

КОРРОЗИОННЫЙ МОНИТОРИНГ УЛЬТРАЗВУКОВЫМ МЕТОДОМ КОНТРОЛЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ФАЗИРОВАННЫХ РЕШЕТОК



МАТЮШИН Виктор Владимирович

Инженер-дефектоскопист,
компания ИТС, Москва

Коррозия металла является основной причиной отказов и аварий различного оборудования и металлоконструкций. По последним данным NACE (Национальная ассоциация инженеров-коррозионистов), в США затраты на борьбу с коррозией ежегодно составляют 3,1% ВВП (276 млрд дол.), в Германии – 2,8% ВВП [1]. Коррозионный износ элементов оборудования часто является причиной его аварийного разрушения. Очевидно, что надежный коррозионный мониторинг является заметной составляющей в решении проблемы безаварийной эксплуатации потенциально опасного оборудования.

Самый опасный и мало изученный вид коррозии – стресс-коррозия (КРН или в англоязычной терминологии «stress corrosion cracking» (SCC)), по данным ПАО «Газпром», с 1996 по 2015 г. стресс-коррозия являлась причиной 40% всех аварий предприятия. Согласно данным Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору, минимум каждая третья авария на магистральных газопроводах происходит по причине коррозионного растрескивания под напряжением [1]. Утечки из продуктопроводов, кроме прямых убытков, еще наносят ощутимый ущерб окружающей среде. В атомной промышленности, где явление КРН также отмечается, риски аварий основного оборудования обычно неприемлемы.

Мониторинг оборудования и достоверное выявление стресс-коррозионных поражений – сложная задача. В настоящее время нет разработанной нормативной базы на проведение коррозионного мониторинга. Поэтому решение задачи своевременного выявления стресс-коррозии происходит явочным порядком. В силу необходимости заинтересованные компании вынуждены самостоятельно выработать технологические подходы, определять процедуры контроля и принимать собственные руководящие документы.

Как уже отмечалось, наибольшему ущербу от стресс-коррозионных процессов подвергаются магистральные трубопроводы. Это объясняется рядом физических факторов: большим механическим напряжением в стенке, повышенной генерацией атомарного водорода в определенных грунтах вместе с неудовлетворительным качеством изоляции и, конечно, громадным объемом трубопроводов. Тем не менее список объектов, подверженных КРН, существенно шире. Везде, где имеются механическое напряжение в металле и наличие атомарного водорода, есть объективные причины возникновения КРН. Выделение трубопроводов обусловлено лишь их распространенностью. Общая протяженность только лишь газотранспортной системы на территории России составляет около 180 тыс. км, не говоря уже о нефтепроводах, нефтепродуктопроводах и других промышленных и технологических трубопроводах.

Существует ряд методов для выявления коррозионных процессов. Так, например, в документе ОАО «Газпром нефть» «Методические указания по организации и исполнению программ мониторинга коррозии промысловых трубопроводов» приводится следующая классификация:

- диагностические методы – определение коррозионного износа металла трубопровода общепринятыми методами диагностических обследований;
- методы измерения скорости коррозии углеродистых сталей и ее изменений во времени, основанные на показаниях датчиков, размещенных в среде, движущейся по трубопроводу;
- оценка технологических и физико-химических параметров среды, характеризующих ее корро-

зионную активность, и изменений этих характеристик во времени;

- анализ статистики отказов оборудования в целях выявления участков с максимальными рисками аварий и наиболее значимых факторов, влияющих на аварийность трубопроводов.

Под термином «диагностические методы» здесь подразумеваются методы неразрушающего контроля (НК) и методы обработки и анализа, основанные на тех же методах НК.

Говоря о подземных трубопроводах, стоит уточнить, что наружный контроль традиционными неразрушающими методами возможен только в шурфах, другими словами, в свободном от грунта месте. Для контроля подземных трубопроводов используются внутритрубные снаряды, которые осуществляют контроль с внутренней стенки трубопровода. Контроль внутритрубными снарядами основан на тех же физических принципах, используемых в НК. Однако конструктивная особенность и условия автономного использования снарядов внутри трубопровода накладывают определенные ограничения на их результаты контроля, обычно данные НК, полученные в шурфах с помощью традиционного оборудования, являются более достоверными. Это объясняется большими возможностями и гибкостью традиционных систем НК по отношению к внутритрубным снарядам. Часто в практике диагностики дефектные участки трубопроводов, обнаруженные внутритрубным снарядом, подвергают дополнительному исследованию в шурфах. В этой связи предлагаем взглянуть на современные методы ультразвукового контроля с применением фазированных решеток (ФР), которые крайне выгодно использовать для мониторинга состояния металлокон-

