методологии, технологии и инструкций проведения автоматизированного УЗ-контроля, в том числе с дефектометрическим режимом, с применением УЗ-фазированных решеток и цифровой фокусировки антенной решетки, TOFD.

А.Х. Вopilкин – член НТС ПАО «Газпром» и концерна «Росэнергоатом», член двух советов по присуждению ученых степеней – при МЭИ и при ЗАО «НИИ интроскопии МНПО «Спектр» по специальности 05.11.13 «Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий», вице-президент Российского общества по неразрушающему контролю и технической диагностике, академик Академии медико-технических наук, член-корреспондент Академии электротехнических наук РФ.

А.Х. Вopilкин является автором и соавтором более 130 публикаций, в том числе 9 монографий, 5 научно-методических пособий, более 60 изобретений и патентов, в которых закреплен приоритет Российской Федерации в области создания новых технологий УЗ-дефектометрии опасных промышленных объектов.

В 2006 г. группа специалистов компании удостоена Премии Правительства РФ по науке и технике (руководитель авторского коллектива А.Х. Вopilкин, В.Г. Бадалян, Д.С. Тихонов) «За создание и промышленное внедрение технологий комплексной диагностики, методов и импортозамещающих приборов с целью снижения аварийных ситуаций на потенциально опасных объектах». За достигнутые трудовые успехи, многолетнюю добросовестную работу генеральному директору ООО «НПЦ «ЭХО+» Алексею Харитоновичу Вopilкину в 2019 г. объявлена Благодарность Президента Российской Федерации.

#### Развитие идей научной школы НИИ мостов

Создателем научной школы НИИ мостов является профессор Анатолий Константинович Гурвич, под руководством и при участии которого созданы общая теория НК, новые принципы, методы и средства УЗ-дефектоскопии. Идеи научной школы НИИ мостов получили широкое развитие при решении проблем создания аппаратно-программных комплексов автоматической диагностики инфраструктуры железнодорожного транспорта и метрополитена.

Весомый вклад в решение этих проблем внесли канд. техн. наук В.А. Лончак (ВНИИНК, НПЦ «РДМ»), д-р техн. наук А.А. Марков (НИИ мостов, АО «Радиоавионика»), канд. техн. наук В.Ф. Тарабрин (ГК «ТВЕМА»). Их исследования и изобретения явились основой для разработки методов и создания оборудования ультразвукового контроля рельсов, уложенных в пути, – вагон-дефектоскопов, автотрис дефектоскопных и других средств автоматической диагностики рельсов.

Во ВНИИНКе с участием НИИ мостов был выполнен комплекс НИОКР по совершенствованию методов УЗ-дефектоскопии рельсов в пути (канд. техн. наук В.А. Лончак, канд. техн. наук П.Ф. Шаповалов и др.). Под руководством Виктора Андреевича Лончака применительно к условиям контроля железнодорожных рельсов, уложенных в пути, теоретически и экспериментально были исследованы характеристики помех и сигналов о дефекте при использовании пьезоэлектрических и электромагнитно-акустических преобразователей. На основе этих исследований ВНИИНКом были разработаны два поколения вагон-дефектоскопов и агрегатированных съемных рельсовых УЗ-дефектоскопов, предназначенных для замены всего парка эксплуатируемых приборов. Многие годы для контроля рельсов в пути использовались несколько тысяч дефектоскопов, выявлявших абсолютное большинство недопустимых внутренних дефектов в основном металле, болтовых и сварных стыках рельсов. Они были самыми массовыми специализированными дефектоскопами – выпущено более 7 тыс. шт. съемных дефектоскопов, аппаратуры «Поиск-6» для УЗ-вагон-дефектоскопов и автотрис с обработкой и регистрацией информации на ЭВМ.

