

ДЕФЕКТОСКОПИЧЕСКИЕ ИСТОРИИ «ЭХО+»



БАЗУЛИН Андрей Евгеньевич
Канд. техн. наук,
ООО «НПЦ «ЭХО+», Москва

При решении практических задач ультразвукового контроля нередко перед разработчиками возникают задачи, касалось бы, не имеющие решения. Выходящие за пределы возможностей традиционно применяемых оборудования и методик. Желание решить задачу изящно требует научного поиска, который в ряде случаев приводит к неожиданному использованию имеющегося дефектоскопа, образца, преобразователя.

Продолжая традицию, начатую Игорем Николаевичем Ермоловым, приведем несколько историй.

Помехи в каналах TOFD

При отладке системы, реализующей метод TOFD, мы столкнулись со странным явлением: при установке ПЭП на образец из стали 20 уровень шума по отношению к амплитуде головной волны был приемлем, но на образце из стали для изготовления роторов амплитуда шума существенно возросла. Мало того, помеховые импульсы не уменьшались при усреднении и появлялись до сигнала головной волны.



Рис. 1. Слева сигнал с добавлением белого шума и случайной помехой от предыдущий посылки, справа результат усреднения

Сейчас даже странно об этом говорить, но мы не сразу догадались, что проблема в слишком большой частоте посылок импульса возбуждения, а поскольку затухание в роторной стали оказалось существенно ниже, чем в стали 20, то сигналы объемной реверберации, связанные с предыдущей посылкой зондирующего импульса, попадали в интересующую область.

Конечно, сразу возникла идея, что если требуется усреднение по нескольким реализациям, то следует добавить случайную задержку перед посылкой каждого импульса. Тогда все полезные сигналы будут складываться в фазе, а помеховые сигналы от предыдущих посылок будут то запаздывать, то отставать. Исследования, проведенные на расчетных моделях, показали, что решение эффективно. Пример представлен на рис. 1.

Возникла мысль запатентовать идею, однако оказалось, что такой подход уже был ранее продуман [1]. Так что, если стоит задача сохранить высокую частоту посылок зондирующего импульса и применять усреднение сигналов, стоит задуматься о том, чтобы к задержке между импульсами добавлялась случайная величина не менее чем ширина импульса.

Анизотропия скорости звука

В апреле 2024 года при проведении работ по внедрению зонального контроля во ВНИИГАЗе произошел прямо-таки скажем конфуз. Очевидно, что, работая с антенной решеткой большой апертуры, можно получить более качественное изображение отражателей: фронтальное разрешение должно возрасти, акустическая схема SS–SS с однократным отражением от дна должна работать в большем диапазоне глубин, отношение сигнал/шум должно увеличиться. Не было предела нашему изумлению, когда при настройке аппаратуры в режиме ЦФА зональный контроль индикации трех ПДО диаметром 1,5 мм, контуры которых линиями черного цвета схематически показаны на рис. 2, при использовании 64-элементной решетки оказались очень сильно расфокусированными и раздвоились. Кроме того, для такого простого случая высокий уровень шума на изображении кажется странным. Угол наклона оси ПДО был равен 50°. А вот использование 32-элементной решетки позволяло получить более сфокусированную индикацию настроечного ПДО. Мистика...

В попытке преодолеть этот казус мысль сотрудников «ЭХО+» забила ключом. Посыпались идеи,

что в программе восстановления ЦФА-изображения ошибка для акустической схемы с однократным отражением от дна. Решетку из 64 элементов разбили на две по 32 элемента и пытались одной излучать, а другой принимать, принялись рассматривать версию образования пузыря с глицерином между подошвой призмы и поверхностью трубы из-за несовпадения диаметров и влияния этого пузыря на распространение ультразвука в широком диапазоне углов. А уж совсем горячие головы пытались «провести измерения скорости звука в квантовой пене»... Стали проверять работу на эхосигналах, рассчитанных программой CIV4, провели измерения на образце с плоскими гранями. Результат – все прекрасно работает и 64-элементная решетка прекрасно себя проявила. Но факт, как говорится, на лице. В итоге была высказана мысль о существовании анизотропии в образце. Три коэффициента упругости для кубической симметрии были подобраны, и ЦФА-изображения ПДО прекрасно сфокусировались по акустической схеме SS–SS с однократным отражением от дна (рис. 3).

