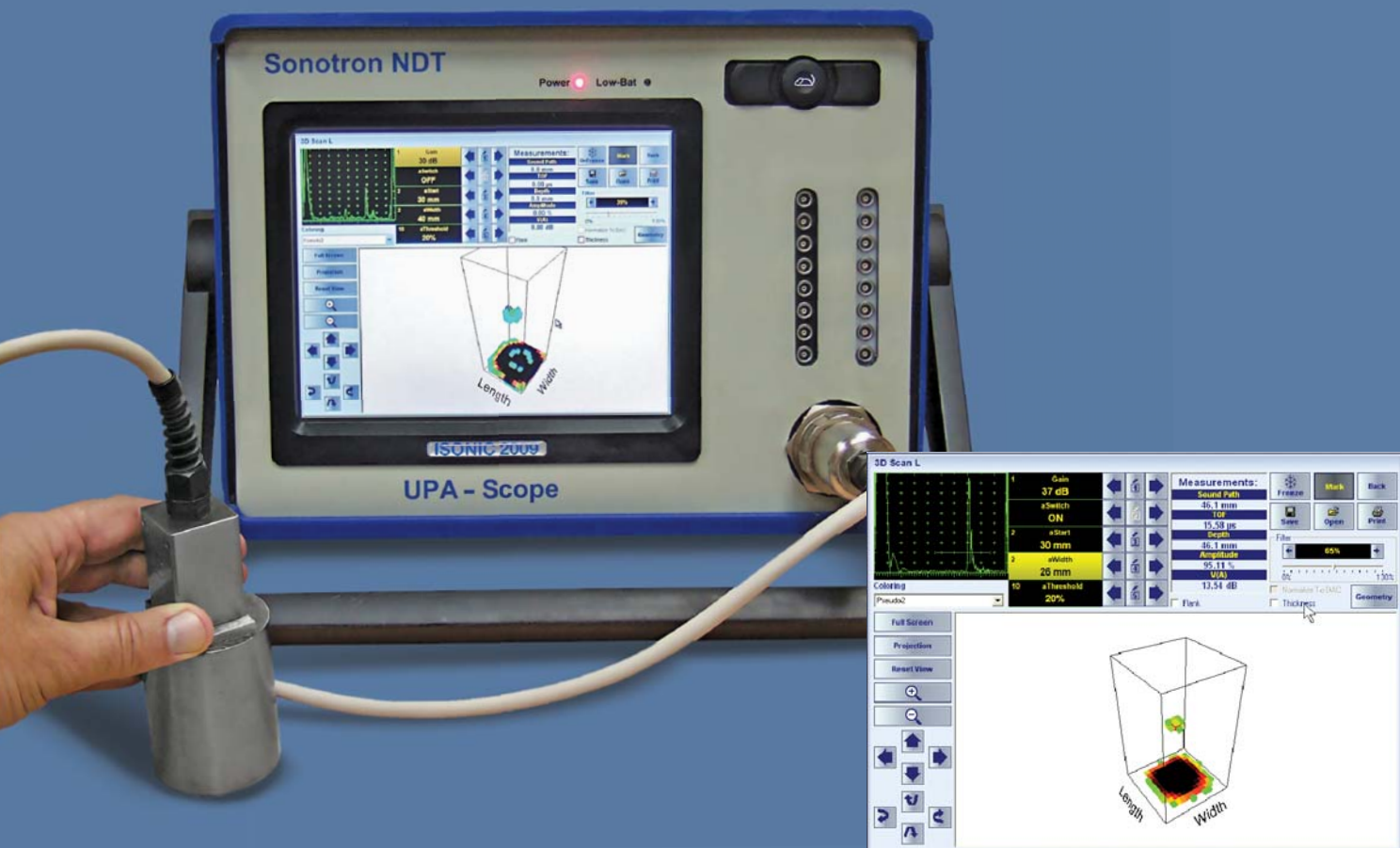


# ISONIC 2009 UPA-Scope

Портативный Ультразвуковой ФР Дефектоскоп-Рекордер



**ПРОСТАТА ✓ УНИВЕРСАЛЬНОСТЬ ✓ НАДЕЖНОСТЬ**

## НЕПРЕВЗОЙДЕННЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ:

- 64:64 – 64 активных ФР канала
- 1, 8 или 16 каналов – обычные / TOFD преобразователи
- 8192 закона фокусировки с независимой установкой усиления и других базовых параметров
- Биполярный прямоугольный зондирующий импульс с регулируемой амплитудой и длительностью, бустированными фронтами и системой активного демпфирования – до 300 Vpp на 50  $\Omega$  для ФР и 400 Vpp на 50  $\Omega$  для обычных и TOFD преобразователей
- Аналоговое усиление 100 дБ
- 32-х тактный цифровой фильтр
- Регистрация результатов контроля с сохранением всех А-сканов
- Метрологически обеспеченная равномерность чувствительности в контролируемом сечении
- Технология TTGI (True To Geometry Imaging) – двух- и трехмерная визуализация, сверхбыстрая настройка, встроенный трассировщик лучей
- Уникальный набор программ для контроля объектов с простой и сложной геометрией с применением ФР
- Подробнее здесь:  
<http://www.sonotronndt.com/i2009.htm>