В основе реализованных в этих приборах технических решений более 30 изобретений

В.А. Лончака. В результате многолетней работы отдела, которым руководил В.А. Лончак, на железные дороги СССР были поставлены и успешно использовались средства отечественного производства для УЗ-дефектоскопии рельсов. Среди них УЗ-вагон-дефектоскоп, агрегатированный комплекс съемных рельсовых дефектоскопов «Рельс-4», «Рельс-5», «Рельс-6» (серебряная медаль ВДНХ, 1979 г.), универсальные рельсовые дефектоскопы «Поиск-2», «Поиск-10Э» (золотая медаль ВДНХ, 1986 г.).

В 1993 г. бывшими сотрудниками ВНИИНК, имеющими многолетний опыт работы в области УЗ-дефектоскопии, было создано НПЦ «РДМ». Учредителями компании стали Михаил Пинхасович Брандис – директор и канд. техн. наук Виктор Андреевич Лончак – директор по научной работе, возглавившие научные работы и новые разработки. Основу этих разработок составляют дефектоскопы для контроля сварки рельсов и труб, дефектоскопы для сплошного контроля рельсов как съемные, так и аппаратно-программные комплексы, монтируемые в вагоны-дефектоскопы и автотрисы.

Более 8000 дефектоскопов серии РДМ работают на железных дорогах стран СНГ и Балтии. Произведено свыше 700 тыс. шт. пьезоэлектрических преобразователей различных типов. Производственная база предприятия позволяет осуществить весь технологический цикл производства и испытаний продукции. На всю продукцию выданы сертификаты утверждения типа органами Госстандарта Республики Молдова, Российской Федерации, Украины, Беларуси и Казахстана.

Специалисты НПЦ «РДМ» принимают активное участие во внедрении собственных изделий и обучении обслуживающего персонала. За более чем 25 лет деятельности предприятием произведено и поставлено потребителям около 10 000 дефектоскопов различных модификаций. Среди них – дефектоскоп РДМ-2, производившийся с 1999 по 2006 гг. и ставший наиболее массовым рельсовым дефектоскопом, выпущенным в количестве 5000 штук. Специалисты компании оказывают действенную поддержку во вводе поставляемых средств в эксплуатацию и обучении операторов. Отличительной чертой, частью фирменного стиля компании являются проводимые НПЦ «РДМ» ежегодные семинары, в которых принимают участие специалисты в области дефектоскопии из Европы и стран СНГ.

Направление по разработке и производству средств НК в ОАО «Радиоавионика» возглавляет д-р техн. наук, зам. генерального конструктора по развитию методов и средств НК Анатолий Аркадиевич Марков. Это направление было организовано усилиями первого генерального директора



В.А. Лончак



А.А. Марков

организации Е.Э. Чернышева и чл.-кор. Академии транспорта РФ А.К. Гурвича при участии А.А. Маркова.

Учитывая сложную геометрию и условия эксплуатации рельсов, что затрудняло обнаружение дефектов, учеными и специалистами ОАО «Радиоавионика» под руководством и при непосредственном участии А.А. Маркова были выполнены исследования УЗ-способов контроля, обеспечивших повышение ве-

роятности обнаружения дефектов в головке, шейке и подошве рельсов. Более двух лет он руководил подразделением ультразвуковой и рентгеновской дефектоскопии на строительстве крупнейшего в Юго-Восточной Азии моста «ТХАНГ ЛОНГ» во Вьетнаме. Разработал теорию УЗ-контроля рельсов при непрерывном излучении упругих колебаний с применением эффекта Доплера.

По его инициативе ученые и специалисты компании впервые объединили акустические и магнитные методы в одном дефектоскопическом комплексе «АВИКОН-03» вагона-дефектоскопа, что повысило вероятность обнаружения дефектов до максимально достижимого значения. Успехи по развитию методологии НК рельсов и созданию принципиально новых приборов и установок позволили компании занять свою нишу в оснащении РЖД и выйти на зарубежный рынок.