В результате в свойства объекта контроля дополнительно вносятся параметры анизотропии: тип анизотропии, плотность, упругие коэффициенты и угол наклона кристаллитов. На практике параметры анизотропии будут подбираться на образце с известными отражателями.

Данный пример любопытен тем извилистым путем, по которому коллективная мысль шла к правильному решению.

Измерение толщины при отрицательных температурах

При измерении толщины и поиска расслоений сосудов с номинальной толщиной стенки 30 мм были получены результаты, систематически отличающиеся в меньшую сторону от но-

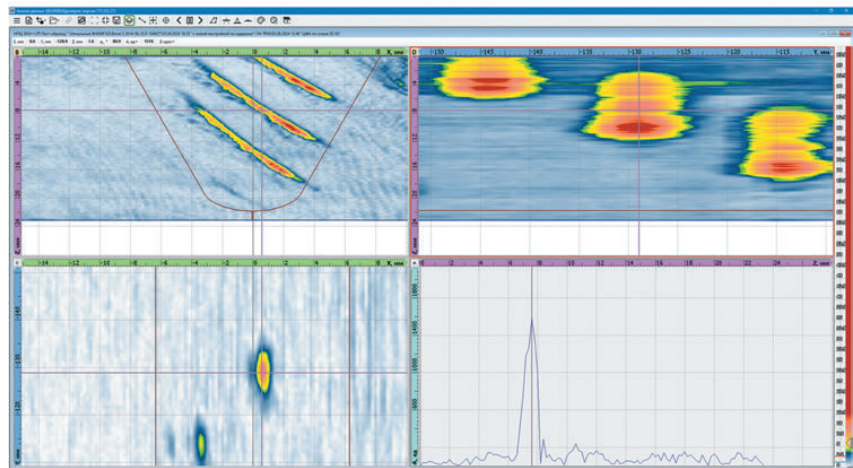


Рис. 2. Индикации трех ПДО, полученные по акустической схеме SS–SS в предположении, что среда однородная

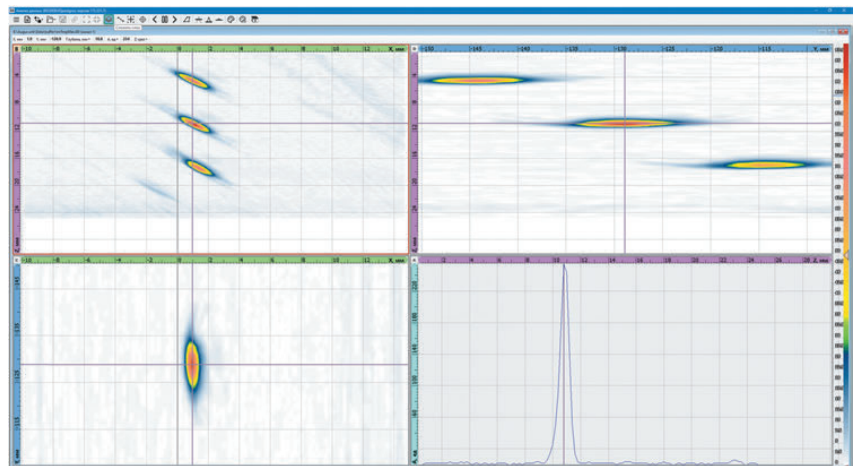


Рис. 3. Индикации трех ПДО, полученные по акустической схеме SS–SS при учете кубической анизотропии

минального значения на 1,5 мм. Измерения проводились с применением фазированной решетки и плоскопараллельной задержки из оргстекла.

Результаты отличались от измеренных традиционным толщиномером, который показывал толщину порядка 30 мм. В попытке объяснить разницу в показаниях пытались сравнить способ настройки измерения сигнала в стробе с разницей в свойствах металла образца и измеряемого сосуда.

Но решение пришло, лишь когда обратили внимание, что ультразвук вводился через задержку из оргстекла толщиной 35 мм,

настройка глубиномера и чувствительности была сделана в лаборатории, а контроль проводился при минусовых температурах.

При этом чувствительность по ПДО честно проверялась каждый час работы, а вот про настройку глубиномера забыли.

На рис. 4 на графике температурной зависимости скорости звука в оргстекле [2] видно, что при изменении температуры от +20 до –5° скорость звука в оргстекле (синий график) увеличивается с 2,7 до 2,75 мм/мкс, т.е. примерно на 2 %. Казалось бы, и погрешность измерения толщины тоже составит 2 %, т.е. относительно незначительные 0,6 мм.

