

Новые средства НК

In-Construction Automatic Ultrasonic Inspection of Girth Welds

G. Passi

Newly developed high-technology equipment ISONIC PA AUT from Sonotron NDT for rapid automatic ultrasonic inspection of girth welds is presented in the article. ISONIC PA AUT utilizes phased array, TOFD, and conventional technologies simultaneously.

Автоматический ультразвуковой контроль стыков при строительстве магистральных проводов высокого давления

6

ISONIC PA AUT – высокотехнологичное решение для скоростного автоматического контроля стыковых швов труб

При строительстве морских и континентальных газо- и нефтепроводов трубы автоматически свариваются встык, затем быстро проверяются, изолируются и укладываются на шельф. Не вызывает сомнения необходимость обнаружения, оценки и ремонта дефектов сварки с высокой производительностью и надежностью с целью соблюдения сроков строительства, поэтому высокоскоростной автоматический ультразвуковой контроль (АУЗК) очень востребован как единственное решение, способное заменить радиографию в соответствии с имеющимися стандартами.

АУЗК стыковых швов труб осуществляется посредством сканирования



Рис. 1. Общий вид трубоукладочного корабля (а), установка/съем сканера и ПЭП на трубу (б), комната для размещения аппаратуры, управления сканированием и регистрации результатов контроля (в)

вдоль линии сплавления с использованием нескольких ультразвуковых преобразователей (ПЭП), расположенных на внешней поверхности трубы с обеих сторон от шва. Сканер перемещает ПЭП и датчик координаты вдоль орбитального трака. В ранее разработанных системах АУЗК для подключения ПЭП, датчика координаты и мотора сканера к электронному блоку, реализующему излучение-прием ультразвуковых импульсов, управление, обработку и запись данных контроля, применяется многоканальный аналоговый кабель. Электронный блок обычно размещается в кабине автомобиля или в специально оборудованном помещении на трубоукладочном корабле на рассто-

янии до нескольких десятков метров от участка сканирования. АУЗК стыков труб выполняется бригадой из трех операторов: двое заняты установкой/съемом сканера с ПЭП на трубу, а третий управляет автоматическим сканированием, наблюдает за индикацией и процессом записи результатов, а также принимает окончательное решение о годности сварного шва или необходимости ремонта.

АУЗК стыковых швов труб регламентируется рядом стандартов, а именно: ASTM E-1961, API 1104, и DNV 2000 OS-F101, в соответствии с которыми объем сварного соединения позонно прозвучивается сфокусированными лучами (рис. 2):

Об авторе



Пасси Гарри

Генеральный директор и научный руководитель фирмы Sonotron NDT (Израиль). Доктор наук, профессор, III уровень НК в пяти дисциплинах (UT, ET, MPI, MIA, RT).

- вдоль поверхности разделки с разделением на тонкие горизонтальные слои (зоны) в областях Cap, Fill, Hot Pass (HP) и Root (Rt);
- по объему наплавленного металла с разделением на так называемые Volume-зоны.

Выбранные зоны последовательно прозвучиваются независимо друг от друга в соответствующих циклах илучения-

ль сварных ных трубо-

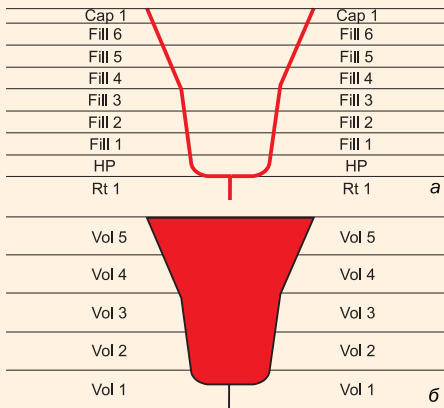


Рис. 2. Пример профиля сварного шва и разделение на зоны с целью выявления несплавленной по кромке (а) и обнаружения дефектов в наплавленном металле (б)

приема. Благодаря электронному управлению апертурой и ультразвуковым лучом, использование фазированных решеток (ФР) значительно уменьшает количество ПЭП, необходимых для многозонального прозвучивания. Это упрощает устройство сканирования и ускоряет контроль. Использование нескольких дополнительных TOFD и обычных ПЭП одновременно с ФР обеспечивает полноту прозвучивания шва: ФР ПЭП осуществляют эхо-импульсный и тандем-контроль на наличие компактных и линейно протяженных дефектов на поверхностях разделки (кромках) основного металла и в объеме наплавленного металла; обычные ПЭП применяются для обнаружения поперечных дефектов (К- и Х-схемы прозвучивания), расслоений в зоне термического влияния в основном металле и т.п.; TOFD ПЭП реализуют контроль по комплиментарной техноло-

гии, основанной на обнаружении дефектов по дифрагированным сигналам. Способность обнаружения дефектов в каждой зоне обеспечивается за счет калибровки системы АУЗК на специально изготовливаемых образцах, содержащих заданное число искусственных дефектов, чьи расположение, ориентация, форма и размеры полностью воспроизводят разнообразие дефектов, подлежащих обнаружению и записи.

Накопленный опыт применения АУЗК выявил ряд недостатков существующего оборудования:

- использование дорогого, тяжелого, и громоздкого многожильного кабеля увеличивает эксплуатационные расходы – стоимость одного кабеля, вероятность непреднамеренного повреждения которого очень высока, а износостойкость низка, составляет десятки тысяч долларов. При этом у организации, выполняющей контроль, нет иного выбора кроме приобретения кабелей впрок с целью недопущения остановки процесса АУЗК во время строительства трубопровода;
- в связи с необходимостью передавать аналоговые сигналы через кабель длиной в десятки метров отношение сигнал/шум невелико, а энергопотребление аппаратуры весьма высокое;
- перегрев аппаратуры из-за высокого энергопотребления вызывает необходимость использования водяного охлаждения и/или периодического выключения во время рабочей смены, а также заставляет ограничивать число задействованных высокочастотных аналого-цифровых преобразователей (АЦП) и количество параллельно работающих каналов излучения-приема;
- недостаточное количество АЦП вызывает необходимость мультиплексирования и увеличения частоты посылок, что, в свою очередь, также увеличивает энергопотребление;
- недостаточное количество каналов излучения-приема обуславливает необходимость сканирования стыкового сварного шва за более чем один оборот сканирующей системы и/или совмещение функций ФР и TOFD на призмах ФР ПЭП, что, в конечном итоге, замедляет контроль;
- отсутствие 100 %-й записи необработанных А-сканов для всех каналов ввиду упомянутых вынужденных ограничений возможностей существующего оборудования создает прецедент компромисса с неполным соответствием стандарту ASME 2235, который регламентирует использование УЗК вместо радиографии.