Более чем 10-летний опыт работы с венгерской фирмой MAV KFV Kft позволил создать для диагностики рельсового пути стран центральной Европы дефектоскопическое оборудование для вагон-дефектоскопов, которые удовлетворяют всем европейским требованиям по выявляемости дефектов и успешно выдерживают ежегодные испытания на специальных полигонах, проводимых независимой немецкой фирмой.

А.А. Марков активно участвует в подготовке инженерных кадров для нужд железнодорожного транспорта. Понимая важность повышения уровня квалификации обслуживающего персонала при эксплуатации инновационных приборов дефектоскопии, в компании в начале 2000-х гг. создан центр подготовки «Радиоавионика», в котором уже повысили свою квалификацию более 3200 специалистов со всех железных дорог ОАО «РЖД» и других сопредельных государств. Специально для слушателей курсов подготовки разработчиками приборов написаны и изданы пять учебников по рельсовой дефектоскопии, созданы четыре компьютерные обучающие программы и снято три учебных фильма.

А.А. Марков – автор более 200 публикаций, в том числе пяти монографий, востребованных не только в нашей стране, и 85 изобретений.

С 1989 г. решением проблем диагностики железнодорожной инфраструктуры успешно занимается

ГК «ТВЕМА», возглавляемая канд. техн. наук Владимиром Федоровичем Тарабриным. Всего за без малого тридцать лет компанией разработано и внедрено более 50 видов различного оборудования и систем для диагностики железнодорожной инфраструктуры. «ТВЕМА» является единственным в мире производителем, имеющим в линейке продукции все виды средств диагностики и выполняющим все виды работ по их созданию, производству и обслуживанию.

В основу деятельности компании положены следующие принципы и подходы:

- поиск и совершенствование физических методов НК и ТД рельсового пути, систем сбора, обработки и регистрации информации на базе компьютерных технологий;
- разработка методологии, базирующейся на концепции комплексирования методов и оборудования НК и ТД инфраструктуры железнодорожного пути;
- разработка программного обеспечения средств НК и ТД и расшифровки результатов контроля инфраструктуры железнодорожного пути;
- разработка метрологического обеспечения средств НК и ТД инфраструктуры железнодорожного пути;
- разработка и поставка средств метрологической поверки, калибровки, настройки и проверки функциональных возможностей средств НК и ТД;
- аттестация и сертификация разрабатываемых средств НК и ТД рельсового пути;
- создание специализированного производственно-ремонтного центра;
- создание центра подготовки специалистов технической диагностики;
- создание лаборатории НК и ТД по оказанию услуг по контролю рельсового пути.

Исследования физических методов, разработка и производство инновационных многофункциональных комплексов НК и ТД железнодорожной инфраструктуры – автотрис, вагон-дефектоскопов, вагонов-путеизмерителей, вагонов-лабораторий различного типа, мобильных лабораторий дефектоскопии на комбинированном ходу, инфраструктурных диагностических поездов и вагонов – обеспечили лидирующее положение АО «Фирма «ТВЕМА» в оснащении отечественных железных дорог и метрополитенов современными средствами диагностики и позволили выйти на мировой рынок средств НК и ТД.

Наряду с традиционными проблемами повышения надежности и достоверности контроля, снижения негативного влияния так называемого человеческого фактора в последние годы остро встала задача повышения производительности контроля в связи с тенденцией развития скоростного движения. Исследования и разработки ученых и специалистов фирмы с привлечением интеллектуальных технологий позволили найти решение этих проблем.

Выявление дефектов рельсов на скорости 140 км/ч обеспечивается за счет того, что в состав

дефектоскопной системы входят следующие инновации:

- многоканальные аппаратно-программные комплексы с общим количеством УЗ-каналов до 36 шт.;
- технология УЗ НК рельсов, основанная на адаптивном пороге, позволяющая проводить автоматическую коррекцию чувствительности в каждом цикле излучения-приема УЗ-волн, исключая влияние на результаты контроля квалификации оператора и нестабильного акустического контакта;
- функции управляющего программного обеспечения, позволяющие посредством цветографического представления амплитуд сигналов улучшить отношение сигнал/шум;
- бесконтактная центрирующая и искательная системы, размещенные на ходовой тележке вагона, обеспечивающие высокоточное и стабильное позиционирование акустических блоков по оси рельса;
- перспективная конструкция системы подачи контактной жидкости, позволяющая повысить объем проконтролированного участка пути.

