



NDT World, 2016, v. 19, no. 3, pp. 17–27
DOI: 10.12737/21152

Эталонирование чувствительности и обеспечение её равномерности в прозвучиваемом сечении при ультразвуковом контроле сварных соединений с применением ФР-преобразователей

Рассмотрена проблема обеспечения равномерности чувствительности в поперечном сечении сварного шва, прозвучиваемом способом секторного сканирования, для наиболее применяемых эталонных отражателей. Показано, что одновременное применение двух независимых настроек по одним и тем же отражателям кривой DAC/ВРЧ и компенсации усиления по углу, возможное только в ФР-дефектоскопах ISONIC 3510, ISONIC 2010, ISONIC 2009 UPA Scope фирмы «Sonotron NDT», обеспечивает равномерность чувствительности при расположении отражателей в любой позиции в пределах контролируемого сечения. Применяя показанный в статье и проиллюстрированный результатами экспериментов подход, можно значительно повысить скорость сканирования, одновременно снизив себестоимость контроля.

Submitted 26.07.16
Accepted 19.08.16

A. Lapidus¹, I. Nurmatov², G. Passi¹

Calibrating and Cross-Sectional Equalizing of the Sensitivity of Ultrasonic Phased Array Inspection of Welds

Introduction. The approach and practical implementation for the sensitivity calibration and its equalizing within entire insonified cross-section of the material have been presented in the article for 3 most common reference artificial reflectors, namely the flat bottom hole (FBH) situated at parallel to the weld bevel plane, the EDM notch (N), and the side drilled hole (SDH).

The method. The issue of inhomogeneous sensitivity over cross-section covered through phased array (PA) sectorial scan plan is due to several factors, which are highlighted and explained. 5 of them are independent on the reference reflector's shape. In addition the FBH and N reference reflectors are characterized by the strong dependency of the echo amplitude on the angle, under which the ultrasonic wave hits their surface (factor 6, which differs the FBH and N from the omnidirectional SDH). The approach for equalizing the sensitivity over sectorial-scan-insonified cross-section of the material for all types of reference reflectors has been proposed and explained. It is based on the ability of ultrasonic PA flaw detector to implement each pulsing-receiving cycle among the plurality of the scan-plan-forming set of focal laws with individually and independently settled gain and other key settings including Distance Amplitude Correction/Time Corrected Gain (DAC/TCG). The Sonotron NDT's ISONIC Series PA instruments (ISONIC 3510, ISONIC 2010, and ISONIC 2009 UPA Scope) are featured with the said ability uniquely: in the said units the DAC/TCG mechanism is used purely for compensating the dependency of echo amplitude on the material travel distance while the feature of varying Gain per Focal Law is utilized just for the forming of easy-reproducible Angle Gain Compensation (AGC) plan. Both the DAC/TCG and AGC plans are created independently on each other with use of the same reference reflectors.

The results. Combining of the independent DAC/TCG and AGC mechanisms for the first time ever provides the equalizing of the sensitivity for all types of reference reflectors independently on their X, Y position over the entire cross-section of the material – this is confirmed by a number of experimental results presented.

Conclusion. At last the single group sectorial scan only becomes sufficient for the complete coverage of the whole cross-section of the weld. This allows reducing the dimensions of required PA probes and wedges in use and the width of the area for the scanning along the fusion line. And finally this increases the maximal possible speed of scanning along with reducing of the inspection cost.

Keywords: ultrasonic testing, PA flaw detector, sensitivity equalizing, DAC, TCG, welded joint

В настоящее время ультразвуковой контроль сварных соединений при помощи обычных наклонных искаателей с зигзагообразным механическим сканированием в околошовной зоне заменяют проверкой с применением много-

элементных ФР-преобразователей, обеспечивающих электронное управление:

- типом излучаемой и выбором типа принимаемой волны;
- направлениями излучения и приёма сигналов;

- фокусным расстоянием и шириной диаграммы направленности для излучаемых и принимаемых сигналов.

Это позволяет прозвучивать поперечное сечение шва полностью из единственной, заранее выбранной

**ЛАПИДУС
Алекс**

Ведущий научный сотрудник лаборатории А (Applications) фирмы «Sonotron NDT», Израиль, III уровень по UT, EC, RT.



**НУРМАТОВ
Ислам**

Ведущий инженер-технолог ООО «Аргус Пайплайн Сервис», Москва, II уровень по ВИК, УК, МК, ПВК.



**ПАССИ
Гарри**

Генеральный директор и научный руководитель фирмы «Sonotron NDT», Израиль. Доктор наук, профессор, III уровень по UT, ET, MPI, MIA, RT.



¹ Sonotron NDT, Rehovot, Israel; info@sonotronndt.com

² Argus Pipeline Services, Moscow, Russia; info@ooops.ru

позиции при использовании наиболее распространенных линейных ФР-преобразователей, элементы которых образуют отрезок прямой в плоскости падения луча, будучи расположенными на преломляющей призме.