Система ISONIC PA AUT фирмы Sonotron NDT представляет собой новое высокотехнологичное решение для скоростного автоматического контроля стыковых швов труб, обеспечивающее наивысший уровень эксплуатационных характеристик. Система выполнена в легком ударопрочном герметичном корпусе, который устанавливается на сканер; обычный удаленный компьютер (ПК) полностью обеспечивает управление системой, накопление и отображение данных контроля, используя Ethernet протокол, при этом отпадает необходимость в дорогом, тяжелом и громоздком многоканальном аналоговом кабеле – лишь легкая тонкая бронированная трубка приводит кабель электропитания и типовой Ethernet кабель на специально спроектированный вращающийся терминал прибора. Принимаемые сигналы оцифровываются и первично обрабатываются в режиме реального времени непосредственно на сканере, и данные контроля в цифровом виде передаются на удаленный ПК для дальнейшей обработки, хранения и отображения. Полностью цифровое управление и передача данных через Ethernet обеспечивают практически неограниченное расстояние между системой контроля и удаленным ПК, создавая определенную гибкость в организации постов контроля на трубокладочном корабле, на трассе и т. п.

ПЭП подключаются к ISONIC PA AUT короткими кабелями, что, по сравнению с передачей сигнала через длинный аналоговый кабель, обеспечивает значительно более высокое качество сигналов, улучшая соотношение сигнал/шум и расширяя динамический диапазон. Помимо этого отношение сигнал/шум и динамический диапазон увеличиваются за счет уникального решения по генерации зондирующих импульсов – прибор вырабатывает биполярный прямоугольный импульс с регулируемым размахом до 300 В для ФР ПЭП и до 400 В для обычных и TOFD ПЭП. Длительность и амплитуда зондирующего импульса, а также сдвиг фаз между каналами излучающей апертуры ФР регулируются в широких пределах. При этом поддерживаются 0,5 %-я стабильность амплитуды и «полки» прямоугольного зондирующего импульса в течение действия обеих полуолн при бустированной крутизне фронтов, что обуславливает наивысшую эффективность электроакустического преобразования.

Количество элементов ФР ПЭП, составляющих излучающую апертуру, не ограничено – в случае необходимости все элементы каждого из ФР ПЭП, подключенных к системе, могут излучать

одновременно. Аналоговое усиление до 100 дБ возможно для всех каналов, обслуживающих ФР, TOFD и обычные преобразователи. Система осуществляет 16-ти разрядное аналого-цифровое преобразование сигналов с частотой дискретизации 100 МГц параллельно для всех элементов приемной апертуры ФР ПЭП. В случае необходимости приемная апертура может быть ском-

понована из всех элементов ФР ПЭП, подключенных к системе, – мультиплексирование не используется. Оцифрованные сигналы фазируются и складываются в соответствии с реализуемым фокальным законом «на лету» в реальном времени, и результирующей цифровой А-скан формируется в каждом цикле излучения-приема. Этим обеспечивается наивысшая произво-

дительность накопления, обработки и хранения данных АУЗК.

ISONIC PA AUT реализует накопление и хранение данных контроля в удаленном ПК в необработанном виде, обеспечивая возможность ретроактивного воспроизведения всех полученных А-сканов; это обеспечивает полное соответствие с ASME 2235. Каждый канал излучения-приема для обычных и TOFD