Технологии и оборудование фирмы работают в более чем 20 странах на четырех континентах. Совместно с ведущими компаниями различных стран реализовано больше десятка крупных проектов, например, таких как диагностический поезд для железных дорог Чехии, диагностический комплекс для метрополитенов «СИНЕРГИЯ», диагностическая автомотриса для Пекинского метрополитена. Ежегодно с помощью систем и оборудования фирмы проверяется более 3,6 млн км железных дорог и метрополитенов мира.

Сегодня «ТВЕМА» – это динамично развивающийся международный холдинг с управляющей компанией и высокотехнологичной производственной базой в Москве, филиалами в России и региональными представителями в Германии, Франции, Индии, Китае, Украине и Эстонии.

Фирма «ТВЕМА» активно участвует в: отечественных и зарубежных выставках, международных железнодорожных салонах, проведении демонстрационных поездок и испытаний диагностических средств на российских и зарубежных железных дорогах, в международных тендерах и конкурсах, совместных проектах с иностранными партнерами, оказании услуг аутсорсинга, подготовке специалистов технической диагностики. В настоящее время продукция фирмы «ТВЕМА» применяется на железных дорогах Германии, Польши, Чехии, Венгрии, Сербии, Израиля, Турции, Китая, Монголии, Гвинеи, Ливии, Украины, Беларуси, Туркменистана, Армении, Казахстана и Индии. При этом используются такие формы сотрудничества, как прямые поставки комплексов и выполнение совместных проектов.

Специалистами фирмы серьезное внимание уделяется комплексированию методов НК. Так, на основе этой технологии был изготовлен первый в России трехвагонный диагностический инфраструктурный комплекс «ИНТЕГРАЛ», предназначенный для комплексной диагностики объектов железнодорожной инфраструктуры. Ком-

плекс объединяет множество подсистем контроля, данные которых синхронизированы по единым географической и путевой координатам. Комплекс позволяет контролировать более 100 параметров технических объектов, выгодно отличается от зарубежных аналогов. При разработке комплекса впервые реализовано единое программное обеспечение, которое позволяет синхронизировать данные всех диагностических систем по единой координате на одном рабочем месте и проводить комплексный анализ результатов диагностики состояния инфраструктуры.

Специалистами отработана технология проверки пути комплексами на комбинированном ходу типа ЛДМ с набором различного диагностического навесного оборудования, аналогичного используемому на диагностических вагонах и самоходных комплексах. Эти машины и технологии хорошо вписываются в технологию диагностики малочисленных, стационарных и приемо-отправочных путей в России с минимизацией ручного труда и съемных средств контроля.

Развитие компании сопровождается постоянным притоком молодых специалистов. «ТВЕМА» регулярно привлекает к разработкам студентов старших курсов профильных московских вузов, которые впоследствии вливаются в коллектив компании.

Сложность и многофункциональность современной диагностической техники требует соответствующего уровня специалистов для ее эффективного применения. В связи с этим в 2009 г. на базе специализированного производственно-ремонтного центра фирмы «ТВЕМА» в Москве открылось негосударственное общеобразовательное учреждение дополнительного профессионального образования «Центр подготовки специалистов технической диагностики». Наряду с сотрудниками ОАО «РЖД» и российских промышленных предприятий в центре обучаются представители железных дорог стран СНГ и дальнего зарубежья. В центре подготовлено более 5000 специалистов, включая представителей стран, использующих диагностическую технику фирмы. Только за последние четыре года здесь было обучено около 200 специалистов диагностики Московского, Бакинского, Пекинского и Алма-Атинского метрополитенов.