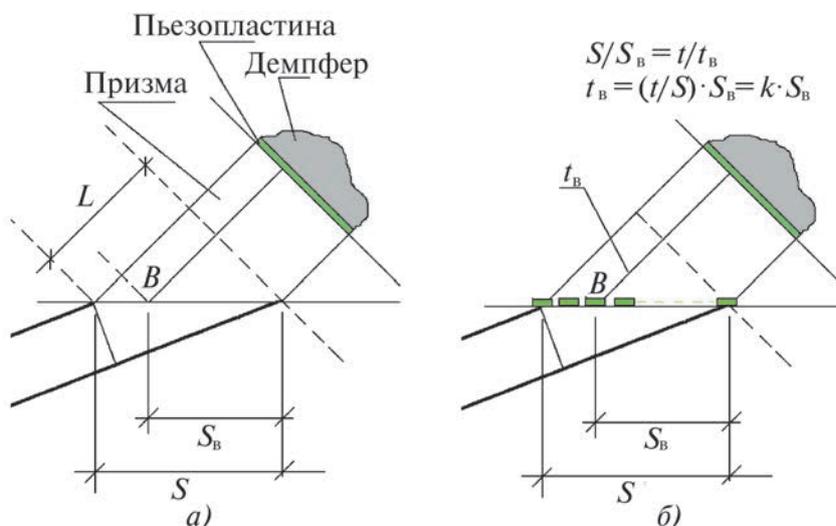


Рис. 1. Схематичное изображение эксперимента: а – традиционный наклонный ПЭИ; б – схематичное изображение эксперимента, при котором расположенные на разделе границ точечные генераторы ультразвука, возбуждаются пьезопластиной, которая мысленно является источником электрического возбуждения; S и S_B – проекции фронта волны, общей и в некоторой точке B , на границу раздела сред, t и t_B – время возбуждения пьезопластины, k – коэффициент возбуждения

струкций и, в частности, коррозионного мониторинга.

Фазированные решетки известны с 50-х гг. прошлого столетия. Первые их реализации появились в области радиолокации. С середины 1980-х гг. ФР применяются в медицине и примерно с 1990-х – в НК. Благодаря прогрессу в микроэлектронике удалось создать ультразвуковые дефектоскопы на основе ФР, по своим массогабаритным параметрам ненамного отличающиеся от обычных ручных ультразвуковых дефектоскопов.

В медицине технология ФР получила стремительное развитие, и сейчас является широко признанным методом диагностики. В НК распространение этой технологии идет пока не столь стремительно, но, надо полагать, благодаря своим потенциальным возможностям эта технология и в НК займет такое же лидирующее положение, как это произошло в радиолокации и медицине.

Для связности и цельности последующего изложения напомним физические основы ФР. Сле-

даем это, используя понятные аналогии, не прибегая к сложным теоретическим объяснениям.

На рис. 1, а схематически изображен традиционный наклонный пьезопреобразователь, излучающий волны во вторую среду в соответствии с законом Снеллиуса. Понятно, что волны, излучаемые пьезопластиной, образуют фронт, который доходит до границы раздела и возбуждает во второй среде преломленные и трансформированные волны. Процесс происходит в соответствии с принципом Гюйгенса–Френеля: каждая точка второй среды на границе раздела становится вторичным источником излучения.

Поставим мысленный эксперимент. На границе раздела расположим точечные генераторы ультразвука, которые не взаимодействуют друг с другом и акустически развязывают первую и вторую среду. Пусть эти генераторы обладают свойством повторять ультразвуковые колебания, которые на них приходят из первой среды. Итак, если на эти генера-

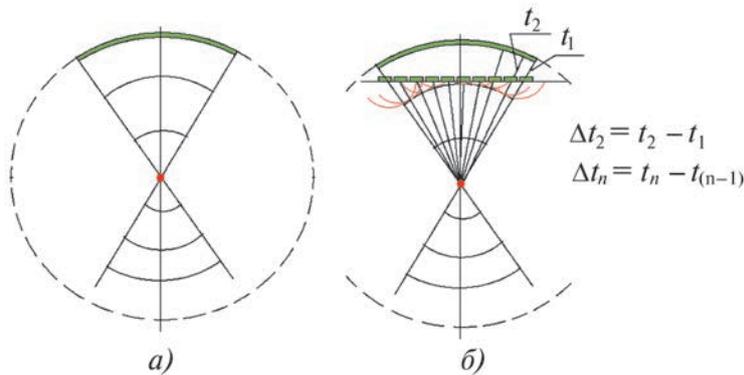


Рис. 2. Пример фокусирования ФАР: а – фокусирование цилиндрической пьезопластиной; б – фокусирование линейной ФР (для фокусирования в «точку» аналогично сферической пьезопластине необходима матричная ФР); t_n – время распространения волны от цилиндрической пьезопластины до соответствующего элемента ФР; Δt_n – задержка подачи возбуждающего импульса на элемент n относительно элемента $(n-1)$, для простоты изложения считаем t_1 минимальным временем распространения, т.е. с этого элемента начинается возбуждение ФР