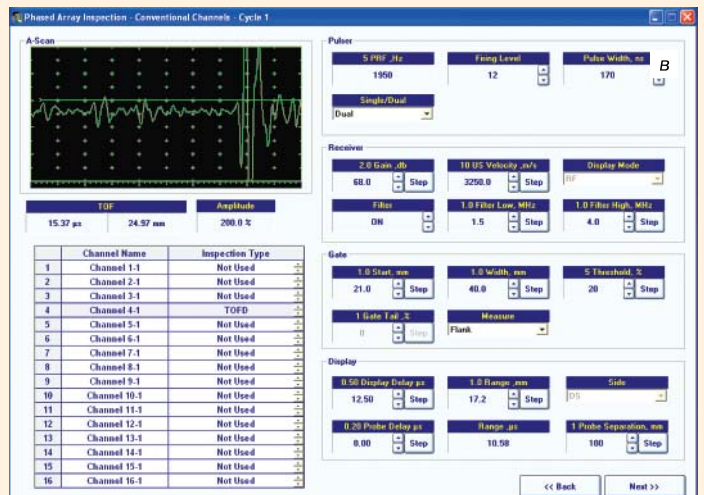
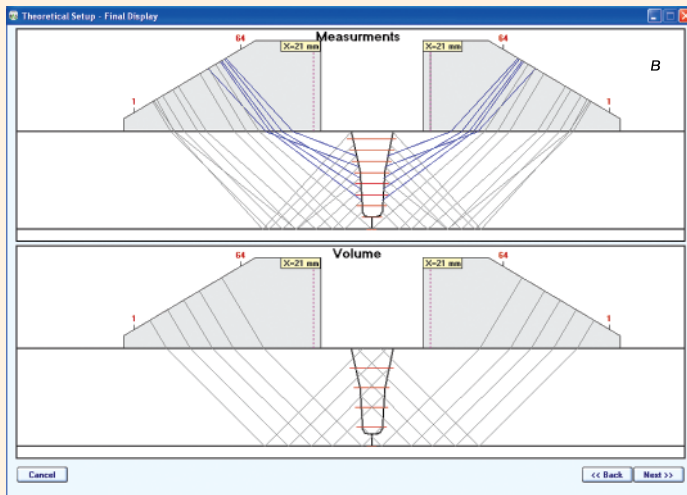
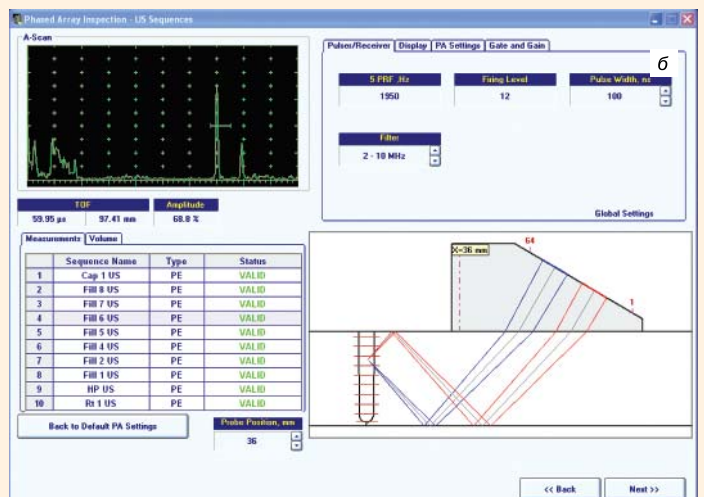
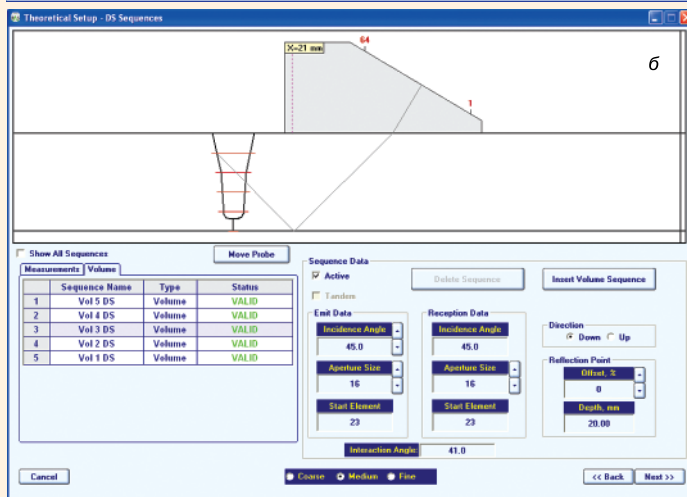
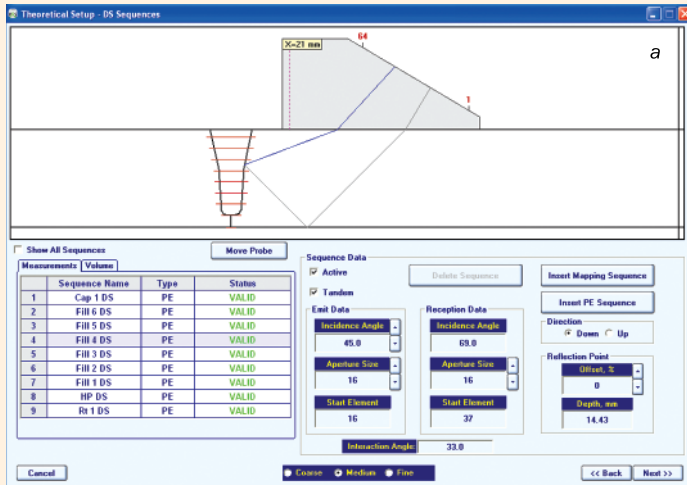
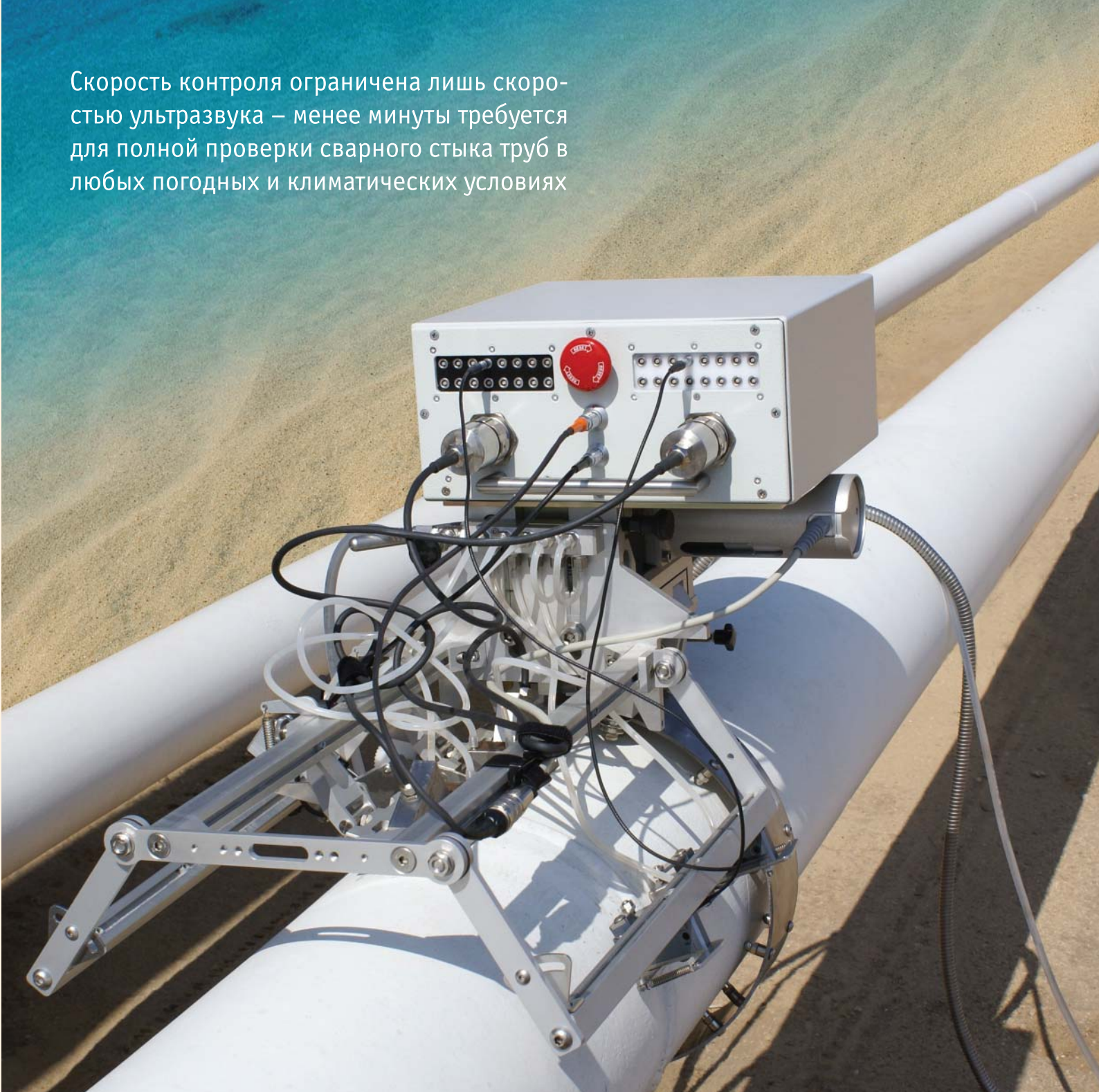