Электронное управление ультразвуковым лучом обеспечивает реализацию способа качающегося луча (*секторное сканирование*), при котором последовательно выполняются циклы излучения-приёма волны под различными углами ввода (*фокальные законы*), в диапазоне, обеспечивающем полноту прозвучивания поперечного сечения сварного шва (рис. 1). Весь объём шва при этом прозвучивается за счёт механическо-

го перемещения ФР-преобразователя вдоль линии сплавления.

По сравнению с традиционным контролем с использованием наклонных искателей применение секторного сканирования значительно повышает производительность контроля за счёт:

- сокращения ширины зоны зачистки благодаря замене зигзагообразного сканирования линейным;
- сканирования в один проход, в то время как при контроле ответственных сварных швов наклонными искателями зигзагообразное сканирование выполняется последовательно искателями с двумя или тремя различными углами ввода (следует отметить,

что при использовании многоканальных дефектоскопов контроль шва обычными несколькими наклонными искателями также осуществляется в один проход, но зона зачистки значительно шире по сравнению с применением ФР-преобразователей).

Сокращение суммарной длины линии сканирования также снижает износ призмы ФР-преобразователя.

Контроль с применением секторного сканирования осуществляется эхо-методом, когда признаком обнаружения дефекта является приём эхо-сигнала, превышающего пороговый уровень, определяемый, как и при использовании обычных наклонных искателей, путём настройки чувствительности по стандартному искусственному отражателю. При этом очевидно, что необходимо обеспечить равномерность чувствительности в пределах сечения, прозвучиваемого из одной позиции ФР-преобразователя, которую можно подтвердить, убедившись, что дефекты, эквивалентные заданному стандартному искусственному отражателю, имеют одну и ту же выявляемость в пределах всего сечения независимо от глубины залегания и горизонтальной позиции, а также способа обнаружения (*прямым, однократно- или многократно отраженным лучом*) и угла, при котором принимается максимальный эхо-сигнал.

Независимо от типа эталонного отражателя на амплитуду эхо-сигналов от равновеликих отражателей, расположенных в пределах прозвучиваемого поперечного сечения и озвучиваемых способом секторного сканирования, влияют 5 факторов, каждый — с опеределенным весом (коэффициентом), изменяющимся в зависимости от реализуемого угла ввода:

- эффективный размер активной апертуры;
- расстояние от центра мнимого излучателя-приёмника, соответствующего активной апертуре, до точки выхода луча (эффект миграции точки выхода луча);
- затухание в призме (эффект миграции точки выхода луча вызывает изменение хода по призме);
- коэффициент прозрачности по энергии;
- длина хода луча по материалу.

Наконец, среди разнообразия типов стандартных отражателей имеются как ненаправленные, например, боковое цилиндрическое отверстие, отверстие со сферическим дном, так и такие, — амплитуда эхо-сигнала от которых значительно изменяется в зависимости от угла падения на них ультразвуковой волны, например, плоскодонное отверстие, зарубка, пропил (шестой фактор).

Для обеспечения равномерности чувствительности в прозвучиваемом поперечном сечении дефектоскопы, реализующие прозвучивание поперечных сечений швов способом секторного сканирования, должны обеспечить компенсацию зависимости амплитуды эхо-сигнала от всех упомянутых факторов.

Однако аппаратные возможности большинства современных ФР-дефектоскопов, имеющих сходную архитектуру, которая заимствована из ультразвуковой медицинской техники, весьма ограничены, а потому для обеспечения выявляемости плоскостных дефектов типа несплавлений по кромке шва применяют так называемое мультигруппное сканирование, когда за счёт использования достаточно большого ФР-преобразователя реализуют прозвучивание поперечного сечения сварного шва с применением не одной, а нескольких схем прозвучивания, реализуемых различными группами элементов (рис. 2). Очевидно, что по сравнению с прозвучиванием поперечного сечения сварного шва путём реализации единственной схемы секторного сканирования мультигруппное сканирование требует реализации большего числа фокальных законов, что в конечном