В.Ф. Тарабрин



В.М. Бугаенко



А.А. Ткаченко

В учебном центре занятия проходят в аудиториях и лабораториях, оснащенных современными наглядными пособиями и оборудованием, стендами, тренажерами, компьютерными обучающими программами. При обучении используются действующие образцы диагностического оборудования как собственного изготовления, так и сторонних производителей. За прошедшие годы в стенах центра прошли подготовку специали-

сты из Армении, Казахстана, Туркменистана, Азербайджана, Украины, Монголии, Израиля, Китая и Чехии.

В 2014 г. АО «Фирма «ТВЕМА» вошла на правах присоединенного предприятия в Международную организацию сотрудничества железных дорог (ОСЖД), и это стало еще одним шагом на пути расширения международного сотрудничества с зарубежными партнерами. В 2015 г. производственная база фирмы стала площадкой для встречи специалистов в области диагностики европейских стран, входящих в ОСЖД.

В.Ф. Тарабрину удалось создать поистине творческий коллектив (зам ген. директора по стратегическому планированию В.М. Бугаенко, первый зам. ген. директора – технический директор С.А. Одынец, первый зам. ген. директора Е.В. Юрченко и др.), результаты исследований, как правило, публикуются совместно, оригинальные технические решения также совместно патентуются. Всего опубликовано более 50 научных статей и докладов, получено 12 патентов на изобретения и 12 патентов на полезную модель.

#### Развитие идей научной школы ВНИИНК

Базируясь на большом опыте предыдущих разработок и используя новые технологии, специалисты НИИНК (бывшего ВНИИНК) из Республики Молдова, возглавляемого д-ром техн. наук Андреем Акимовичем Ткаченко, в 2001 г. разработали многоканальный дефектоскоп нового поколения «Интроскоп-01» (д-р техн. наук А.А. Ткаченко, А.Н. Ралдугин, В.С. Гаврев и др.), на базе которого совместно со специалистами производящего трубы большого диаметра Выксунского металлургического завода – ВМЗ (И.В. Ефимов, А.П. Копылов, А.Ф. Захаров и др.) были созданы установки УЗ-контроля концов труб – «Интроскоп-01 ККТ», сварного шва труб – «Интроскоп-01 КСШ» и тела трубы – «Интроскоп-01 КТТ», которые в 2004 г. были внедрены для УЗ-контроля электросварных труб. Для замены поставленных в 1980-х гг. совместно с ИЭС им. Е.О. Патона установок НК-160 в трубосварочном цехе ВМЗ творческим коллективом специалистов НИИНК (д-р техн. наук А.А. Ткаченко, А.Н. Ралдугин, В.С. Гаврев и др.), ИЭС (В.Л. Найда, О.Ф. Лобанов, А.А. Мозжухин) и ВМЗ (А.П. Копылов, А.Ф. За-

харов и др.) в 2005 г. на базе нового многоканального УЗ-компьютеризированного комплекса «Интроскоп-02», разработанного НИИНК, были созданы с использованием свыше 20 патентов Республики Молдова на изобретения и введены в эксплуатацию установки для контроля сварного шва и концов труб. Установки укомплектованы специализированными ПЭП, разработчики (канд. техн. наук Ф.И. Исаенко, канд. техн. наук В.Ф. Кирияков).

В ходе этих работ систематизированы результаты исследований, разработок и внедрения в промышленность способов и систем нового поколения для автоматизированного УЗ-контроля электросварных труб в потоке производства. С использованием достижений физики УЗ-контроля и компьютерных технологий авторам удалось добиться принципиально новых результатов, обеспечивших повышение достоверности, существенного снижения негативного влияния человеческого фактора и интеллектуализации процесса контроля в целом.

Серьезное внимание уделено решению таких задач, как: идентификация сварного шва в теле стенки трубы, стабилизация положения акустической системы комплекса относительно шва, учет влияния температуры окружающей среды на угол ввода УЗ-колебаний в стенку трубы, контроль качества акустического контакта, отстройка от различного рода синхронных и несинхронных помех, определение вида дефекта и др.