Рис. 3. Пример трассировки ультразвуковых лучей: а – обнаружение несплавлений по кромке по тандемной схеме; б – обнаружение дефектов в наплавленном металле эхо-методом; в – окончательный результат трассировки

Рис. 4. Настройка циклов излучения-приема на образце трубы с искусственными дефектами: а – общий вид; б, в – примеры экрана удаленного ПК при настройке на выявление дефекта с использованием соответственно ФР-ПЭП по тандемной схеме и TOFD ПЭП

Скорость контроля ограничена лишь скоростью ультразвука – менее минуты требуется для полной проверки сварного стыка труб в любых погодных и климатических условиях



ISONIC PA AUT

Автоматический ультразвуковой контроль стыковых сварных швов труб с применением фазированных решеток, TOFD и конвенциональных преобразователей



Sonotron NDT
Get the whole picture
www.sonotronndt.com

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ПРЕДСТАВИТЕЛЬ В РОССИИ И СТРАНАХ СНГ:
ООО «МНПО «СПЕКТР»
119048, г. Москва, ул. Усачева, д. 35, стр. 1
Тел: +7 495 626 5359, 626 5348
<http://www.mnpo-spektr.ru> e-mail: info@mnpo-spektr.ru



преобразователей может работать как в раздельном, так и в совмещенном режиме, поэтому при использовании раздельно-совмещенных преобразователей, прозвучивании по технологии TOFD, применении K- и X-схем обнаружения поперечных дефектов сдвиговыми волнами и т. д., в отличие от существующих систем АУЗК требуется вдвое меньше каналов. Рациональная конструкция обеспечи-

вает исключительно низкое энергопотребление системы, исключая необходимость применения водяного и других видов охлаждения.

В типовой конфигурации система ISONIC PA AUT содержит 128 каналов, обеспечивающих одновременную работу двух 64-х элементных ФР ПЭП, и 16 отдельных независимых каналов излучения-приема для обычных и TOFD преобразо-

вателей; система допускает развитие до 512 ФР-каналов, например, с целью применения матричной ФР-технологии для трехмерного управления ультразвуковым лучом. Количество отдельных независимых каналов излучения-приема для обычных и TOFD ПЭП также может быть увеличено до 32 или 64. Один ПК может управлять несколькими (до 16) системами одновременно, обеспечивая рациональ-

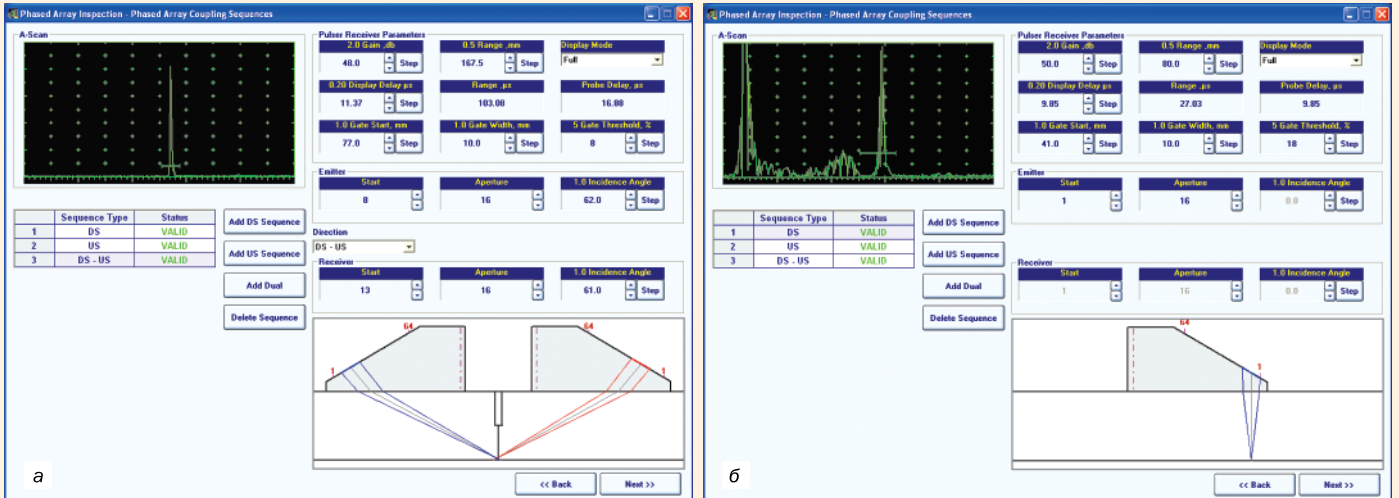


Рис. 5. Контроль акустического контакта: по донному сигналу: а – поперечной волны, распространяющейся от одного ФР-ПЭП к другому; б – продольной волны, формируемой и принимаемой одним и тем же ПЭП