**Sonotron NDT**

4, Pekeris str., Rabin Science Park, Rehovot, 76702, Israel  
Phone: +972-(0)8-9311000 Fax: +972-(0)8-9477712  
[www.sonotronndt.com](http://www.sonotronndt.com)

ООО «МНПО «СПЕКТР»

Официальный представитель в России и странах СНГ:  
119048, г. Москва, ул. Усачева, д. 35, стр. 1  
Тел: +7 495 626 5359, 626 5348



<http://www.mnpo-spektr.ru>

## Ultrasonic Phased Array Inspection

### 5. Automatic Inspection of Welds

G. Passi

New MULTIGROUP AUT technology of automatic ultrasonic inspection combining phased array, TOFD, and conventional modalities and suitable for the majority of welds is presented and described



# УЗК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ НА ФАЗИРОВАННЫХ РЕШЕТКАХ – СПОСОБЫ СКАНИРОВАНИЯ, ТРЕБОВАНИЯ К АППАРАТУРЕ И ПРИМЕРЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ\*

## 5. Автоматический / автоматизированный контроль сварных швов

В [1] подробно рассмотрен автоматизированный высокоскоростной УЗК стыковых швов при строительстве магистральных трубопроводов с применением ФР, TOFD и обычных преобразователей. Сварные стыки магистральных трубопроводов представляют собой особый класс объектов, изготавливаемых с высокой точностью – от подбора стыкуемых труб с минимальными допусками на разницу в диаметрах и толщине стенок и овальность поперечного сечения до CNC-разделки кромок. Контроль таких соединений выполняется в соответствии со статистикой дефектности, характерной для применяемой технологии сварки (CRC), согласно основополагающему стандарту ASTM E-1961, а также нормам API 1104 и DNV 2000 OS-F101, впервые изданным еще до появления

ФР, согласно которому объем шва разделяется на горизонтальные слои (зоны), и сигналы, излучаемые и принимаемые моноэлементными фокусирующими преобразователями, регистрируются и отображаются для каждой из зон в отдельности. Внедрение ФР позволило заменить десятки моноэлементных преобразователей, позонно реализующих тандем и эхо-метод, всего лишь двумя ФР-преобразователями, располагаемыми с обеих сторон стыка. Это значительно упрощает конструкцию, снижает массу и повышает надежность механической части (сканера), сокращает время подготовки к контролю, ускоряет процесс установки/снятия со стыка и т.д., что в совокупности значительно увеличивает производительность контроля. Однако схема контроля и способ регистрации и отображения информации, используемые для CRC-сваренных труб, не изме-

нились при переходе на применение ФР, которые по-прежнему последовательно реализуют заданный набор позонных прозвучиваний в поперечном сечении при движении вдоль линии сплавления. Следует также отметить, что технология контроля, основанная на мультizonном прозвучивании, не может быть распространена на большинство сварных соединений, выполненных с гораздо менее строгими по сравнению с CRC допусками, так как распространение резко сфокусированных ультразвуковых лучей, многократно отраженных от стенок объекта, становится непредсказуемым при выходящих за пределы допусков отклонений его геометрии от расчетной.

В настоящей статье рассмотрена новая технология MULTIGROUP AUT для автоматического (автоматизированного, механизированного) контроля (АУЗК) стыковых швов, применимая для большинства свар-

Табл. Аппаратная платформа для реализации технологии АУЗК MULTIGROUP AUT

Преобразователи	ISONIC PA AUT [1]	ISONIC 2009 UPA Score	ISONIC 2010
ФР	2 × 64 эл 2 × 48 эл 2 × 32 эл 2 × 16 эл	2 × 32 эл 2 × 16 эл	2 × 16 эл
Обычные и TOFD	До 16 пар	1 пара, до 8 пар, до 16 пар (в зависимости от конфигурации)	1 пара

\*Пятая статья серии. Четыре первые опубликованы в [2–5].



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).