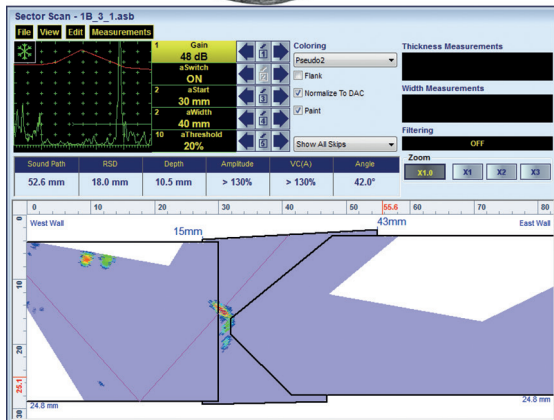
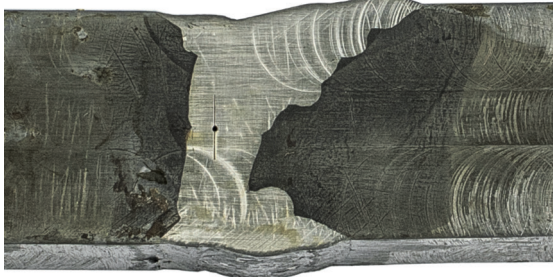
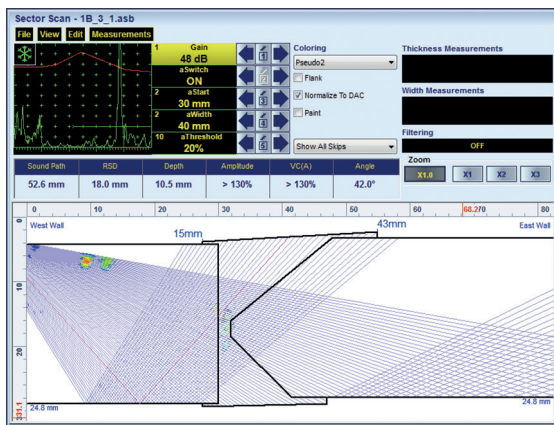


Рис. 1. Пример плана прозвучивания стыкового сварного шва с несимметричной разделкой и смещением сваренных компонентов и обнаружение вертикального дефекта в соответствии с данным планом (экран дефектоскопа ISONIC 3510 фирмы «Sonotron NDT»): ФР-преобразователь расположен на стороне «W» сварного шва таким образом, что расстояние от передней грани призмы до ближайшей кромки шва составляет 15 мм

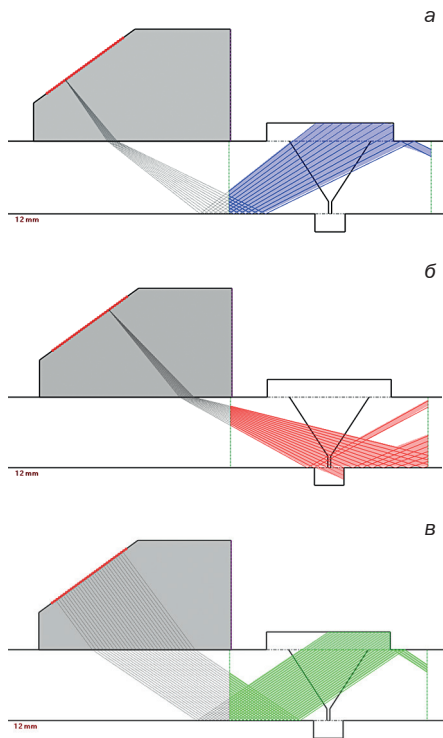


Рис. 2. Пример мульти-группного плана прозвучивания поперечного сечения сварного шва: видно, что для его реализации требуется ФР-преобразователь и преломляющая призма достаточно больших размеров

итоге увеличивает время, необходимое для контроля одного сечения и, соответственно, требует снижения скорости сканирования. Помимо этого за счёт больших размеров преобразователя, необходимого для реализации мульти-группного сканирования, требуется увеличить площадь зачистки околошовной зоны. Таким образом, контроль сварных швов с применением мульти-группного сканирования более затратен, но его применение неизбежно при работе с дефектоскопами с ФР-преобразователями с архитектурой, заимствованной из медицинской техники.

В дефектоскопах ISONIC 2009 UPA Scope, ISONIC 2010, ISONIC 3510 фирмы «Sonotron NDT» реализованы два независимых друг от друга механизма автоматической компенсации изменений амплитуд эхо-сигналов от равновеликих отражателей, расположенных в пределах прозвучиваемого поперечного сечения:

- первый, как и в обычном дефектоскопе, обеспечивает компенсацию изменения амплитуды эхо-сигнала от стандартного отражателя от длины пробега ультразвуковой волны (хода луча) по материалу путём построения и использования соответствующей кривой DAC, ковертируемой при необходимости в закон ВРЧ;

- второй механизм обеспечивает выполнение каждого из фокальных законов, реализуемых в совокупности в процессе прозвучивания поперечного сечения с индивидуально настраиваемыми усилением, фокальным расстоянием и длительностью развертки.