Учеными НИИНК разработаны способы повышения достоверности и надежности УЗ-контроля, алгоритмы работы программно-управляемых многоканальных УЗ-комплексов «Интроскоп-01» и «Интроскоп-02», на базе которых спроектированы автоматизированные установки для УЗ-контроля сварных швов и концов труб «Интроскоп-КСШ1», НК-360, НК-361 и НК-362.

Цифровая основа комплексов в сочетании с программным управлением позволила автоматизировать процессы выбора схем прозвучивания сварного шва, задание параметров объекта, скорости контроля и других параметров. Разработанные способы и системы УЗ-контроля обеспечивают высокую эффективность производства сварных труб большого диаметра, что подтверждается востребованностью продукции отечественных предприятий при строительстве трубопроводов.

Внедрение данных установок в ОАО «ВМЗ» обеспечивает 100%-ный УЗ-контроль на приоритетном направлении развития завода – выпуске одношовных прямошовных труб диаметром до 1420 мм с толщиной стенки до 48 мм. Совокупность внедренных технологических достижений при разработке установок позволяет заводу выполнять правительственные заказы, в том числе производство и поставку качественных труб для строительства газопровода Nord Stream и других важных магистралей.

В решении методических и технологических задач НК электросварных труб активную роль играли ученые и специалисты ИЭС им. Е.О. Патона, ВНИТИ и металлургических заводов.

### Научная школа АКС

Научно-производственная компания «Акустические Контрольные Системы» (НПП «АКС») была образована в 1991 г., генеральный директор компании д-р техн. наук, чл.-кор. Академии электротехнических наук РФ, специалист III уровня по ультразвуковому и магнитному контролю Андрей Анатольевич Самокрутов, заместитель директора по науке д-р техн. наук, заместитель главного редактора журнала «Контроль. Диагностика» Виктор Гаврилович Шевалдыкин, заместитель директора по качеству, канд. техн. наук Владимир Николаевич Козлов.

В настоящее время компания «АКС» является крупнейшим в России разработчиком и изготовителем высокотехнологичных приборов для УЗ-контроля. Знание, опыт и применение новейших технологий позволяют коллективу профессионалов создавать интеллектуальную технологию и продукцию, сочетающие высокие технические характеристики, широкие функциональные возможности, современный дизайн, максимальное удобство, простоту использования.

Вполне соответствуют современным требованиям интеллектуализации технологий и создания средств НК и ТД разработанные под руководством и с участием д-ра техн. наук А.А. Самокрутова, д-ра техн. наук В.Г. Шевалдыкина, канд. техн. наук В.Н. Козлова, канд. техн. наук С.Г. Алехина и других специалистов типовые УЗ-дефектоскопы: A1212 MASTER, A1214 EXPERT и A1211 Mini, УЗ-томограф A1040 MIRA, УЗ-дефектоскоп-томограф A1550 IntroVisor, сканер-дефектоскоп A2051 ScaUT и др.

Глубокое понимание физики УЗ-контроля, базирующееся на сохранении и развитии достижений отечественной научной школы, позволяет создавать технологии, опережающие достижения конкурентов. К ним относятся технология сухого точечного контакта, являющаяся основой для всех приборов контроля бетона, предложенная и запатентованная А.А. Самокрутовым и В.Г. Шевалдыкиным в начале 90-х гг. прошлого века. Метод ЦФА (цифровой фокусировки антенной решеткой), предусматривающий управление совокупностью эхосигналов для всех сочетаний приемных и передающих элементов антенной решетки и фокусировку их цифровым способом во все точки контролируемого сечения (термин был предложен специалистами АКС). В основе этой технологии лежит изобретенный в радиолокации метод SAFT – Synthesized Aperture Focusing Technique (САФТ – синтезируемая апертура, фокусированная в точку).