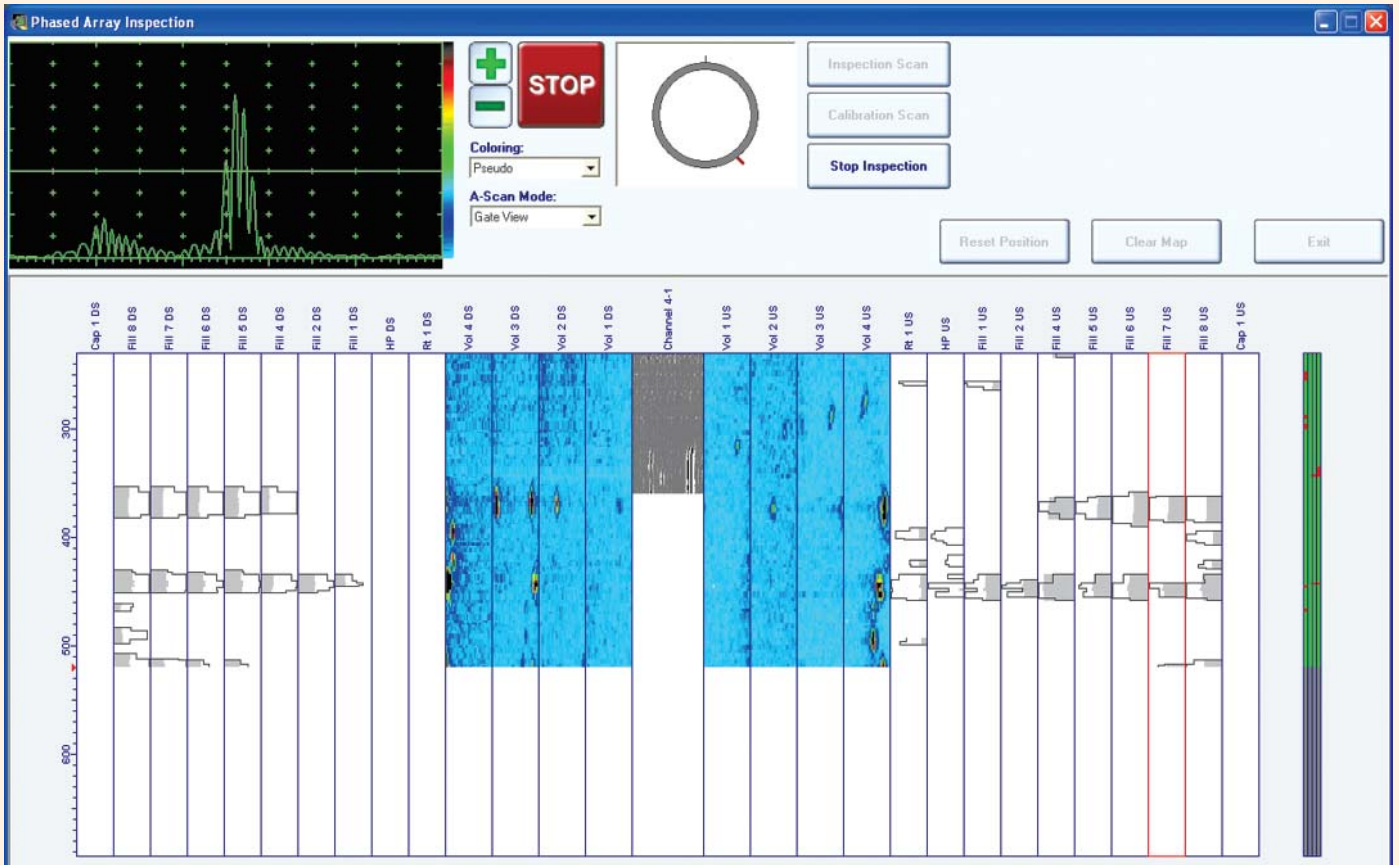


Рис. 6. Пример экрана удаленного ПК при сканировании образца трубы

ную организацию работ и минимизируя количественный состав персонала.

Стадии скоростного АУЗК стыковых швов труб с применением системы ISONIC PA AUT

Подготовка к контролю

Подготовка к контролю – наиболее трудоемкая операция, которая может занять от одного до трех дней.