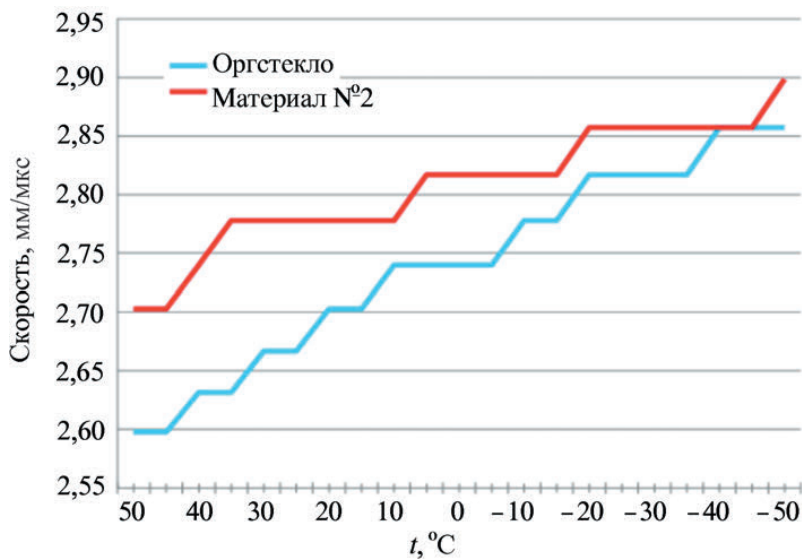


Рис. 4. Зависимость скорости звука в оргстекле от температуры

Однако расчет показывает следующее.

При толщине задержки 35 мм разница во времени пробега в задержке составляет всего $35/2,7 - 35/2,75 = 0,23$ мкс.

Учитывая, что при скорости звука продольной волны в стали 5,9 мм/мкс время пробега в пластине толщиной 30 мм составит $30/5,9 = 5,08$ мкс, а при измерении толщины с неправильной настройкой скорости звука в призме прибор даст ошибку порядка $0,23 \times 5,9 = 1,4$ мм.

К счастью, данная ошибка была вовремя обнаружена и еще раз подтверждено требование ряда стандартов о том, что настройка по стандартному образцу и контроль должны проводиться при температурах, отличающихся не более чем на 10–15°.

Поверхностные волны и когерентная обработка

В 2004–2005 гг. мы столкнулись с проблемой: при контроле ПЭП на поперечных волнах углом ввода 60° сварных швов главного циркуляционного трубопровода периодически на В-сканах (скан по-

перек сварного шва) появлялись сигналы, очень похожие на дефекты, причем видимые при сканировании по достаточно большой апертуре. Амплитуда сигналов была довольно приличная.

Однако при обработке данных когерентным методом ПСП эти сигналы не фокусировались в изображение внутри сварного шва, что заставило нас заподозрить, что этот сигнал связан с какой-то помехой.

Расследование показало, что, по всей видимости, сигнал обусловлен тем, что на неровной поверхности, образующейся при удалении валика усиления, каким-то образом возникает поверхностная (рэлеевская) волна, которая, несмотря на наличие контактной жидкости на поверхности, умудряется от чего-то отразиться. Одной из причин появления поверхностной волны может быть также то обстоятельство, что для систем с голографической обработкой применялись ПЭП с широкой диаграммой направленности, в которой мог возникнуть угол, соответствующий рэлеевской волне. Как отличить помеховый сигнал от реального сигнала от дефекта, видно на рис. 5.

Для поверхностной волны зависимость времени прихода эхосигнала от положения ПЭП будет линейной, поскольку рэлеевская волна распространяется по поверхности, а вот для объемной волны, с фронтом, распространяющимся под углом, зависимость представляет собой часть параболы.

Контактирующая жидкость

Те, кто имеют дело с ультразвуком (промышленным и медицинским), хорошо знают, что без контактной среды, которая обеспечит передачу ультразвука от ПЭП к объекту контроля, ничего не получится.