торы приходят волны от пьезопластины (так как это происходит в обычном ПЭП), то во второй среде сформируется поле, точно такое, как и в случае обычного ПЭП на рис. 1, а. В распространении волн ровным счетом ничего не нарушали. Теперь представим, что эти генераторы можно возбуждать не только волнами, падающими от пластины, а, например, электрическим напряжением. Если возбуждать эти генераторы точно так же, как и акустическими волнами, то поле во второй среде не изменится. Таким образом, сделанная подмена не повлияет на распространение волн во второй среде или по характеру поля во второй среде нельзя однозначно сказать, является это поле следствием возбуждения обычной пьезопластины наклонного ПЭП или отдельных генераторов, расположенных на поверхности второй среды.

Заменим идеальные генераторы обычными пьезопластинами и подадим индивидуально на каждую из них возбуждающее напряжение точно в те моменты времени, в которые волновой фронт возбуждал идеальный генератор (или волновое возмущение падало в соответствующую точку гра-

ницы раздела) t_b (рис. 2, а). Понятно, что и в этом случае формирование поля волны произойдет в соответствии с принципом Гюйгенса–Френеля и не будет существенно отличаться от ультразвукового поля обычного ПЭП (на самом деле, чтобы отличия были небольшими, нужно придерживаться определенных правил, в основном эти правила касаются количества и размеров пьезопластин, поскольку этот эксперимент умозрительный, то можно исходить из того, что все необходимые параметры выдерживаются: количество пластин большое, а размеры пластин очень маленькие, т.е. пластины являются точечными источниками).

Таким образом, построенный ПЭП называют фазированной решеткой (ФР) и он обладает очевидным рядом преимуществ по сравнению с обычным ПЭП. Например, для изменения угла ввода достаточно поменять время возбуждения пьезопластин t_b : достаточно изменить в формуле возбуждения коэффициент k (см. рис. 1). Нахождение зависимости коэффициента k от угла ввода не представляет ни трудности, ни интереса для нашего качественного рассмотрения.

Рассмотрим на такой же модели фокусировку ультразвукового поля в точку пространства. На рис. 2, а изображена фокусировка ультразвукового поля традиционным способом: для фокусировки используется цилиндрическая (или сферическая) пьезопластина, которая фокусирует поле по оси симметрии цилиндра (или в центре сферы). Если использовать технологию ФР, то та же фокусировка может быть получена, если на элементы решетки подать возбуждающие импульсы с задержками Δt_n по рис. 2, б. Последовательность возбуждения пластин ФР обычно называют законом фокусировки. Фактически для фокусировки в любую другую точку пространства достаточно лишь поменять закон фокусировки, конструкция ФР при этом остается неизменной. Эффективность фокусировки от использования ФР, конечно, не зависит, она зависит от апертуры и частоты точно так же, как и для обычной фокусировки по схеме рис. 2, а.

Разумеется, реальные ФР имеют более сложное строение, конструктивные и технологические особенности. Здесь предпринята попытка качественно показать основную идею ФР – возможность на одной решетке или одним преобразователем ФР реализовать различные ультразвуковые поля. В обычной практике контроля один ПЭП создает какое-то свое поле, но для более информативного исследования необходимо дополнительное сканирование с другими параметрами поля (например, углами ввода, зонами фокусировки и пр.), т.е. нужны преобразователи с различными параметрами. Использование нескольких ПЭП увеличивает достоверность контроля. Требование применения нескольких различных ПЭП заложено, например, в EN 17640. Поэтому одним из главных достоинств технологии ФР является потенци-

альная возможность увеличения достоверности контроля.

Рассмотрим примеры современной реализации технологии фазированных решеток применительно к коррозионному мониторингу. Компания Olympus выпускает широкий спектр оборудования с использованием ФР – от относительно простых ручных приборов до сложных автоматизированных комплексов, в которых применяются сразу несколько методов контроля. Расскажем о том оборудовании, которое нами было испытано, и, как нам кажется, является оптимальным набором для проведения коррозионного мониторинга различных трубопроводов.

Сканер RollerFORM (рис. 3) – раздельно-совмещенный линейный фазированный преобразователь DLA – решение для сплошной толщинометрии. Уникальный эластичный материал шины колеса RollerFORM специально разработан для обеспечения высокого качества ультразвукового контроля. Данный сканер может применяться не только на металлических объектах, он отлично подходит для контроля композитных материалов.

Основные характеристики сканера RollerFORM:

- минимальное количество контактной жидкости для получения качественного акустического контакта;
- ширина зоны сканирования 51 мм;
- выявление подповерхностных дефектов с глубины 1 мм (при 5 МГц);
- минимальная кривизна поверхности контроля (радиус выпуклости) – от 50 мм.