Трассировка ультразвуковых лучей

Для трассировки применяется специальная программная утилита. В диалоговом режиме оператор определяет основные параметры ФР ПЭП (количество элементов, шаг апертуры, скорость продольной ультразвуковой волны в призме и все ее геометрические параметры, а также позицию ФР ПЭП на призме и

задержку протектора ФР ПЭП). Затем из базы данных выбирается тип разделки основного металла и задаются все геометрические параметры, после чего объем шва разделяется на горизонтальные слои (зоны), задаются позиции ФР ПЭП относительно оси сварного стыка. В результате в интерактивном режиме осуществляется трассировка лучей в объекте, причем, в зависимости от типа

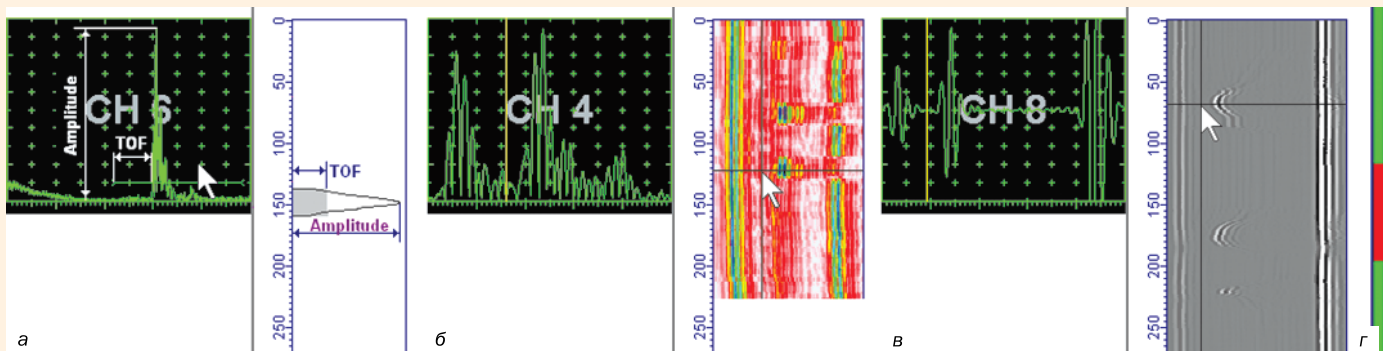


Рис. 7. Виды дорожек при записи результатов АУЗК: а – «кардиографический»; б – картографический; в – TOFD; г – индикатор контакта

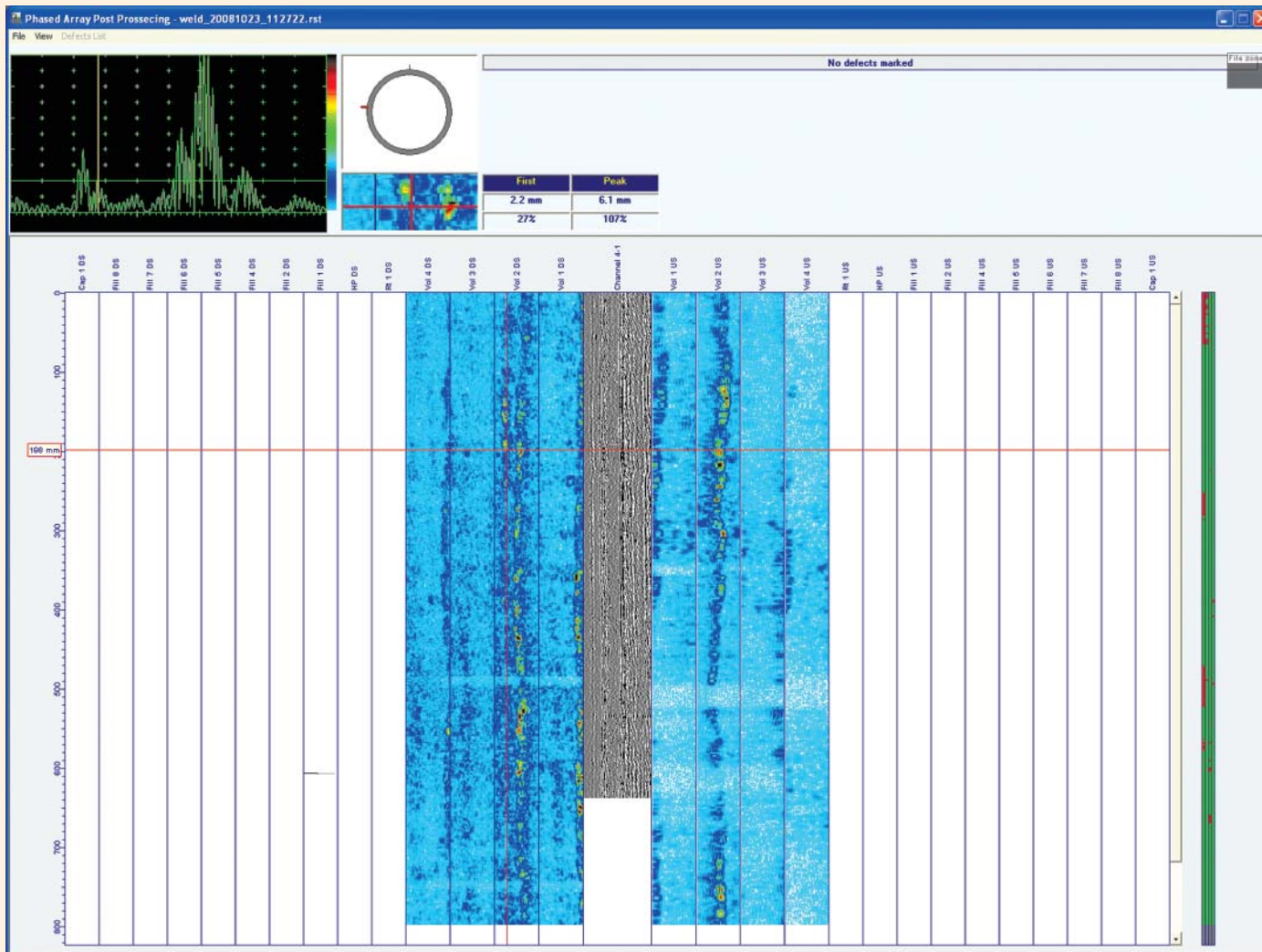


Рис. 8. Пример представления результатов АУЗК сварного шва

НК металлоконструкций

дефекта, подлежащего обнаружению в той или иной зоне прозвучивания, используется эхо-метод (совмещенная апертура излучения-приема) или тандемная схема (разделение излучающей и приемной апертур) – рис. 3.