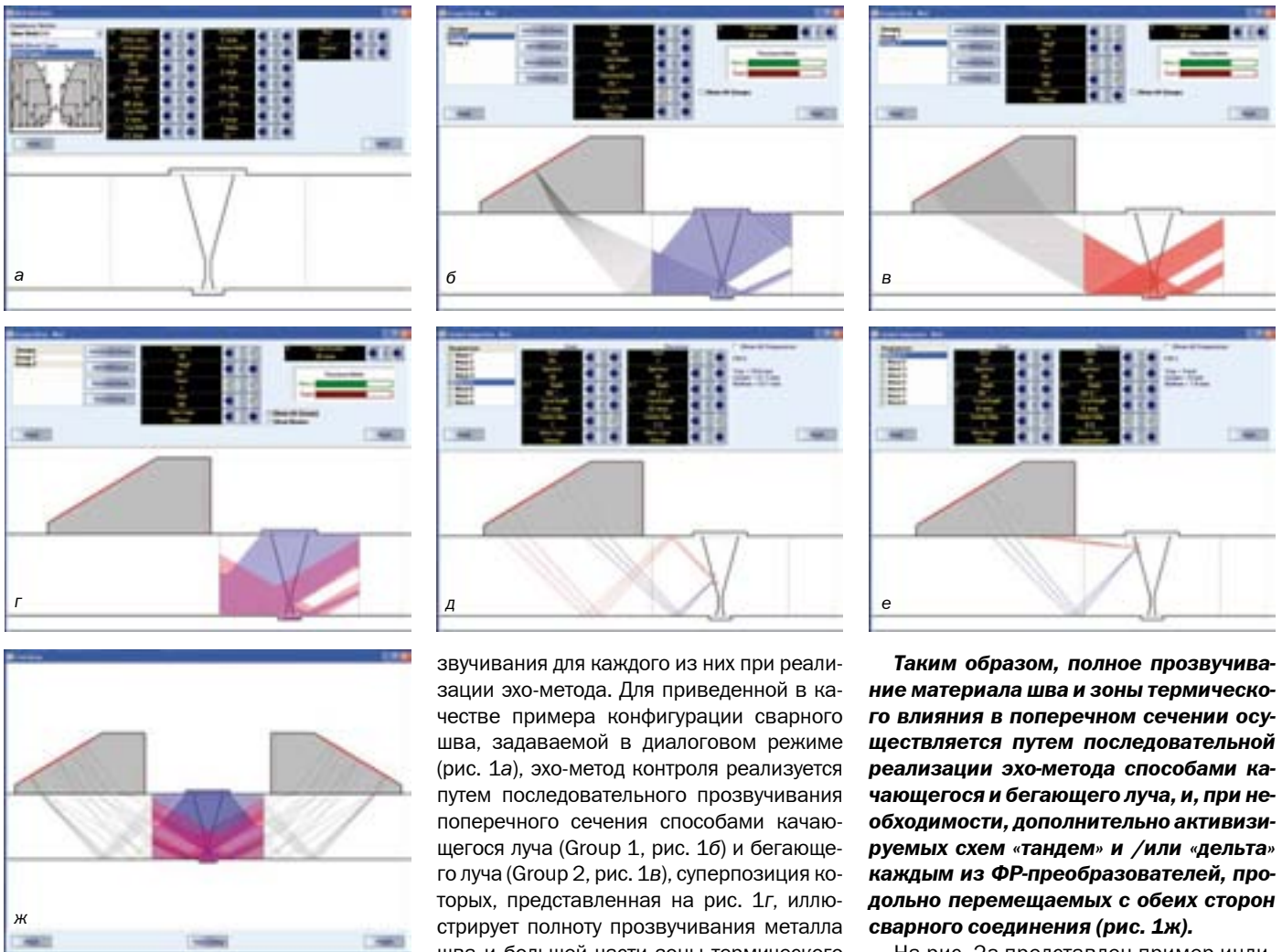


Рис. 1. Трассировка лучей для ФР-преобразователей

ных соединений, выполненных с различной степенью точности. Список приборов фирмы Sonotron NDT, пригодных для реализации этой технологии, приведен в табл.

#### Основные и дополнительные схемы прозвучивания

В основном прозвучивание металла шва и зоны термического влияния осуществляется двумя ФР-преобразователями, расположенными с обеих сторон стыка. В зависимости от используемой аппаратной платформы могут применяться различные ФР, несущие от 16 до 64 элементов. Схема прозвучивания создается оператором в режиме *трассировки лучей*, когда изначально задаются внешние размеры шва (толщина, ширина и превышение валика усиления над поверхностью сканирования) и аналогичные размеры на противоположной поверхности), а также границы зоны термического влияния и геометрия разделки кромок, после чего для выбранного ФР-преобразователя и заданного расстояния от него до линии сплавления определяются способы манипулирования ультразвуковым лучом и диапазон про-

звучивания для каждого из них при реализации эхо-метода. Для приведенной в качестве примера конфигурации сварного шва, задаваемой в диалоговом режиме (рис. 1а), эхо-метод контроля реализуется путем последовательного прозвучивания поперечного сечения способами качающегося луча (Group 1, рис. 1б) и бегающего луча (Group 2, рис. 1в), суперпозиция которых, представленная на рис. 1г, иллюстрирует полноту прозвучивания металла шва и большей части зоны термического влияния с одной из сторон. Для повышения вероятности обнаружения несплавления по кромке шва (продольный плоскостной дефект) можно дополнительно реализовать прозвучивание по схеме «тандем» с использованием этого же ФР-преобразователя, для чего задаваемые оператором лучи излучающей и приемной апертуры направляются на выбранный участок поверхности разделки, и обнаружение дефекта, озвучиваемого поперечной волной, осуществляется за счет приема зеркально отраженного сигнала волны того же типа (рис. 1д). В случае, когда сочетание трех параметров, а именно: размеров призмы ФР преобразователя (относительно небольших по сравнению с расстоянием между двумя обычными преобразователями, включенными по схеме «тандем»), расстояния до линии сплавления и толщины объекта не позволяет принять зеркально отраженный сигнал, возможна реализация «дельта-метода», когда плоскостной дефект в заданной области озвучивается поперечной волной, а приемная апертура настраивается на обнаружение сигнала дифрагированной продольной волны (рис. 1е), равномерно распространяющейся во всех направлениях.