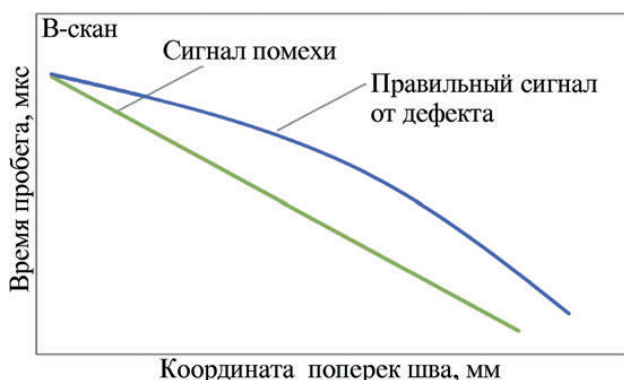


Рис. 5. Трек сигнала от поверхностной волны и от реального дефекта

Среди дефектоскопических шуток есть и шутки о контактирующей жидкости, которая налаживает контакт и между профессионалами.

Глицерин хорош, но когда охрана АЭС слышит это слово, то хватается за автомат, ведь «глицерин – это же почти нитроглицерин». Поэтому закупается медицинский аквагель, но он довольно дорог.

В 1980-х гг. почему-то недорого было покупать крем «Балет», который отлично подошел по своим свойствам не только для массажа, но и для обеспечения акустического контакта.

Подсолнечное масло также можно использовать, и у нас был такой опыт, однако то состояние, в которое приходит аппаратура после масла, вызывает большие сомнения в целесообразности его использования. Все покрывается черным прогорклым маслом и требует полной профилактики всех сканеров.

Игорь Николаевич Ермолов в своих воспоминаниях о том, как он разрабатывал методику измерения затухания звука в объектах с неровной поверхностью (короче говоря, в трубах), описывает, что оптимальным оказалось вводить ультразвук через шматок сала.

А вот какую контактную жидкость использовать, когда работаешь при глубоко минусовых температурах?

Тосол, замешанный с обойным клеем, был опробован и неплохо себя зарекомендовал при минус 15–20°. Такую смесь хорошо наносить кисточкой. Но это не очень годится для автоматизированных систем, где требуется более равномерная подача контактной жидкости.

Тогда можно взять незамерзающую жидкость или смешивать этиленгликоль с водой в требуемой пропорции и заливать в бочку, из которой насос ее заберет. Только надо не совершить ошибку, которую однажды допустили мы, – проводили контроль сначала в лаборатории с водой, а потом кинули насос в багажник и проехали 100 км в тридцатиградусный мороз. Конечно, вода внутри насоса замерзла.

Разметка дефектов под вырезку

Одно дело – найти дефект, а другое – подтвердить его наличие при выборке и убедиться в полноте его выборки. Обычно слесари без большого энтузиазма аккуратно делают послойную выборку, и задача дефектоскописта стоять над душой и ждать, пока появится заветный непровар или шлак.

Был и случай, когда при контроле аустенитного сварного соединения с односторонним доступом был выявлен дефект на границе сплавления с ближней кромкой. А при разметке два дефектоскописта друг друга не поняли и на поверхности трубы нарисовали эскиз с размещением дефекта не там, где он находился.

Нехорошо получилось, так как при повторном контроле после ремонта дефект остался на прежнем месте.

В результате составили такую инструкцию по разметке дефектов на объекте контроля.

1. Разметка дефектов должна применяться с использованием портативного дефектоскопа (желательно с поддержкой ФАР) с непосредственным наблюдением на экране сигналов от дефекта.
2. В крайнем случае допускается проводить разметку после оценки данных дефектоскопистом, изначально устанавливавшим привязку сканера и наплавление сканирования и ознакомленного с данными АУЗК и местом расположения дефекта относительно разделки в случае гарантированного отсутствия пропуска шагов и проскальзывания сканера при контроле.
3. Недопустима разметка без участия представителей компании по устному или даже письменному сообщению о координатах дефекта.
4. Разметка выполняется маркером контрастного цвета на поверхности сварного соединения с четким указанием:
 - a) начала и конца дефектной зоны вдоль шва (допускается указывать с погрешностью +5 мм в сторону увеличения протяженности);
 - b) координаты залегания поперек шва (непосредственно поверх валика усиления) измеряются по отметчику координат на S-скане;
 - c) максимальная глубина залегания указывается в виде символов H рядом с разметкой дефекта. Глубина должна соответствовать значению Z_k в заключении УЗК. *В случае, если лигамент составляет величину менее 5 мм, необходимо обсудить эту ситуацию с мастером по сварочным работам для выбора технологии ремонта – полная или частичная выборка;*
 - d) допускается привести рядом схематичное расположение дефекта относительно разделки таким образом, чтобы избежать двоякого толкования стороны расположения дефекта и глубины залегания дефекта. *Для этого схема должна располагаться на горизонтальном участке трубопровода, как показано на рис. 6;*
 - e) допускается указать порядковый номер дефектного участка, в случае если их несколько.