Раздельно-совмещенный линейный фазированный преобразователь DLA (рис. 4). Если стоит задача получения высокого приповерхностного разрешения, контроля труднодоступных объектов, объектов с высокой температурой или сложной геометрией, то DLA – идеальное решение. Охват зоны сканирования 30 мм.

Данный преобразователь являет собой симбиоз раздельно-совмещенного ПЭП и фазированного. Вы получаете хорошее приповерхностное разрешение с широким захватом площади и увеличенной скоростью сканирования.

Сканер HydroFORM (рис. 5) предназначен для коррозионного мониторинга. В его конструкции используется иммерсионная технология, которая устраняет необходимость в призмах и предоставляет преимущества в качестве акустического контакта. Сканер позволяет проводить контроль на выпуклых поверхностях от 114 мм наружного диаметра, на вогнутых – от 254 мм. Фазированная решетка содержит 64 элемента. Каретка сканера мо-



Рис. 3. Сканер RollerFORM

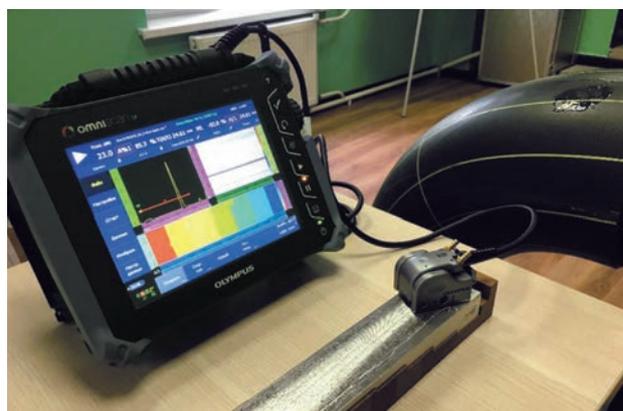


Рис. 4. Раздельно-совмещенный линейный фазированный преобразователь DLA:

на С-скане отображается корреляция цвета и толщины ступенек образца. Чем цвет ближе к красному диапазону, тем меньше толщина. Палитры и цветовые гаммы визуализации можно менять, выбрав из библиотеки прибора или создав самостоятельно



Рис. 5. Сканер HydroFORM

жет быть установлена на обычные или магнитные колеса. Ширина зоны контроля 60 мм.

Сканер HydroFORM может использоваться в комбинации с двухкоординатными сканерами при коррозионном мониторинге методом растрового сканирования. Для автоматизированного контроля может применяться сканер MapROVER. Для полу-



Рис. 6. Сканер FlexoFORM

автоматизированного идеально подойдут MapSCANNER или ChainSCANNER.

FlexoFORM (рис. 6) – сканер, предназначенный для контроля геометрически сложных частей трубопроводов, таких как отводы, колени, гибы. И контроль прямых участков для этого сканера является самой простой задачей. Основные преимущества – высокая скорость сканирования, широкая зона контроля, иммерсионный способ ввода, что значительно улучшает акустический контакт, особенно на неровных поверхностях.

Сканер свободно устанавливается на трубы и гибы с наружным диаметром от 114 мм. Дополнительно проводится модификация оснастки для контроля малых труб НД от 33 мм. Конструкция сканера основана на наличии гибкого 64-элементного ФР-преобразователя, который адаптируется концентрично поверхности трубопровода.

Сканер FlexoFORM может использоваться в комбинации с двухкоординатными моторизованными сканерами при коррозионном мониторинге методом растрового сканирования. Для данного контроля может применяться сканер MapROVER или же SteerROVER. Минимальный диаметр трубопровода при этом должен составлять 219 мм.

Все перечисленное оборудование прошло самые



Рис. 7. Палатка для проведения инспекции

суровые испытания в полевых условиях. Объектом контроля являлась фонтанная арматура («ёлка») и основные ее трубопроводы («струны»), а также основной шлейф одного газодобывающего дочернего предприятия ПАО «Газпром». Температура испытаний находилась в диапазоне $-2...+25^{\circ}\text{C}$.

При испытании сканера HydroFORM применялась вода, и чтобы она не замерзла в ирригационных трубках по пути следования от емкости до объекта контроля, была сооружена отапливаемая палатка (рис. 7). Для отказа от подогрева воды можно использовать незамерзающую иммерсионную жидкость, например пропиленгликоль, расход этой жидкости во время контроля при отрицательных температурах окружающей среды не является значимым. В этих условиях гораздо важнее, чтобы контроль проводился быстро, а данные контроля были информативными и достоверными.

На рис. 8 представлена визуализация глухого отверстия, выполненного в стенке трубы, которое имитирует локализованный коррозионный очаг и является тестовым образцом для проверки работоспособности оборудования. Остаточная толщина в данном месте составляет 6,21 мм. Наибольшая потеря толщины стенки металла на С-скане окрашена желтым цветом с красным пятном в центре.