По окончании трассировки определяется фактическое число циклов излучения-приема, которые должны быть реализованы с использованием ФР ПЭП в каждой точке во время линейного сканирования вдоль оси сварного шва. Интервал между двумя соседними точками согласно принятым нормам обычно составляет 0,5 – 1 мм.

Настройка циклов излучения приема

Настройка циклов излучения-приема для ФР, TOFD и обычных ПЭП осуществляется на образце трубы с искусственными дефектами и сводится к последовательной установке каждого из применяемых ПЭП в позиции, где расположены дефекты, подлежащие обнаружению в соответствующем цикле излучения-приема. Для каждого цикла настраивается усиление, зона контроля, длительность полуволн зондирующего импульса и т. п. Процедура настройки иллюстрируется рис. 4.

Следует отметить, что при АУЗК необходимо применять непрерывное слежение за акустическим контактом и регистрировать его состояние одновременно с информацией об обнаружении дефектов. При использовании ФР ПЭП в ISONIC PA AUT предусмотрены два способа контроля акустического контакта (рис. 5), для которых отдельно организуются дополнительные циклы излучения-приема.

Контрольное сканирование

По завершении настройки всех циклов излучения-приема осуществляется контрольное сканирование образца трубы с заданной скоростью с целью под-

тверждения обнаружения и регистрации всех дефектов в образце. Результаты контроля представляются в виде «прокручиваемой» ленты, где каждому заданному каналу соответствует отдельная «дорожка» (рис. 6). Возможны следующие виды записи для отдельных «дорожек» (рис. 7):

- **«кардиографический»** – черная линия отображает огибающую максимальной амплитуды сигнала, совпадающего со стробирующим импульсом, а ширина одновременно воспроизводимой сплошной серой полосы соответствует временному сдвигу между началом стробирующего импульса и сигналом. При этом отклонение огибающей, равное всей ширине «дорожки» соответствует полной амплитуде сигнала на А-скане; ширина сплошной серой полосы, равная всей ширине «дорожки», соответствует совпадению фронта или пикового сигнала с моментом окончания стробирующего импульса. Огибающая максимальной амплитуды сигнала и сплошная серая полоса, отображающая его временной сдвиг относительно начала стробирующего импульса, воспроизводятся лишь при условии превышения порога, определяемого вертикальной позицией стробирующего импульса на А-скане, но запоминание А-сканов осуществляется безусловно;
- **«картографический»** – каждый А-скан, принимаемый во время сканирования, отображается в виде горизонтальной линии с цветовой/яркостной модуляцией трека в соответствии с мгновенными значениями амплитуды сигнала;
- **TOFD** – каждый невыпрямленный А-скан, отображается в виде горизонтальной линии, яркость точек которой модулируется в соответствии с мгновенными амплитудой и знаком сигнала;

– **индикатор контакта** – амплитуда сигнала сравнивается с пороговым уровнем и в случае превышения над ним отображается зеленым прямоугольником, а в противном случае – красным.

Взаимное расположение «дорожек» определяется позицией соответствующих преобразователей на объекте контроля.*

При достижении удовлетворительных результатов контрольного сканирования результаты настройки сохраняются для последующего использования при рутинном контроле.

Выполнение контроля

При выполнении контроля операторы попеременно устанавливают систему на реальную трубу и на контрольный блок. Сканирование контрольного блока периодически осуществляется для того, чтобы удостовериться в полной работоспособности аппаратуры, частота таких проверок определяется процедурой контроля. На рис. 8 приведен пример записи результатов АУЗК реального сварного стыка.**

Время, затрачиваемое на сканирование сварного шва, не превышает одну – две минуты в зависимости от диаметра трубы и толщины стенки, при этом все А-сканы сохраняются в необработанном виде и могут быть воспроизведены в любой момент для подтверждения и оценки зафиксированных индикаций.

Статья получена 25 марта 2009 г.

* Видео файл, иллюстрирующий сканирование образца трубы с использованием системы ISONIC PA AUT, доступен для просмотра по ссылке: <http://www.sonotronndt.com/ReplInfo/IPAAUT/IPAAUTCaIBlockScan01.wmv>

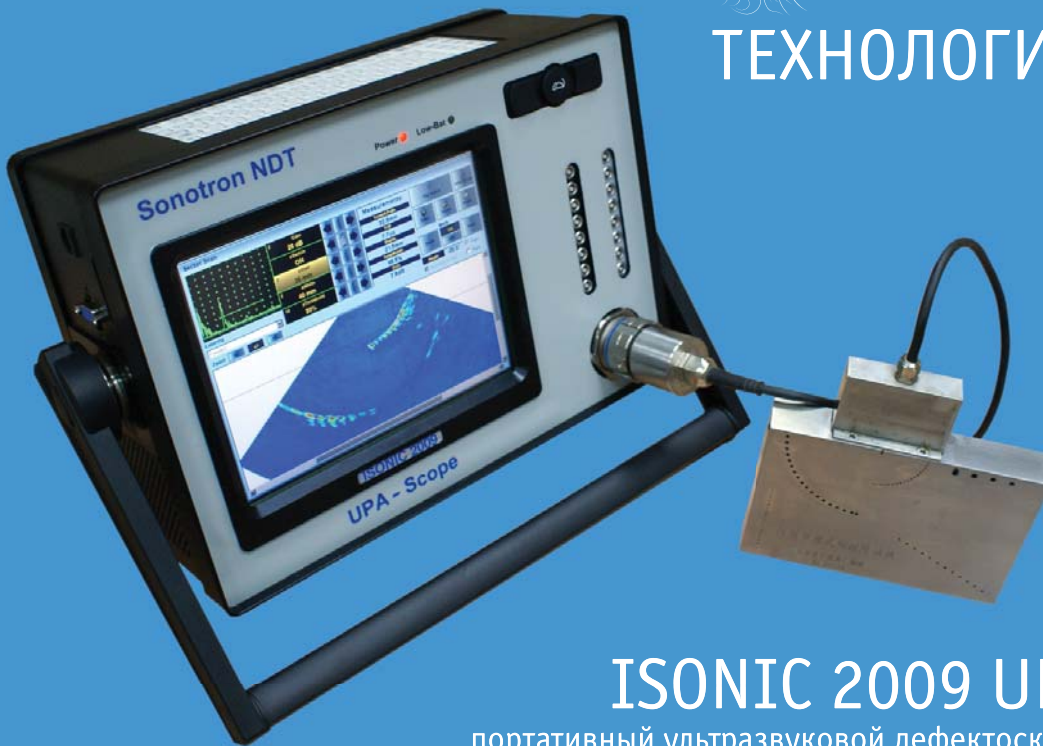
Видео файл, иллюстрирующий соответствующий экран удаленного ПК, доступен для просмотра по ссылке: <http://www.sonotronndt.com/ReplInfo/IPAAUT/IPAAUTCaIBlockScanScreen01.wmv>