ШНО

Многие дефектоскописты знакомы с термином ДНО в заключении по результатам контроля, что означает «дефект не обнаружен». А бывает еще ситуация ШНО, т.е. «шов не обнаружен».

Такое нередко случается при путанице в исполнительной документации на трубопроводы. Лет 15 назад на одном из объектов нам надо было провести контроль 12 сварных соединений. Из них 11 мы ус-

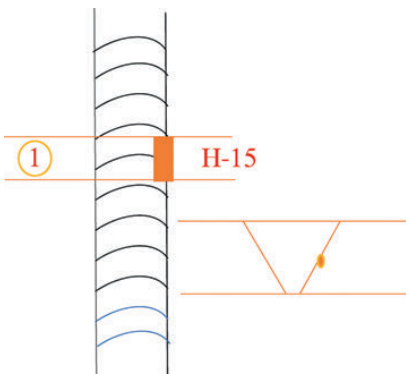


Рис. 6. Пример разметки дефекта по границе сплавления на глубине 15 мм

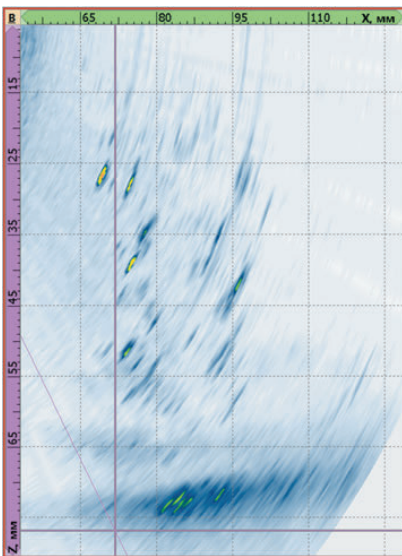


Рис. 7. Пример шумовых сигналов

пешно проконтролировали, а вот с последним ничего не вышло — на схеме есть шов (причем заводской), а найти его никак не можем. Швы с зачищенными валиками, поэтому визуально никак не обнаружить. Что делать? Попросили зачистить полосу вдоль всего участка трубопровода и переставляли сканер системы АВГУР 5.2 много раз, сканировали, получали изображение и пытались разглядеть шумовые сигналы от наплавленного металла. Безуспешно. То ли действительно шва нет, то ли он сварен настолько чисто, что нет ни малейшего следа.

Не могли же мы и в самом деле в заключении написать, что шов не обнаружен. Просканировали то место, где он должен быть по чертежу и выдали заключение ДНО. Ситуация некрасивая, но не подставлять же всю цепочку — завод, монтажники, эксплуатационщики.

Но спустя 8 лет уже другая бригада приехала на контроль, она не знала об этих тонкостях и точно также пыталась найти шов. Но на этот раз уже с помощью фазированных решеток, что было, конечно, гораздо легче, ведь изображение на повышенном уровне чувствительности можно тут же вывести на экран. На рис. 7 как раз представлен пример шумового сигнала от наплавленного металла и внутренней наплавки. Это позволило найти все швы, даже и с тщательно зачищенным валиком усиления.

ИСТОЧНИКИ

1. <https://www.freepatent.ru/patents/2517774>
2. Сясько В.А., Синицкий Г.В., Попов А.А. Повышение достоверности ультразвукового контроля, проводимого в широком диапазоне температур с использованием наклонных преобразователей. URL: https://constanta-us.com/pdf/ndt_world_12.pdf

ЖУРНАЛ «ТЕРРИТОРИЯ NDT»

У нашей ТЕРРИТОРИИ нет границ - попасть на нее можно ИЗ ЛЮБОЙ ТОЧКИ МИРА.
Наша ТЕРРИТОРИЯ - это ОБЪЕМ и ПРОСТОР информации в области НК.

В свободном доступе
НА САЙТЕ

www.tndt.idspektr.ru



СВЕЖИЙ НОМЕР
журнала

[http://tndt.idspektr.ru/
index.php/current-issue](http://tndt.idspektr.ru/index.php/current-issue)



АРХИВЫ номеров
за 10 лет

[http://tndt.idspektr.ru/
index.php/archive](http://tndt.idspektr.ru/index.php/archive)



Редакция: +7 (499) 393-30-25 • tndt@idspektr.ru