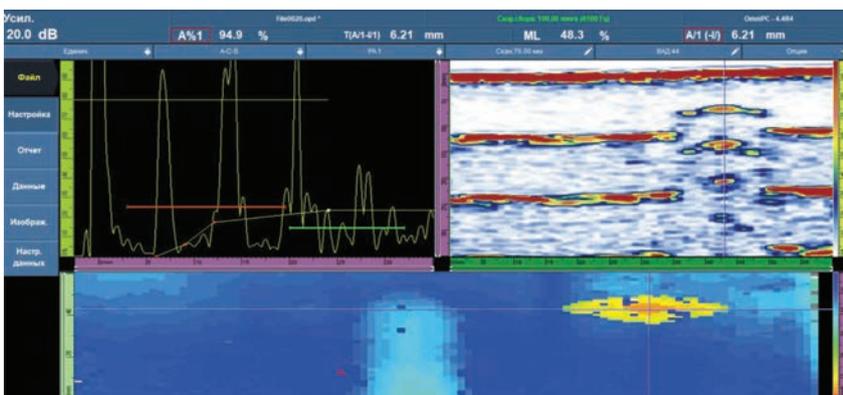


Рис. 8. Результаты контроля трубы с лакокрасочным покрытием, наружным диаметром 114 мм и толщиной стенки 12 мм

Сканеры FlexoFORM и DLA испытывали при температуре окружающей среды около 0°C. Объектом контроля были технологические трубопроводы и шлейф газопровода. DLA, в отличие от FlexoFORM, можно использовать без постоянной подачи жидкости, поэтому его эксплуатация более проста при отрицательных температурах (рис. 9).

При проведении контроля технологических трубопроводов обнаружены коррозионные поражения, которые ранее не были выявлены традиционной ультразвуковой толщинометрией. Параллельно выполнялись работы по рентгенографическому контролю, подтвердившие данные сканеров FlexoFORM и DLA. Впоследствии данные участки труб были вырезаны, распилены пополам и стали доступны для визуального осмотра. На рис. 10 представлен фрагмент вырезанных труб с коррозионными язвами на внутренней поверхности.

Экспериментальные испытания по контролю через лакокрасочное и заводское полиэтиленовое покрытия проводили как в полевых условиях, так и в лаборатории.

В лабораторных условиях испытания выполняли на ранее забракованных и вырезанных участках трубопровода диаметром 114 мм и толщиной 7–8 мм. Контроль осуществляли как на прямых, так и на изогнутых (гибах) участках. Местами на трубах присутствовало лакокрасочное покрытие с плохими адгезионными свойствами (это отмечалось даже визуально). Фрагмент визуализации данных контроля таких труб приведен на рис. 11.

Здесь, как обычно, глубина залегания несплошностей обозначается цветом, цветовая гамма от голубого до красного соответствует промежутку толщин от дна (8 мм) до поверхности трубы (примерно 1 мм). Голубые индикации в виде цепочек и точек являются язвами и кавернами внутренней стенки трубы. Потеря металла в таких местах лежит в диапазоне 15–25%, другими словами, утонение стенки происходит до 5,2 мм при номинальной толщине в 7 мм. Красным цветом обозначены участки с отслоением краски от поверхности. Красный цвет на С-скане означает толщину вблизи наружной поверхности. Однако по характеру А-сканов несложно понять, что в этих местах имеет место ложный сигнал из-за наличия отслоившегося лакокрасочного покрытия. При некотором навыке такие места можно определять непосредственно по характеру визуализации таких сигналов. Контроль по неподготовленной должным образом поверхности проводить не следует. К сожалению, ввод ультразвука в объект контроля на участках с плохой адгезией невозможен для ФР точно так же, как и для традиционных ПЭП. Эти данные приведены здесь как пример высокой информативности оборудования.



Рис. 9. Объекты контроля и условия испытания оборудования



Рис. 10. Фрагмент трубы с язвенной коррозией, вырезанный из технологического трубопровода

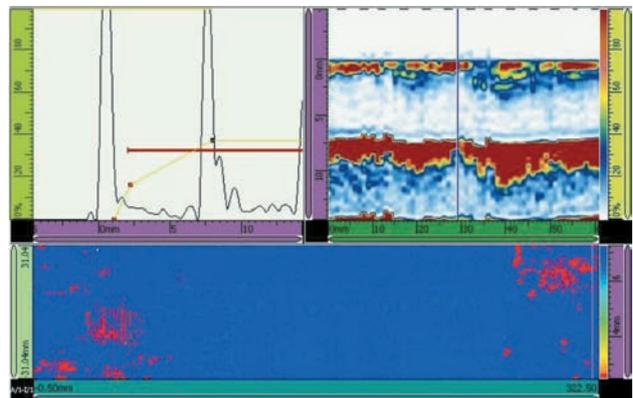


Рис. 11. Визуализация данных контроля участка трубы с размерами 60×320 мм, диаметр трубы 114 мм