**Таким образом, полное прозвучивание материала шва и зоны термического влияния в поперечном сечении осуществляется путем последовательной реализации эхо-метода способами качающегося и бегающего луча, и, при необходимости, дополнительно активизируемых схем «тандем» и /или «дельта» каждым из ФР-преобразователей, продольно перемещаемых с обеих сторон сварного соединения (рис. 1ж).**

На рис. 2а представлен пример индикации на этапе настройки, осуществляемой поэтапно для каждой из заданных схем прозвучивания. Как и для ручного контроля с применением портативных дефектоскопов ISONIC 2009 UPA Scope, ISONIC 2010 фирмы Sonotron NDT, равномерность чувствительности в поперечном сечении метрологически обеспечивается в соответствии с [3], а изображение формируется согласно технологии TTGI (True-To-Geometry-Imaging), подробно рассмотренной в [4]. С учетом того, что целью АУЗК является выполнение контроля в полном объеме за один проход сканирующей системы:

- контроль и регистрация акустического контакта каждого из ФР-преобразователей с объектом обязательны, и для их реализации отдельно организуются циклы (фокальные законы) излучения продольной волны по нормали к поверхности сканирования, приема и оценки донного эхо-сигнала в соответствии с [4] (рис. 2б) и/или излучение-прием поперечной волны, распространяющейся от одного ФР-преобразователя к другому и претерпевающей отражение от донной поверхности;