В настоящее время технология ЦФА широко используется в приборах и сканерах-дефектоскопах производства НПП «АКС», в 2005 г. на этой основе разработан УЗ-томограф для контроля металла A1550 IntroVisor. С помощью ЦФА удается нагляднее и понятнее представлять информацию о внутренней структуре объекта контроля, томография, получаемая с помощью ЦФА, упрощает процедуру УЗ-контроля. А если результаты контроля записываются при сканировании вдоль сварного

шва, это существенно повышает достоверность результатов и позволяет использовать УЗ-контроль вместо рентгеновского.

A1550 IntroVisor – универсальный портативный УЗ-дефектоскоп-томограф с цифровой фокусировкой антенной решетки и томографической обработкой данных для контроля металлов и пластмасс. Томограф обеспечивает быстрый, комфортный и достоверный поиск дефектов благодаря визуализации внутренней структуры объекта контроля в виде изображения сечения в режиме реального времени, что существенно упрощает и делает более доступной интерпретацию полученной информации по сравнению с традиционным дефектоскопом.

Достоинством томографии является оперативный и высокопроизводительный поиск дефектов в сварных швах, в изделиях из металлов, пластмасс и композитов с подробным документированием полученных результатов, обеспечение визуализации внутренней структуры объекта контроля в режиме реального времени с частотой смены изображения 25 кадров в секунду. Проведение УЗ-контроля вдоль линии сварного шва без поперечного сканирования оказывается возможным за счет большого размера апертуры антенных решеток и сканирования виртуальным фокусом на дальние расстояния, что существенно сокращает время на подготовку околошовной поверхности сварных соединений, повышая производительность контроля.

Скорость сканирования вдоль сварного соединения может достигать 50 мм/с. Специализированное программное обеспечение для приема данных из прибора, дальнейшей обработки, документирования в виде томограмм и эхо-сигналов с параметрами контроля и последующего архивирования, автоматическое и ручное измерение уровней сигналов и координат дефектов и их размеров и простота интерпретации данных делает доступной работу с прибором специалистам любого уровня квалификации.

К принципам интеллектуальной технологии относятся ультразвуковой электромагнитно-акустический (ЭМА) способ возбуждения и приема ультразвуковых колебаний, разработанное программное обеспечение и такие реализованные в ЭМА-толщиномере A1270, в разработке которого принимал непосредственное участие автор настоящей статьи, технические решения, как автоматическая



А.А. Самокрутов



В.Г. Шевалдыкин

юстировка преобразователей, автоматический выбор способа измерения толщины в зависимости от параметров ОК, корреляционная обработка и автоматическая регистрация результатов контроля, связь с ПК и др.

Способ ЭМА-возбуждения ультразвука относится к бесконтактным, поэтому при его использовании автоматически отпадают такие проблемы УЗ-метода, как нестабильность акустического контакта и зазора между поверхностью ОК и преобразователем, зависимость от состояния поверхности ОК и наличия защитного покрытия (например, слоя краски) и др.

Применение ЭМА-преобразователей SH-поляризации обеспечивает расширение диапазона контролируемых толщин, возможность контроля текстурной анизотропии проката, определения направления прокатки и др. В комплексе это обеспечило повышение точности измерения до 0,01 мм при внедрении ЭМА-толщиномера А1270 на ракетном заводе ГКНПЦ им. М.В. Хруничева для контроля толщины обшивки и обтекателей корпуса ракеты «Протон», на Каменск-Уральском металлургическом заводе для контроля толщины стенки легкосплавных бурильных труб, в ЗАО НПЦ «Молния» при контроле элементов инфраструктуры газопроводов из чугуна без предварительной подготовки поверхности, что упростило операции подготовки ОК к диагностике, снизило негативное влияние человеческого фактора и повысило производительность контрольных операций.

НПП «АКС» разработан и выпускается ЭМА-толщиномер с инновационной технологией импульсного подмагничивания ЭМАП, предназначенный для измерения толщины изделий из стали и алюминиевых сплавов без применения контактной жидкости. Существенным преимуществом новой технологии является отсутствие в ЭМАП постоянного магнита, что позволяет избежать сильного притяжения преобразователя к поверхности объектов из ферромагнитных сталей, проводить сканирование объекта контроля и исключает налипание металлической стружки на протектор преобразователя, тем самым увеличивая срок его службы.