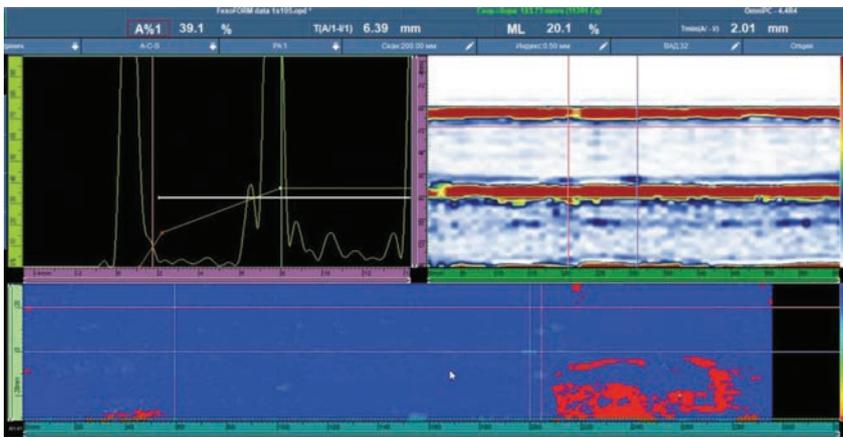


Рис. 12. Визуализация ультразвуковых данных на участке трубопровода с размерами 60×300 мм: в выделенном курсорами диапазоне, в который не попадает участок с плохим состоянием поверхности, автоматически обнаружены участки с остаточной толщиной металла в диапазоне 5,84–6,20 мм при номинальной толщине 7,3 мм

На рис. 12 представлен скриншот визуализации данных, снятый с ультразвукового дефектоскопа OmniScan MX2. На нем, так же как и на рис. 10, можно заметить красную индикацию, указывающую на неудовлетворительное состояние поверхности трубопроводов. По результатам визуализации можно оценить степень подготовки поверхности и качество ультразвуковых данных. Это позволяет объективно сделать вывод о принятии их к рассмотрению или к необходимости выполнить новое сканирование. К примеру, если на результатах визуализации присутствует незначительный процент данных с потерей акустического контакта (в том числе из-за отсутствия адгезии покрытия), то эти данные вполне пригодны для дальнейшего анализа, а если потери составляют, например, 50% площади сканирования, то, конечно, достоверность выводов, основанных на таких данных, будет невысока.

Визуализация всегда объективизирует процесс контроля. Данные визуализации сами по себе не являются документом, так же как и снимок РГК, но позволяют оценить качество сбора. Объективность этой технологии заключается в том, что суждения о правильности сбора данных и их пригодности для анализа может сделать любой квалифицированный специалист УЗК по данным визуализации. Более того, к анализу можно привлечь специалистов более высокой квалификации, что повышает достоверность контроля. Таким образом, рассматриваемая технология позволяет разбить ультразвуковую инспекцию на две части – сбор информации и ее анализ.

При таком подходе существенно увеличивается достоверность контроля. Это происходит по нескольким причинам. Во-первых, используется более совершенный инструмент контроля. Во-вторых, относительно легко осуществлять надзор за качеством сбора данных и при этом необязательно принимать в этом участие. В обычной практике УЗК такой над-

зор возможен только в рамках повторного контроля, и поэтому он проводится в ограниченных масштабах. В данном случае для проверки доступны все параметры настройки ультразвукового тракта, сканирования и визуализации данных. В-третьих, анализ данных может осуществлять более квалифицированный персонал. Сбор данных обычно не требует глубокого понимания акустики и тонкостей визуализации, поэтому персонал с высокой квалификацией можно освободить от рутинных процедур и со-

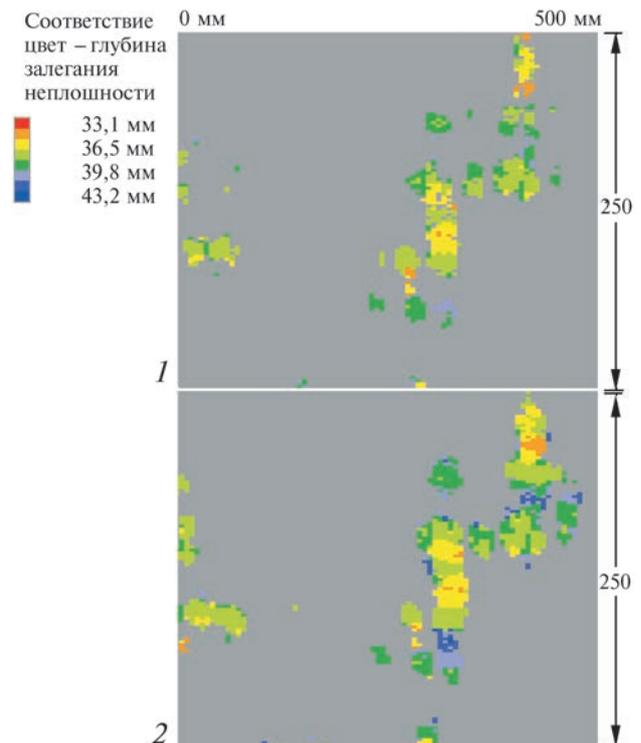


Рис. 13. Мониторинг роста фрагмента несплошности в металле: визуализация сканирования 2 выполнена через год после проведения сканирования 1; размеры участка сканирования 500×250 мм