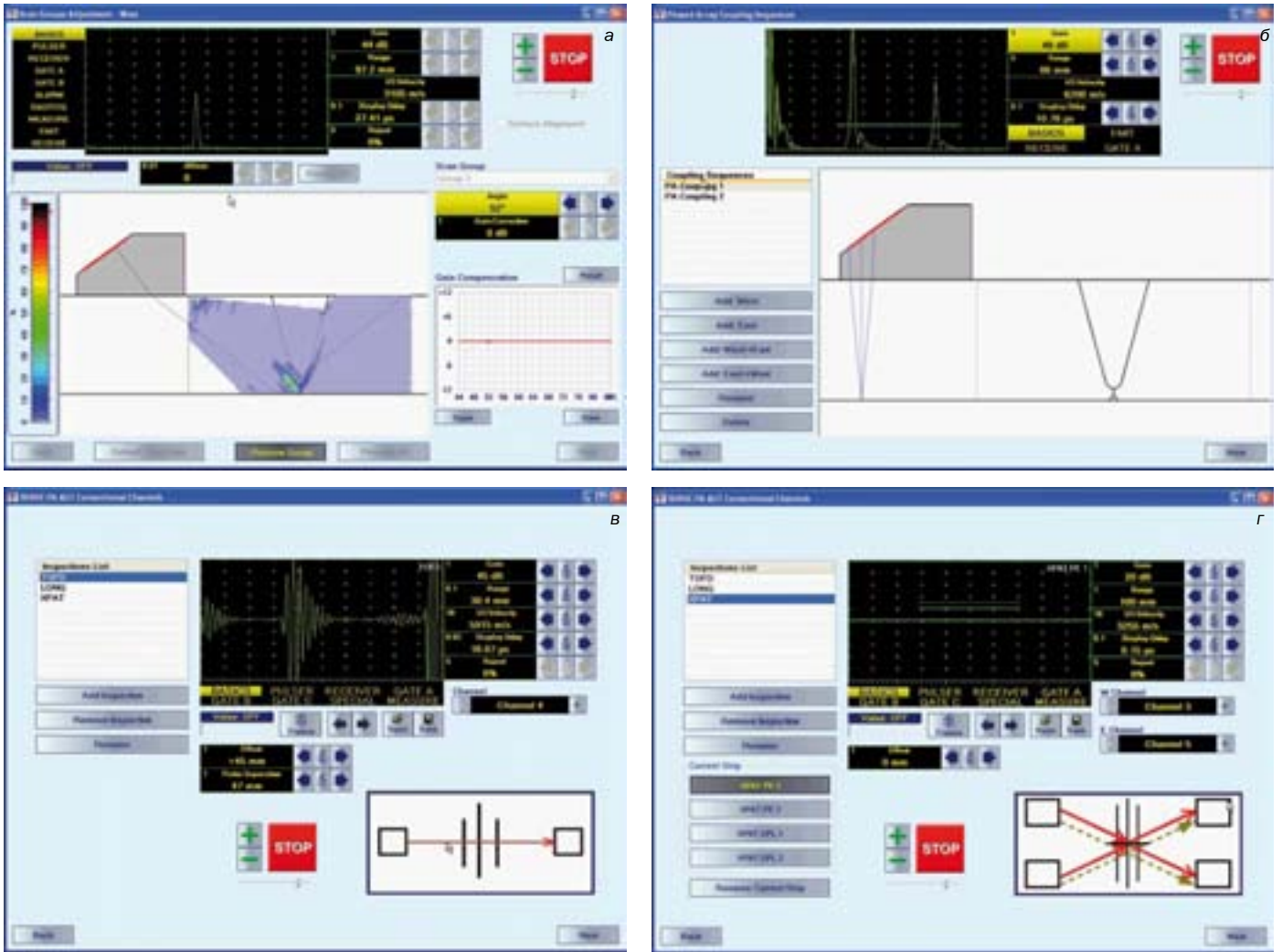


Рис. 2. Иллюстрация некоторых характерных экранов при настройке системы АУЗК

• прозвучивание с применением ФР-преобразователей сочетают с комплиментарной технологией TOFD, характеризующейся высокой вероятностью обнаружения и простотой интерпретации дефектов в средней части сварного соединения. Основное назначение TOFD в системе АУЗК – исключение пропуска продольных трещин в материале шва, которые легко распознаются на TOFD-карте, но могут быть ошибочно не разбракованы при обнаружении ФР-преобразователями ввиду небольшой амплитуды эхо-сигнала. Для реализации технологии TOFD обычно используются дискретные наклонные преобразователи, работающие на продольных волнах (рис. 2в). Количество одновременно работающих пар TOFD-преобразователей, угол ввода и частота для каждой из пар определяются толщиной объекта в соответствии с [6]. С целью обеспечения наибольшей компактности сканирующей системы можно также применять излучение и прием продольных волн в направлении от одного ФР-преобразователя к другому, формируя апертуру излучения-приема соответствующим образом, исключив тем самым применение дискретных TOFD-преобразователей

И, наконец, следует отметить, что при необходимости обнаружения поперечных трещин в сканирующую систему по схеме «Х» (X PATTERN) (рис. 2г) или «К» (K PATTERN) дополнительно включаются обычные наклонные преобразователи поперечной волны, а для обнаружения расслоений в околшовной зоне – обычные прямые преобразователи, которые, в некоторых случаях, когда ФР-преобразователь располагается непосредственно над зоной термического влияния, а контактная поверхность призмы перекрывает эту зону, могут быть заменены путем организации соответствующих циклов излучения-приема в последовательности реализуемых фокальных законов.

#### Сканирование и представление результатов контроля

Сканирование осуществляют путем перемещения каретки, несущей ФР, TOFD, и обычные преобразователи, вдоль линии сплавления. Возможно применение автоматических сканеров, перемещаемых вдоль специального трека, уста-

навливаемого параллельно оси шва [1], либо сканеров с магнитными колесами, перемещаемых как вручную, так и автоматически. Пример простейшей сканирующей каретки на магнитных колесах, несущей ФР- и TOFD-преобразователи, приведен на рис. 3. Максимально возможная скорость сканирования определяется согласно [5].

На рис. 4 приведен и разъяснен пример воспроизведения результатов контроля во время сканирования. Важно, что для любой из схем прозвучивания с применением ФР в любой момент можно выбрать для наблюдения текущее изображение поперечного сечения сварного шва и любой из А-сканов. Также возможно наблюдение текущего А-скана для всех дополнительных схем прозвучивания.

#### Интерпретация результатов контроля

Результаты контроля запоминаются в виде файла, содержащего все А-сканы в необработанном виде для каждой из схем прозвучивания с привязкой к линейной координате преобразовате-



Рис. 3. Пример простейшей сканирующей каретки на магнитных колесах



Рис. 5. Механизированный контроль сварного шва толщиной 100 мм по технологии MULTIGROUP AUT

ля. Важность сохранения 100% необработанных А-сканов подтверждается примером контроля сварного шва толщиной 100 мм на одном из судостроительных заводов в КНР. Сканирование осуществлялось рядовым оператором АУЗК второго уровня квалификации с применением прибора ISONIC PA AUT и модульного сканера на магнитных колесах со съемным электроприводом\* (рис. 5).

На одном из участков стыка были обнаружены и отремонтированы три дефекта. Непосредственно перед ремонтом изготовитель попросил просканировать дефектный участок повторно. Фотография на рис. 5 была сделана на этапе повторного сканирования, результаты которого представлены и пояснены на рис. 6. Принятие решения относительно дефектов 1 и 2, амплитуда эхо-сигналов от которых примерно в два раза превышает допустимый уровень (DAS + 8 дБ). Относительно сигналов от трещины – каждый из них более, чем в два раза ниже допустимого уровня по амплитуде, однако, анализ динамики изменения эхо-сигналов в поперечном сечении, позволивший выявить взаимосвязь между ними, плюс характерное для трещины изображение поперечного сечения шва (рис. 6в, г) позволили оператору интерпретировать зафиксированную инди-