Ультразвуковой ЭМА-сканер-дефектоскоп А2075 SoNet предназначен для решения задачи автоматизированного поиска дефектов металлических труб диаметром от 720 до 1420 мм с толщиной стенки от 6 мм. Основной областью его применения является работа в составе дефектоскопических комплексов, предназначенных для решения задачи диагностики газопроводов, нефтепроводов, продуктопроводов при выполнении работ по строительству или ремонту.

Сканер-дефектоскоп успешно решает задачи поиска и обнаружения стресс-коррозионных и других видов поверхностных и внутренних дефектов труб. Контроль выполняется путем дистанционного управления перемещением сканирующего устройства вдоль трубы по ее внешней поверхности. При этом производится 100%-ное прозвучивание тела трубы по окружности ЭМА-преобразователем, регистрация эхо-сигналов от де-

фектов, их интерпретация и отображение с передачей на ПК. Вся работа сканера-дефектоскопа проводится под управлением оригинального программного обеспечения.

В разработках последних лет реализована техническая политика фирмы, приоритетом которой является создание и производство наукоемкой высокотехнологичной аппаратуры, ориентированной на круг профессиональных пользователей, применение классических и оригинальных методов обработки радиотехнических сигналов, достижений мировой схемотехнической базы и современных технологий производства. Все это позволяет постоянно пополнять банк патентов на изобретения, в основе которых лежат оригинальные технические решения. На разработанные и поставляемые НПП «Акустические контрольные системы» приборы и системы получены авторские свидетельства, патенты на изобретения и сертификаты Госстандарта РФ.

А.А. Самокрутов – лауреат Премии правительства РФ 2004 г. за работу «Создание и внедрение комплексных диагностических систем для обеспечения безопасности технических объектов в энергетике, транспорте, коммунальном хозяйстве и промышленности» и премии ОАО «Газпром» 2010 г. за работу «Разработка и широкомасштабное практическое внедрение комплекса средств технической диагностики при капитальном ремонте газопроводов».

Партнерами НПП «Акустические контрольные системы» являются 44 фирмы в России и фирмы 18 зарубежных стран (Австралия, Беларусь, Вьетнам, Германия, Дания, Израиль, Индия, Италия, Казахстан, Китай, Канада, Корея, Литва, Польша, США, Тайвань, Турция, Япония). УЗ-приборы и преобразователи производятся серийно и поставляются промышленным предприятиям России и стран СНГ. УЗ-дефектоскопы для контроля бетона поставляются в страны Запада (Великобританию, Германию, Данию, Канаду, Францию, США, Швецию).

Научные статьи и изобретения А.А. Самокрутова широко известны научным работникам и специалистам, список цитирования 158 работ составил 795 единиц, а индекс Хирша – 11. По данным РИНЦ, он входит в ТОП-100 самых цитируемых и ТОП-100 самых продуктивных российских ученых по направлению «ПРИБОРОСТРОЕНИЕ». Важные исследования и разработки выполнены д-ром техн. наук. В.Г. Шевальдиным, список цитирования 153 работ которого составил 1210 единиц, а индекс Хирша – 12. По данным РИНЦ, он также входит в ТОП-100 самых цитируемых и ТОП-100 самых продуктивных российских ученых по направлению «ПРИБОРОСТРОЕНИЕ».

*Тема, затронутая автором, очень объемная и не укладывается в формат одной статьи. В следующем номере журнала будет дана информация о научных школах ЮУрГУ и ИжГТУ, ученых-изобретателях ЦЛАМ Укрелавтрубостали, вкладе ученых НТУ «ХПИ», изобретениях ученых ООО «НПК «ЛУЧ», развитии импедансного метода НК и др.*