Используя совместно оба механизма, можно добиться равномерности чувствительности в пределах прозвучиваемого поперечного сечения следующим образом:

- в соответствии с планом сканирования, рассчитанным прибором по заданным геометрическим параметрам сварного шва и выбранному расположению ФР-преобразователя, определяемому расстоянием от передней грани призмы до ближней к нему кромки шва, находят диапазон прозвучивания (минимальный α_{\min} и максимальный α_{\max} углы ввода, подлежащие реализации);
- на образце с одним или несколькими равновеликими эталонными отражателями (в случае одного отражателя должна быть обеспечена возможность озвучивания одного из разных позиций при одном заданном угле ввода с целью построения кривой DAC), настраивают первичное усиление прибора и строят кривую DAC для угла ввода, определяемого как среднее значение α_0 между α_{\max} и α_{\min} — данное положение иллюстрируется рис. 3 на примере эталонирования чувствительности по плоскодонному отражателю;
- построив DAC и не изменяя первичные усиление и угол ввода α_0 , переходят в режим настройки коррекции усиления по углу ввода для совокупности фокальных законов, подлежащих реализации, после чего устанавливают преобразователь в позицию, соответствующую приёму эхо-сигнала максимальной амплитуды от эталонного отражателя, при этом вершина эхо-импульса попадает на только что построенную кривую DAC (рис. 4);
- далее, пошагово изменяя угол ввода в большую и меньшую сторону от α_0 :
 - наблюдают отклонение амплитуды эхо-сигнала от уровня DAC;
 - перемещая ФР-преобразователь в плоскости падения луча, максимизируют эхо-сигнал и останавливают его (преобразователь) в найденной позиции;
 - вводят коррекцию усиления таким образом, чтобы для каждого ново-

го значения угла ввода амплитуда максимального эхо-сигнала от того же отражателя сравнялась с соответствующим уровнем DAC;

- завершив коррекцию усиления для выбранного диапазона реализуемых углов ввода, возвращаются в режим дефектоскопа и увеличивают усиление на заданную величину (рекомендуется от 3 до 6 дБ);
- далее в зависимости от требований нормативной документации либо включают режим ВРЧ, либо остаются в режиме DAC.

Этим настройка прибора практически завершается

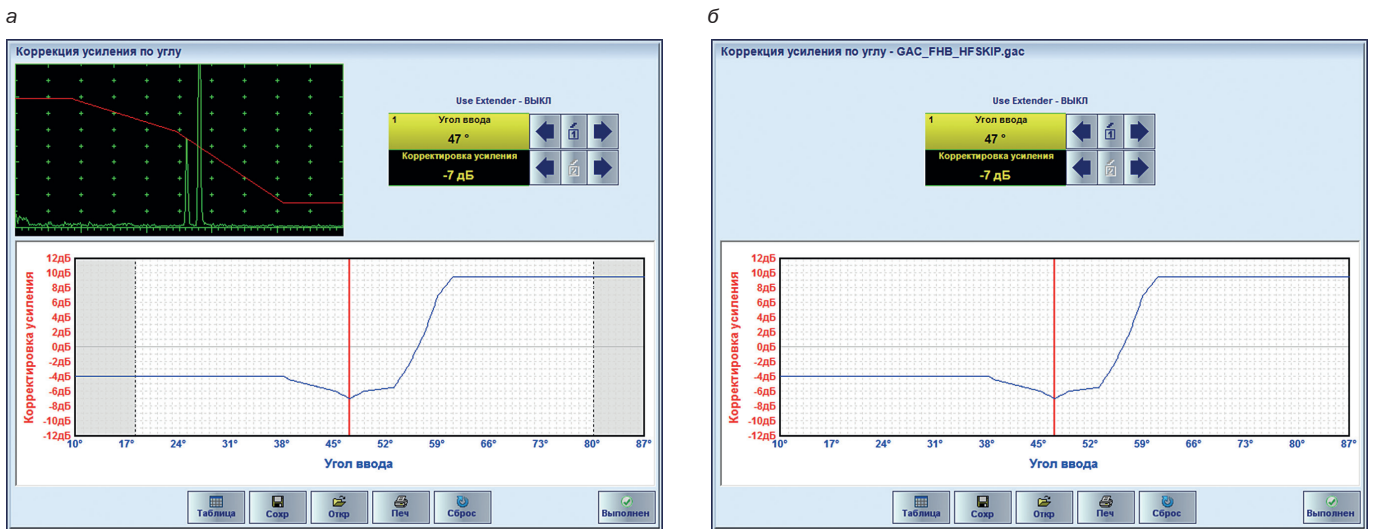
Для подтверждения правомерности изложенного подхода проведены эксперименты с применением трёх стандартных отражателей типа:

- **дисковый плоскодонный** (обычно используется при контроле сварных швов средней и большой толщины, хорошо имитирует несплавление по кромке); в соответствии с толщиной образца (38 мм) использовался 32-элементный ФР-преобразователь (линейная решетка, шаг 0,5 мм, частота 5 МГц), апертура излучения-приёма составляла 32 элемента; результаты представлены на рис. 5–7;
- **зарубка** (обычно применяется для тонкостенных сварных швов и хорошо имитирует трещины, развивающиеся в таких швах от внешней и внутренней поверхностей); в соответствии с толщиной образца (8 мм) использовался 16-элементный ФР-преобразователь (линейная решетка, шаг 0,31 мм, частота 5 МГц), апертура излучения-приёма составляла 16 элементов; результаты представлены на рис. 8–10;
- **боковое цилиндрическое отверстие** (легко воспроизводимый искусственный отражатель); в соответствии с толщиной образца (25,4 мм) использовался 16-элементный ФР-преобразователь (линейная решетка, шаг 0,5 мм, частота 4 МГц), апертура излучения-приёма составляла 16 элементов; результаты представлены на рис. 11–13.