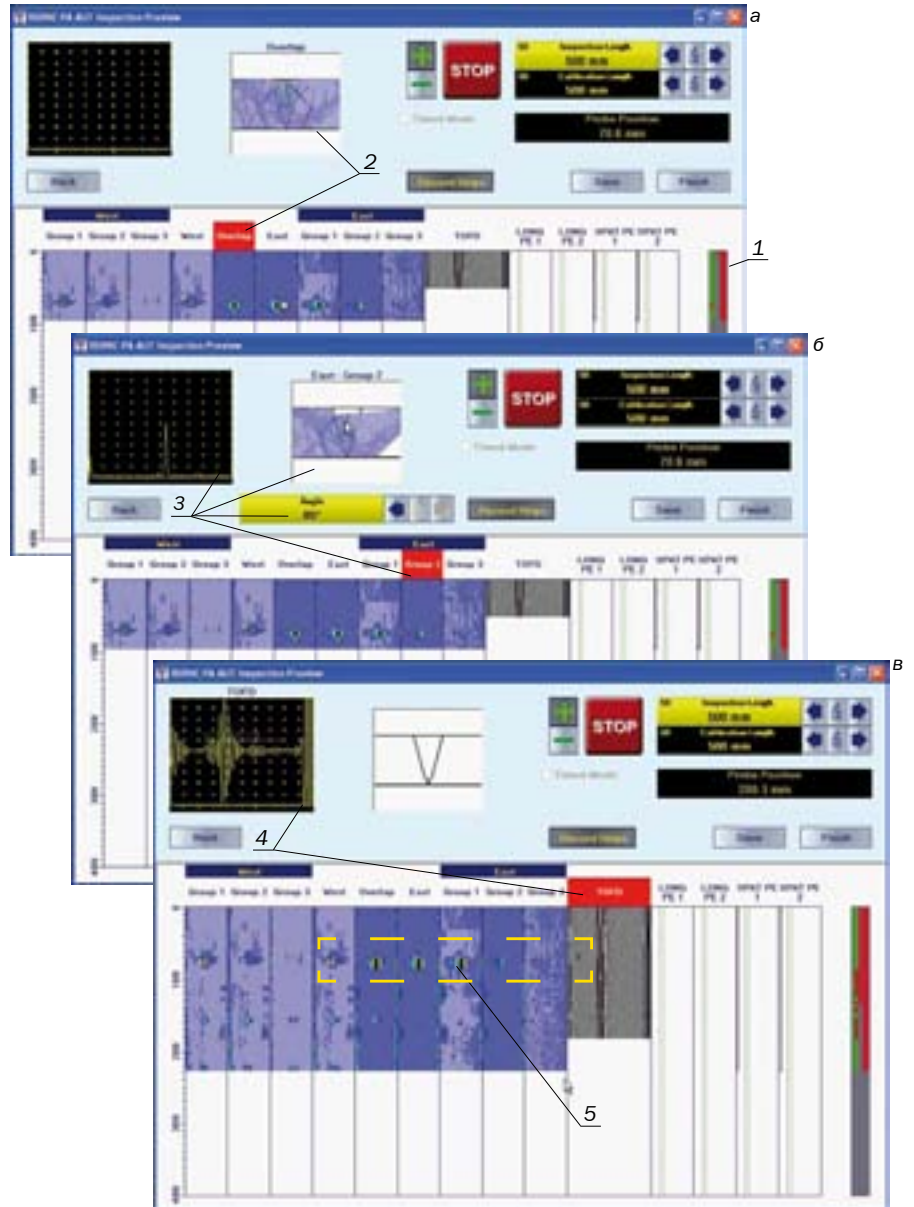


Рис. 4. Представление информации при АУЗК сварного шва во время сканирования с применением ФР, IOFD и обычных преобразователей:

- **West** Group 1, 2, 3 – изображения сварного шва в плане (вид сверху), получаемые при реализации схем прозвучивания в результате выполнения последовательностей фокальных законов (групп) с 1-й по 3-ю ФР-преобразователем, расположенным с одной из сторон шва (West);
- West – суперпозиционное изображение сварного шва в плане, получаемое при реализации схем прозвучивания в результате выполнения последовательностей фокальных законов (групп) с 1-й по 3-ю ФР-преобразователем, расположенным с одной из сторон шва (West);
- **East** Group 1, 2, 3 – изображения сварного шва в плане (вид сверху), получаемые при реализации схем прозвучивания в результате выполнения последовательностей фокальных законов (групп) с 1-й по 3-ю ФР-преобразователем, расположенным со второй стороны шва (East);
- West – суперпозиционное изображение сварного шва в плане, получаемое при реализации схем прозвучивания в результате выполнения последовательностей фокальных законов (групп) с 1-й по 3-ю ФР-преобразователем, расположенным со второй стороны шва (East);
- **Overlap** – суперпозиционное изображение сварного шва в плане, получаемое при реализации схем прозвучивания в результате выполнения последовательностей фокальных законов (групп) с 1-й по 3-ю обоими ФР преобразователям;
- TOFD – карта, регистрируемая для одной пары TOFD-преобразователей;
- LONG PE 1, LONG PE 2 – виртуальная лента аналогового самописца (strip) амплитуды эхо-сигналов продольной волны от возможных расслоений;
- XPAT PE 1, XPAT PE 2 – виртуальная лента аналогового самописца (strip) амплитуды эхо-сигналов поперечной волны от возможных поперечных трещин;
- 1 – дорожки записи состояния акустического контакта (ДА / НЕТ);
- 2 – выбор вида **Overlap** для отображения суперпозиционного поперечного сечения шва (а), соответствующего текущей продольной координате ФР-преобразователей
- 3 – выбор вида **East Group 2** для отображения поперечного сечения шва (б), соответствующего текущей продольной координате ФР-преобразователя, расположенного со стороны East, с наблюдением эхо-сигнала под одним из углов в реализуемом диапазоне прозвучивания;
- 4 – выбор карты **TOFD** для наблюдения А-скана (в), соответствующего текущей продольной координате пары TOFD-преобразователей;
- 5 – индикация одного и того же дефекта на карте TOFD и изображениях сварного шва в плане