средоточить на более сложных и ответственных этапах контроля. Обычно существует потребность в специалистах высокой квалификации. Разделение труда всегда повышает качество работы и минимизирует издержки.

Проведен ультразвуковой контроль шлейфа диаметром 426 мм с полиэтиленовым покрытием. В результате этих испытаний было установлено, что преобразователь DLA уверенно проводит сбор данных. Для выполнения контроля достаточно было увеличить усиление на величину потерь в материале покрытия: был получен стабильный сигнал от донной поверхности (первый и второй). Оказалось, что по визуализации данных легко определить участки с отсутствием адгезии полиэтиленового покрытия.

Проиллюстрируем возможности представленной технологии собственно для целей мониторинга, т.е. как систему наблюдения, сравнения, оценки за объектом контроля. Традиционный УЗК, основанный на ручном сканировании без позиционирования преобразователей, не позволяет выполнять сравнение несплошностей во времени. Это сложно выполнить для сварных соединений, где несплошности локализованы, а для сравнения коррозионных поражений или растрескивания в основном металле невозможно в принципе. Объясняется это не только субъективизмом (хотя субъективизм при ручном контроле всегда присутствует — у разных специалистов всегда будут различия в оценках, например, при поиске максимальной амплитуды), а в первую очередь самой технологией ручного сканирования. Поэтому следует понимать, что выполнять достоверный мониторинг на основе традиционной технологии УЗК принципиально невозможно.

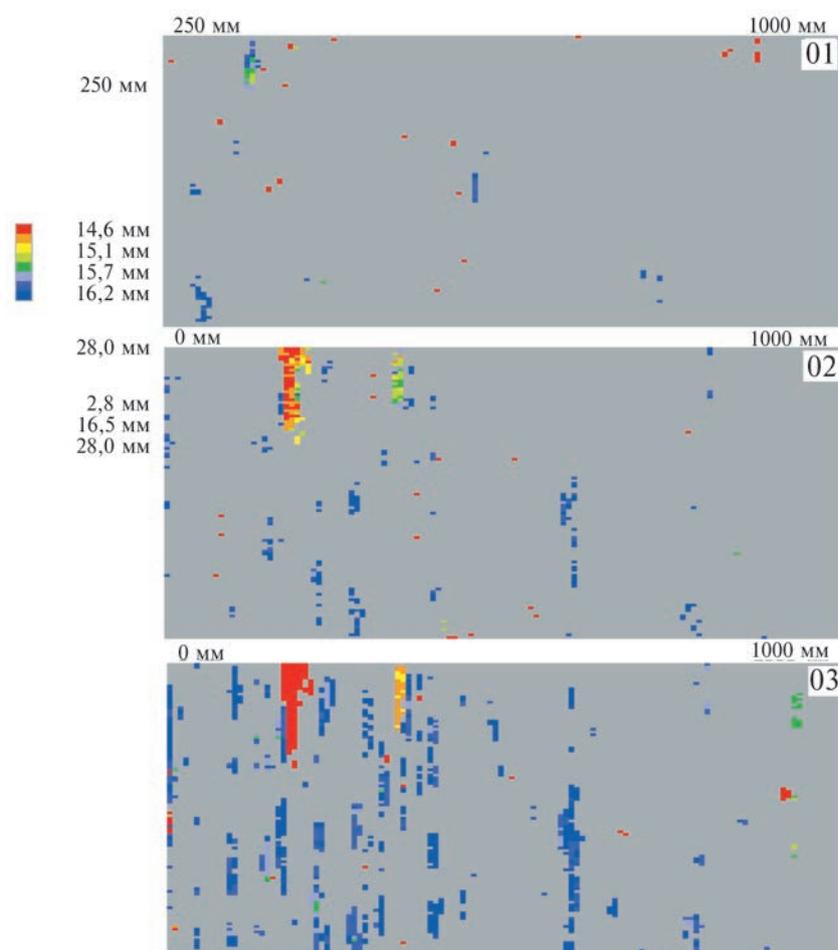


Рис. 14. Мониторинг участка с внутренним растрескиванием металла нефтеперерабатывающей колонны на протяжении двух лет: сканирование 02 выполнено через год после сканирования 01, сканирование 03 — через два года после сканирования 01; размеры участка сканирования 1000×250 мм; толщина стенки колонны 28 мм