Результаты, полученные для каждого из отражателей, показывают, что для всех из них удаётся добиться равномерности чувствительности в прозвучиваемом поперечном сечении с точностью 1–2 дБ, не превышающей обычную допустимую погрешность измерения амплитуд эхо-сигналов, вызванную неточностью манипуляции преобразователем вручную и неточностью изготовления стандартных образцов.



Рис. 3. Построение DAC по **плоскодонному отражателю** (диск диаметром 2 мм): обнаружение отражателя прямым (а) и однократно отражённым (б) лучом при оптимальном угле ввода, соответствующем лучу, перпендикулярному плоскости отражателя и проходящему через его центр



20

Рис. 4. Кривая компенсации усиления в зависимости от угла ввода для **плоскодонного отражателя** (диск диаметром 2 мм): при построении кривой ФР-преобразователь перемещается вперёд-назад в плоскости, совпадающей с осью, перпендикулярной к поверхности отражателя и проходящей через его центр, обеспечивая приём эхо-сигналов под различными углами однократно-отражённым лучом (а), и амплитуда максимального эхо-сигнала для каждого угла ввода корректируется под соответствующий уровень кривой DAC (б)



Рис. 5. Прозвучивание образца с **плоскодонным отражателем** (диск диаметром 2мм) способом секторного сканирования: ФР-преобразователь перемещается вперёд-назад в плоскости, совпадающей с центром отражателя, обеспечивая озвучивание под различными углами прямым (а) и однократно отражённым (б) лучом

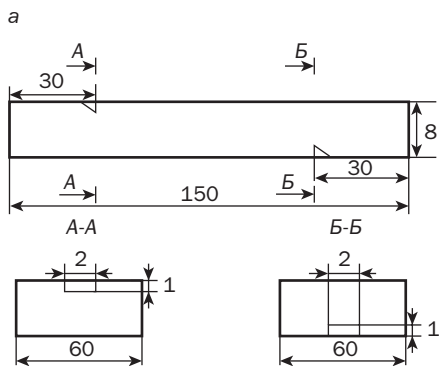


Рис. 8. Стандартный образец с отражателями типа **зарубка** 1×2 мм на донной поверхности и поверхности сканирования (а) и соответствующая кривая компенсации усиления в зависимости от угла ввода (б): при построении кривой ФР-преобразователь перемещается вперёд-назад в плоскости, совпадающей с осью, перпендикулярной отражателю и проходящей через его центр, обеспечивая приём эхо-сигналов под различными углами однократно отражённым лучом, и амплитуда максимального эхо-сигнала корректируется под соответствующий уровень кривой DAC для каждого угла ввода

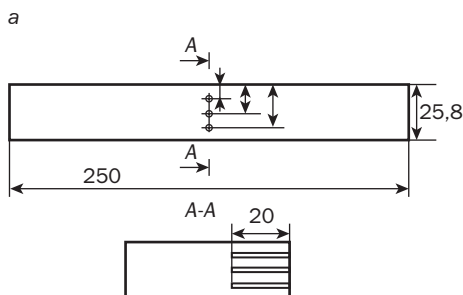


Рис. 11. Стандартный образец с отражателями типа **боковое цилиндрическое отверстие** (диаметр 2 мм) (а) и соответствующая кривая компенсации усиления в зависимости от угла ввода (б): при построении кривой ФР-преобразователь перемещается вперёд-назад в плоскости, перпендикулярной оси отверстия, обеспечивая приём эхо-сигналов под различными углами однократно отражённым лучом, и амплитуда максимального эхо-сигнала корректируется под соответствующий уровень кривой DAC для каждого угла ввода