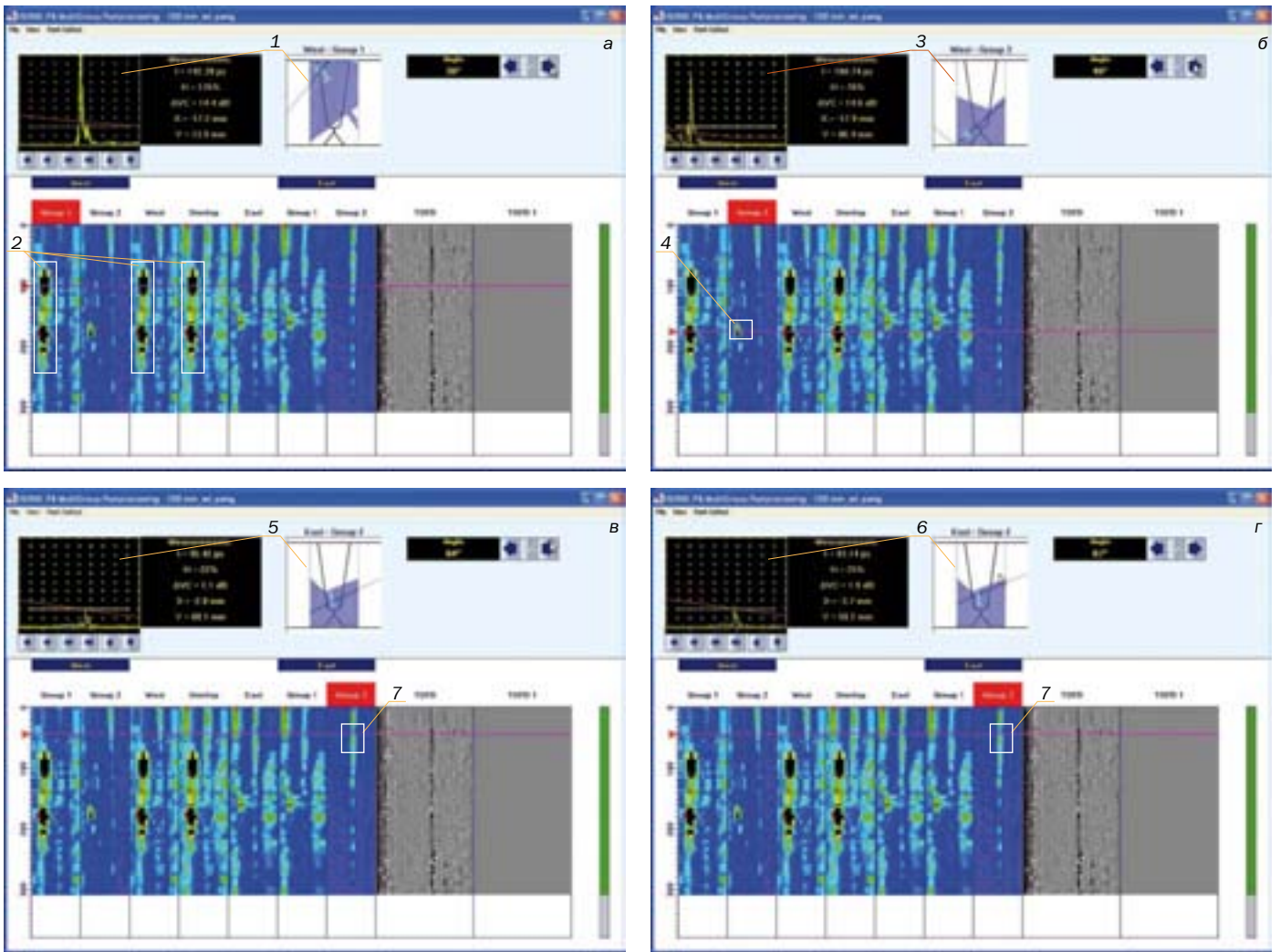


Рис. 6. Индикация дефектов на участке сварного шва толщиной 100 мм: 1 – дефект в металле шва вблизи кромки на глубине 17,2 мм, обнаруженный способом качающегося луча ФР-преобразователем West, максимальная амплитуда эхо-сигнала зарегистрирована для угла ввода 38° – однократно отраженный луч; 2 – отображение дефекта 1 протяженностью около 140 мм в плане шва на соответствующих видах **West Group 1, West и Overlap**; 3 – дефект в зоне термического влияния на глубине 86,4 мм, обнаруженный способом качающегося луча ФР-преобразователем West, максимальная амплитуда эхо-сигнала зарегистрирована для угла ввода 49° – однократно отраженный луч; 4 – отображение дефекта 2 протяженностью менее 140 мм в плане шва на соответствующем виде **West Group 2**; 5 – обнаружение нижней кромки трещины на глубине 68,1 мм способом качающегося луча ФР-преобразователем East, природа сигнала – дифрагированная поперечная волна малой интенсивности, угол обнаружения максимума 64°, прямой луч; 6 – обнаружение верхней кромки трещины на глубине 59,2 мм способом качающегося луча ФР-преобразователем East, природа сигнала – дифрагированная поперечная волна малой интенсивности, угол обнаружения максимума 67°, прямой луч; 7 – отображение трещины высотой около 9 мм на соответствующем виде в плане шва **East Group 2**



Рис. 7. Подтверждение обнаружения трещины после вскрытия шва перед ремонтом

кацию как трещину, что и подтвердилось позднее после вскрытия шва перед ремонтом (рис. 7).

\*Видео файл, иллюстрирующий разнообразные конфигурации, создаваемые при использовании такого сканера, доступен для просмотра по ссылке [http://www.sonotronndt.com/ReplInfo/M\\_CH\\_SCANNER/SBSC\\_%20288699\\_288694\\_Scanners.wmv](http://www.sonotronndt.com/ReplInfo/M_CH_SCANNER/SBSC_%20288699_288694_Scanners.wmv)

## Литература

1. Пасси Г. Автоматический ультразвуковой контроль сварных стыков при строительстве магистральных трубопроводов высокого давления. – В мире НК. 2009. № 1 (43). С. 6-12.
2. Пасси Г. Ультразвуковой контроль с использованием преобразователей на фазированных решетках – способы сканирования, требования к аппаратуре и примеры практического применения. 1. Излучение и прием ультразвуковых сигналов с применением фазированных решеток. – В мире НК. 2010. № 3 (49). С. 12-16.
3. Пасси Г. Ультразвуковой контроль с использованием преобразователей на фазированных решетках – способы сканирования, требования к аппаратуре и примеры практического применения. 2. Прозвучивание поперечных сечений объектов с применением линейных решеток – обеспечение равномерности чув-