** Видео файл, иллюстрирующий АУЗК, доступен для просмотра по ссылке http://www.sonotronndt.com/ReplInfo/IPAAUT/IPAUT_70MM_SEC.wmv

Начиная с начала XXI в., ряд производителей широко пропагандирует приборы, обеспечивающие электронное управление ультразвуковым лучом на основе технологии Phased Array с использованием преобразователей на фазированных решетках (ФР). При этом подчеркивается абсолютная новизна технических решений, а также прогнозируется тотальное замещение традиционных приборов и технологий УЗК ФР-дефектоскопами в обозримом будущем. С этими аргументами не согласны разработчики из фирмы Sonotron NDT – производителя портативного ультразвукового ФР-дефектоскопа ISONIC 2009 UPA Scope, который позиционируется как наиболее мощный прибор данного класса из существующих на рынке. В статье, запланированной к публикации в следующем номере журнала, рассматривается ряд наиболее существенных аспектов ручного и механизированного УЗК с применением ФР-технологии с учетом ряда технических решений, разработанных еще в прошлом веке для традиционной аппаратуры. Помимо этого отмечаются не только неоспоримые преимущества, но и естественные ограничения, присущие ФР-технологии, что исключает полное замещение ею решений, основанных на использовании традиционных преобразователей и аппаратуры.



СВОБОДА ВЫБОРА ТЕХНОЛОГИИ КОНТРОЛЯ



ISONIC 2009 UPA-Scope

портативный ультразвуковой дефектоскоп-рекордер, реализующий технологии Phased Array и TOFD наряду с одно- или многоканальным контролем с использованием обычных преобразователей

PHASED ARRAY (ФАЗИРОВАННЫЕ РЕШЕТКИ)

- ▶ Электронный модуль Phased Array 64/64 – свободно перестраиваемые независимо друг от друга излучающая и приемная апертура, параллельные аналого-цифровое преобразование и фазировка сигналов «на лету» – наивысшая возможная производительность
- ▶ Режим Phased Array Pulsar Receiver с интуитивной графической поддержкой при «прокладке трассы» ультразвуковых лучей, сопровождаемой А-скан индикацией
- ▶ DAC, ВРЧ
- ▶ Прозвучивание бегающим / качающимся лучом с формированием В-скан и S-скан изображений
- ▶ Коррекция В-скан и S-скан изображений с учетом отражений лучей в объекте
- ▶ Автоматическое прозвучивание поперечного сечения объекта вдоль вертикальных линий по тандемной схеме с использованием одного ФР-преобразователя и формированием Тандем-В-скан изображения
- ▶ GAC – автоматическое управление усилением, компенсирующее зависимость реализуемой чувствительности контроля от угла ввода при прозвучивании качающимся лучом
- ▶ GSC – автоматическое управление усилением, устраняющее зависимость реализуемой чувствительности контроля от переменных апертур излучения и приема при прозвучивании бегающим лучом и по тандемной схеме
- ▶ Измерение ультразвуковых сигналов привычным для оператора способом с использованием А-скана и строб-импульса непосредственно во время воспроизведения В-скан / S-скан / Тандем-В-скан
- ▶ Трехмерная графика – композиция видов сверху (С-скан – Top View) и с двух перпендикулярных боковых сторон – Side View и End View
- ▶ Специальный режим работы для приема, обработки и отображения дифрагированных сигналов с автоматической перенастройкой излучающей и приемной апертуры в реальном времени

- 100% сохранение необработанных А-сканов
- Встроенный порт датчика координаты
- 2 порта USB

- Герметичные клавиатура и мышь
- Мощное ПО для постпроцессинга
- Ethernet

TOFD И ОБЫЧНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

- ▶ 1, 8, или 16 каналов в зависимости от выбранной конфигурации прибора; каждый канал обеспечивает совмещенный / раздельный режим работы
- ▶ Одиночный А-скан или одновременное наблюдение нескольких А-сканов
- ▶ В-скан профиля толщины
- ▶ В-скан сечения, формируемый с учетом учета хода лучей в объекте
- ▶ СВ-скан
- ▶ TOFD
- ▶ Strip Chart – представление результатов контроля в виде «прокручиваемой» ленты многодорожечного самописца – многоканальный контроль
- ▶ С-скан – многоканальный контроль
- ▶ Параллельный или последовательный режимы излучения-приема и аналого-цифрового преобразования при работе в многоканальном режиме
- ▶ DAC, АРД, ВРЧ
- ▶ Спектральный анализ сигналов (FFT)

- Легкий ударопрочный корпус
- Большой (8.5") яркий сенсорный экран
- Дистанционное управление



Sonotron NDT
Get the whole picture
www.sonotronndt.com

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ПРЕДСТАВИТЕЛЬ В РОССИИ И СТРАНАХ СНГ:

ООО «МНПО «СПЕКТР»

119048, г. Москва, ул. Усачева, д. 35, стр. 1

Тел: +7 495 626 5359, 626 5348

<http://www.mnpo-spektr.ru> e-mail: info@mnpo-spektr.ru