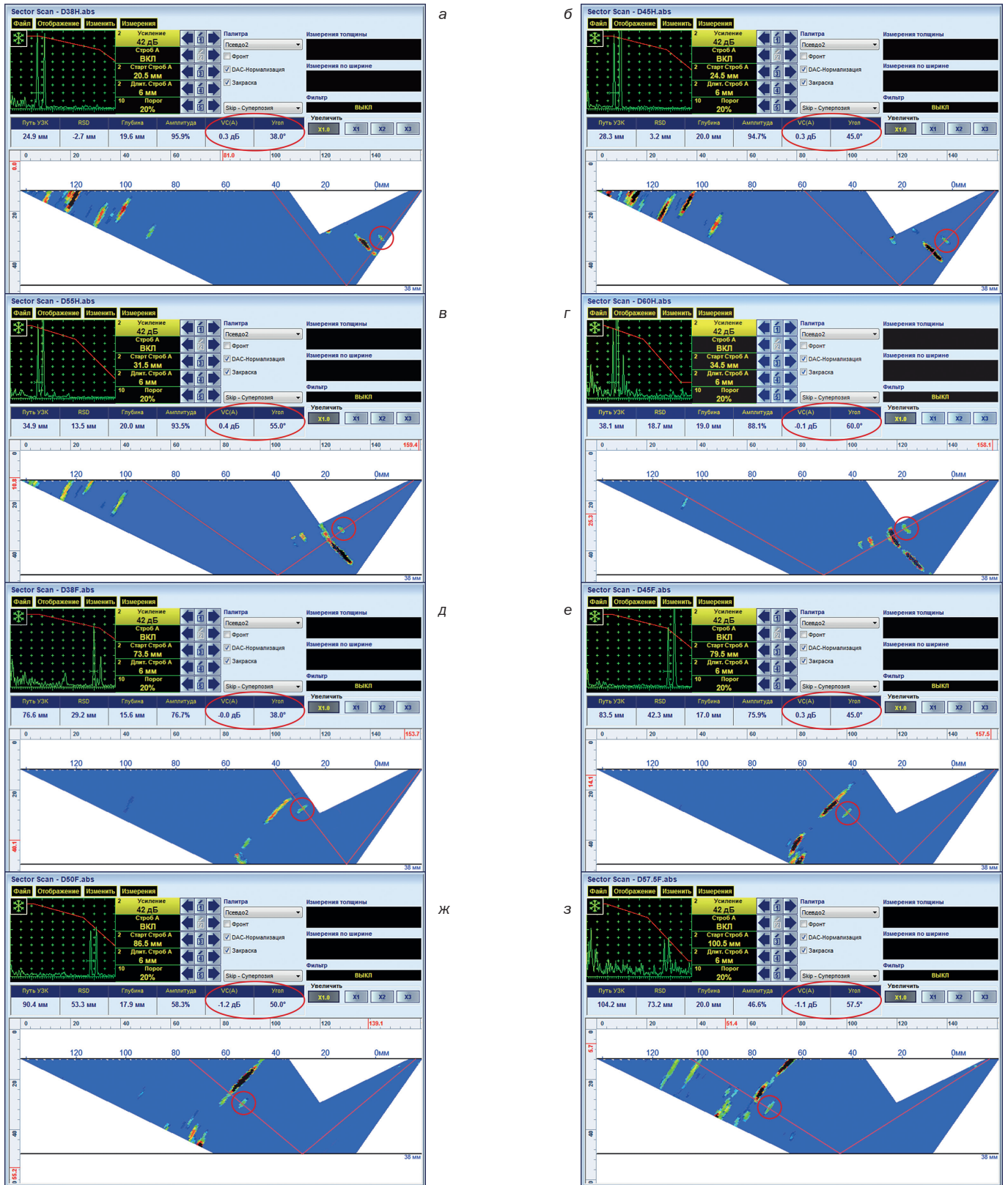


Рис. 6. Результаты прозвучивания образца с плоскодонным отражателем (диск диаметром 2 мм) способом секторного сканирования при активной функции коррекции усиления по углу ввода и нормализации цветовой шкалы амплитуд эхо-сигналов по DAC при расположении ФР-преобразователя на образце, соответствующем озвучиванию отражателя прямым лучом под углом 38° (а), 45° (б), 55° (в) и 60° (г) и однократно отражённым лучом под углом 38° (д), 45° (е), 55° (ж) и 60° (з). На каждом отображении экрана дефектоскопа показаны: А-скан, соответствующий максимальной амплитуде эхо-сигнала — стробирующий импульс установлен «поверх» эхо-импульса; изображение плоскодонного отражателя и результаты измерений амплитуды, отмеченные красными маркерами. Видно, что при одном и том же усилии прибора (42 дБ) соотношение амплитуды эхо-сигнала к соответствующему уровню кривой DAC находится в пределах 1,6 дБ в диапазоне манипуляции углом ввода, который полностью обеспечивает прозвучивание сварного шва с толщиной стенки, соответствующей стандартному образцу, прямым и однократно отражённым лучом