Как выглядит мониторинг на основе ФР-технологии иллюстрируют рис. 13, 14. На рис. 13 показаны две визуализации данных сканирования одного и того же фрагмента участка металла с внутренним КРН, которые получены с разницей в год. На рис. 14 представлены три визуализации данных сканирования участка корпуса нефтеперерабатывающей колонны. Наблюдение осуществляли в течение двух лет, сканирование участка проводили 3 раза через равные промежутки времени, т.е. один раз в год. Разумеется, параметры сканирования были совершенно идентичны друг другу во всех случаях (см. рис. 13, 14).

Выводы

1. Проведено практическое испытание современного ультразвукового оборудования с использованием ФР для целей коррозионного мониторинга. В результате был оптимизирован комплект оборудования, который позволяет осуществлять коррозионный мониторинг практически всех типоразмеров трубопроводов, включая отводы и гибы.
2. Для коррозионного мониторинга предлагается использовать оборудование исключительно с возможностью визуализации ультразвуковых данных. Информативность и

относительная простота пользования таким оборудованием позволяют существенно улучшить достоверность контроля (выявления коррозионных поражений) со стороны как эксплуатирующей организации, так и надзорных органов.

3. Оборудование с позиционированием преобразователей и сохранением данных контроля позволяет:

- проводить мониторинг роста КРН на выбранных реперных участках путем периодического сравнения, при этом доступны точные количественные оценки;
- реализовать более глубокое функциональное разделение труда, что в свою очередь позволит рационально использовать потенциал персонала и в конечном счете повысить качество работ.

4. В результате испытаний было установлено, что для коррозионного мониторинга более удобен иммерсионный ввод ультразвука в сравнении с контактным вариантом. По отношению к контактному вводу иммерсионный ввод имеет следующие преимущества:

- обеспечение надежного акустического контакта, даже на участках с большой волнистостью качество данных остается высоким;

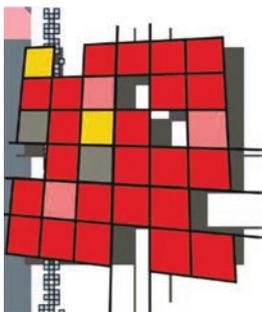
- постоянная погрешность измерения толщины вследствие отсутствия истирания призм, т.е. отпадает необходимость частой подстройки и калибровки оборудования, что свойственно для контактного варианта;

- отсутствие механического воздействия на ФР делает ресурс его работы практически неограниченным (в контактном варианте ПЭП или сменная призма являются расходным материалом).

5. В целом современное ультразвуковое оборудование позволяет выполнять надежный коррозионный мониторинг на открытых участках трубопроводов.

Библиографический список

1. Зырянова Ю.Б. К вопросу о финансово-экономическом обосновании оценки коррозионных потерь в нефтехимической отрасли // Проблемы современной экономики: материалы IV Международ. науч. конф., г. Челябинск, февраль 2015 г. Челябинск: Два комсомольца, 2015. С. 33–36. URL <https://moluch.ru/conf/econ/archive/132/7123/>
2. Olympus Inspection Solutions – NDT, Microscopes, XRF, RVI [Электронный ресурс]. URL: <https://www.olympus-ims.com/ru/>



7-я Международная научно-техническая конференция и выставка

«СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И ПРИБОРЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА И ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТОВ»

Республика Беларусь, г. Могилев • 24–25 сентября 2020 г.

Организаторы

- Белорусская ассоциация неразрушающего контроля и технической диагностики
- Российское общество по неразрушающему контролю и технической диагностике
- Национальная академия наук Беларуси
- Белорусско-Российский университет

Основная тематика

1. Дефектоскопия материалов и промышленных изделий.
2. Контроль структуры и физико-механических характеристик материалов и изделий.
3. Контроль геометрических параметров объектов.
4. Мониторинг, диагностика и прогнозирование остаточного ресурса технических объектов.
5. Компьютерные технологии в неразрушающем контроле.

Круглые столы

- Передовые технологии неразрушающего контроля и диагностики: нормативная база, приборное обеспечение, проблемы и перспективы.
- Подготовка кадров и сертификация персонала в области НК и ТД.

Вся информация о конференции будет размещена в разделе «Наука» на сайте: www.bru.by

Оргкомитет:

Белорусско-Российский университет
СЕРГЕЕВ Сергей Сергеевич
БРИСКИНА Ирина Владимировна

• Пр-т Мира, д. 43, оргкомитет конференции, 212000, г. Могилев, Республика Беларусь
• (+375) 297 433868. E-mail: sss.bru@tut.by
• (+375) 222 230247, Fax: (+375) 222 251091. E-mail: pio336-341@mail.ru