ствительности и единства оценки отражателей. – В мире НК. 2010. № 4 (50). С. 48-52.

4. Пасси Г. Ультразвуковой контроль с использованием преобразователей на фазированных решетках – способы сканирования, требования к аппаратуре и примеры практического применения. 3. Визуализация поперечных сечений – полнота прозвучивания и технология TTGI. – В мире НК. 2011. № 1 (51). С. 53-59.
5. Пасси Г. Ультразвуковой контроль с использованием преобразователей на фазированных решетках – способы сканирования, требования к аппаратуре и примеры практического применения. 4. Механическое сканирование ФР-преобразователями. – В мире НК. 2011. № 2 (52). С. 51-54.
6. WI 00121377, Welding – Use Of Time-Of-Flight Diffraction Technique (TOFD) For Testing Of Welds. – European Committee for Standardization. – Doc.No. CEN/TC 121/SC 5/WG 2 N 146, issued Feb, 12, 2003.

Статья получена 10 августа 2011 г.

# ISONIC 2010

Портативный Ультразвуковой  
ФР Дефектоскоп-Рекордер



**ПРОСТОТА ✓ УНИВЕРСАЛЬНОСТЬ ✓ НАДЕЖНОСТЬ**

## НЕПРЕВЗОЙДЕННЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ:

- 32:32 – 32 активных ФР канала
- 1 канал – обычные / TOFD преобразователи
- 8192 закона фокусировки с независимой установкой усиления и других базовых параметров
- Биполярный прямоугольный зондирующий импульс с регулируемой амплитудой и длительностью, бустированными фронтами и системой активного демпфирования – до 300 Vpp на 50  $\Omega$  для ФР и до 400 Vpp на 50  $\Omega$  для обычных и TOFD преобразователей
- Аналоговое усиление 100 дБ
- 32-х тактный цифровой фильтр
- Регистрация результатов контроля с сохранением всех A-сканов
- Метрологически обеспеченная равномерность чувствительности в контролируемом сечении
- Технология TTGI (True To Geometry Imaging) – двух- и трехмерная визуализация, сверхбыстрая настройка, встроенный трассировщик лучей
- Уникальный набор программ для контроля объектов с простой и сложной геометрией с применением ФР
- Подробнее здесь:

<http://www.sonotronndt.com/i2010.htm>



**Sonotron NDT**

4, Pekeris str., Rabin Science Park, Rehovot, 76702, Israel  
Phone: +972-(0)8-9311000 Fax: +972-(0)8-9477712

[www.sonotronndt.com](http://www.sonotronndt.com)

ООО «МНПО «СПЕКТР»

Официальный представитель в России и странах СНГ:  
119048, г. Москва, ул. Усачева, д. 35, стр. 1  
Тел: +7 495 626 5359, 626 5348



<http://www.mnpo-spektr.ru>