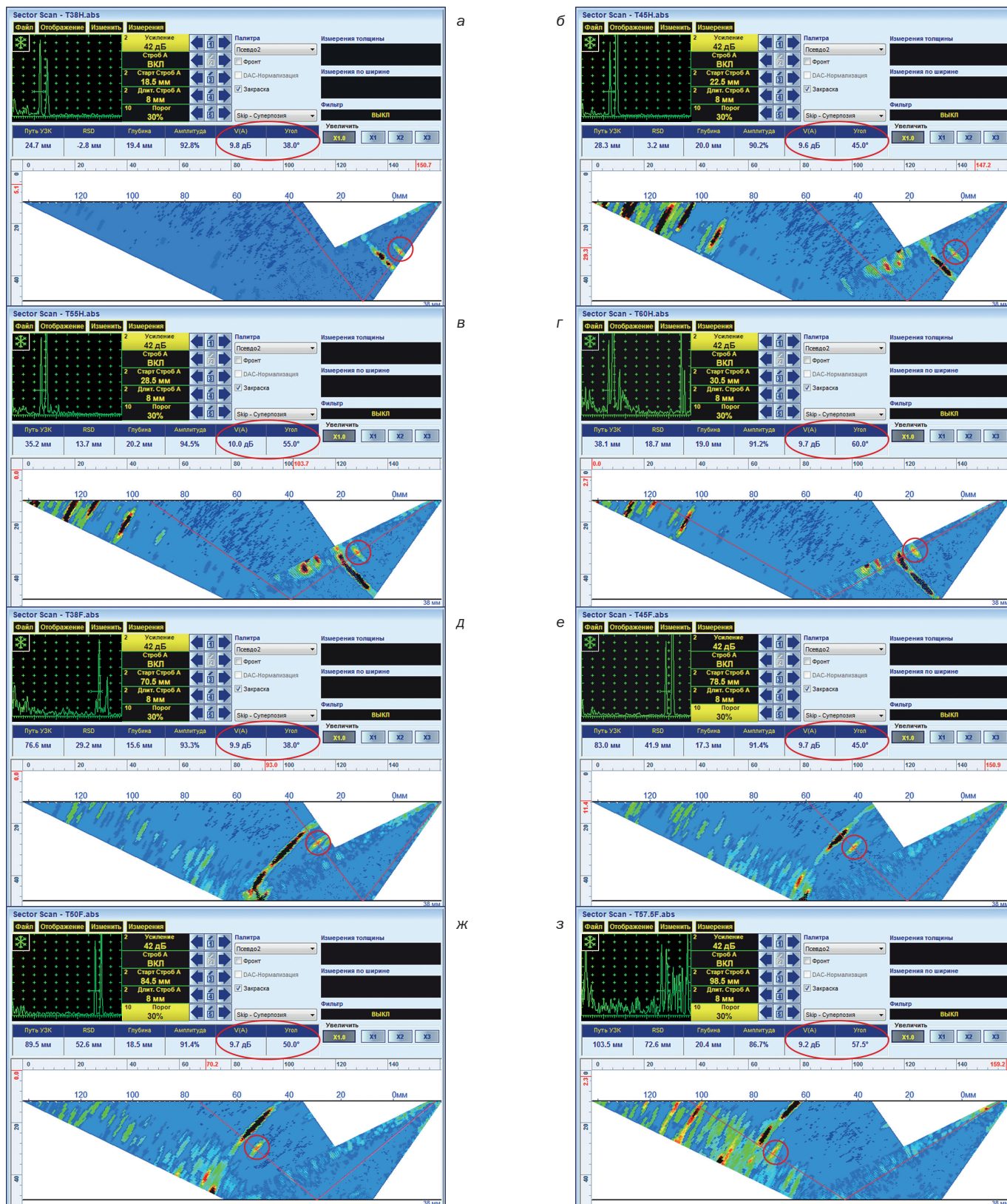


Рис. 7. Результаты прозвучивания образца с плоскодонным отражателем (диск диаметром 2мм) способом секторного сканирования при активных функциях коррекции усиления по углу ввода и ВРЧ, действующей в соответствии с DAC, при расположении ФР-преобразователя на образце, соответствующем озвучиванию отражателя прямым лучом под углом 38° (а), 45° (б), 55° (в) и 60° (г) и однократно отражённым лучом под углом 38° (д), 45° (е), 55° (ж) и 60° (з). На каждом отображении экрана дефектоскопа показаны: А-скан, соответствующий максимальной амплитуде эхо-сигнала — стробирующий импульс установлен «поверх» эхо-импульса; изображение плоскодонного отражателя и результаты измерений амплитуды, отмеченные красными маркерами. Видно, что **при одном и том же усилении прибора (42 дБ) соотношение амплитуды эхо-сигнала к порогу стробирующего импульса (30% от высоты А-скана) находится в пределах 0,8 дБ в диапазоне манипуляции углом ввода, который полностью обеспечивает прозвучивание сварного шва с толщиной стенки, соответствующей стандартному образцу, прямым и однократно отражённым лучом**

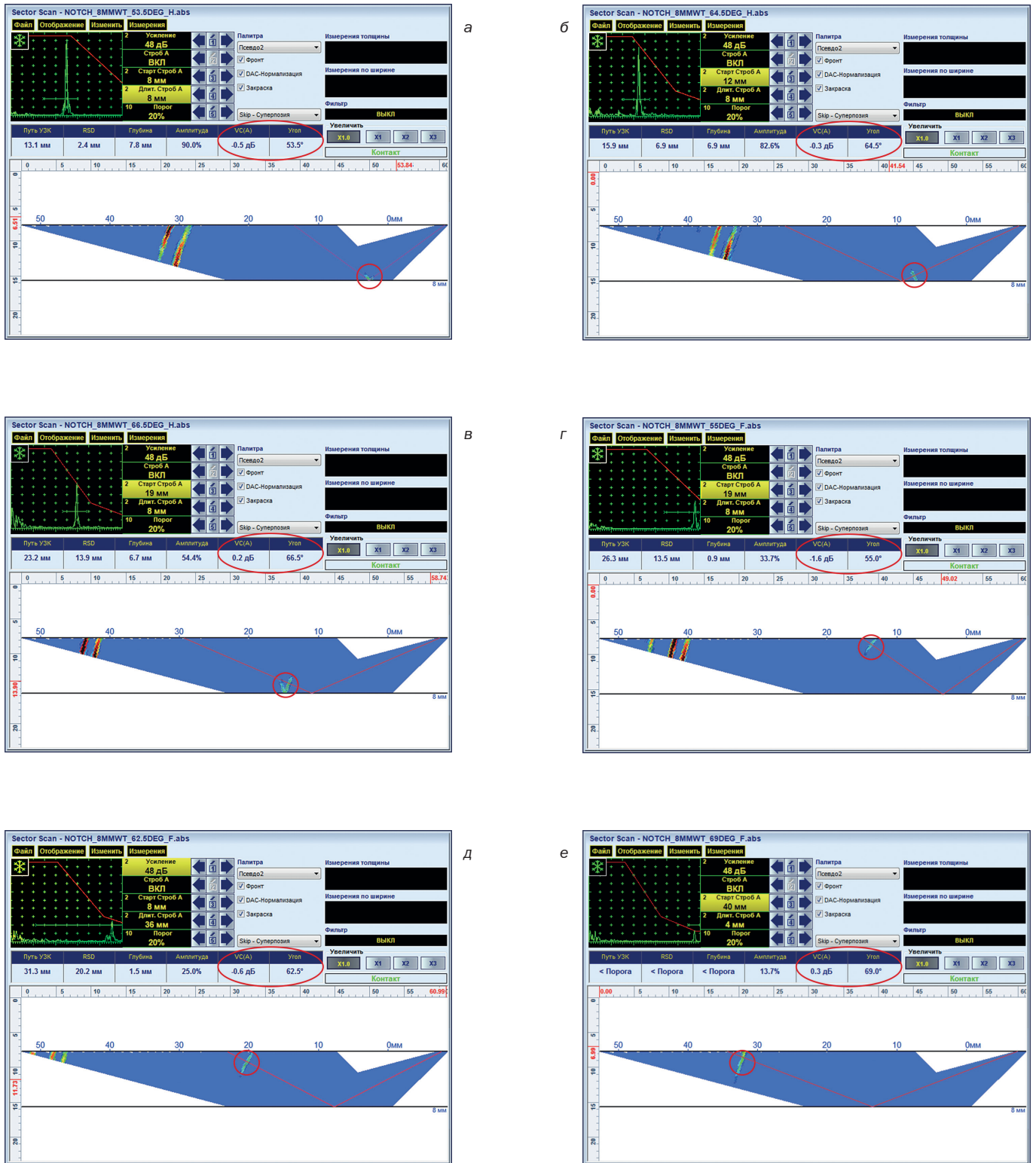


Рис. 9. Результаты прозвучивания образца с зарубками (1 × 2 мм) способом секторного сканирования при активной функции коррекции усиления по углу ввода и нормализации цветовой шкалы амплитуд эхо-сигналов по DAC при расположении ФР-преобразователя на образце, соответствующем озвучиванию отражателя прямым лучом под углом 53° (а), 64° (б) и 66,5° (в) и однократно отражённым лучом под углом 55° (г), 62,5° (д) и 69° (е). На каждом отображении экрана дефектоскопа показаны: А-скан, соответствующий максимальной амплитуде эхо-сигнала — стробирующий импульс установлен «поверх» эхо-импульса; изображение зарубки и результаты измерений амплитуды, отмеченные красными маркерами. Видно, что **при одном и том же усилении прибора (48 дБ) соотношение амплитуды эхо-сигнала к соответствующему уровню кривой DAC находится в пределах 1,9 дБ в диапазоне манипуляции углом ввода, который полностью обеспечивает прозвучивание сварного шва с толщиной стенки, соответствующей стандартному образцу, прямым и однократно отражённым лучом**

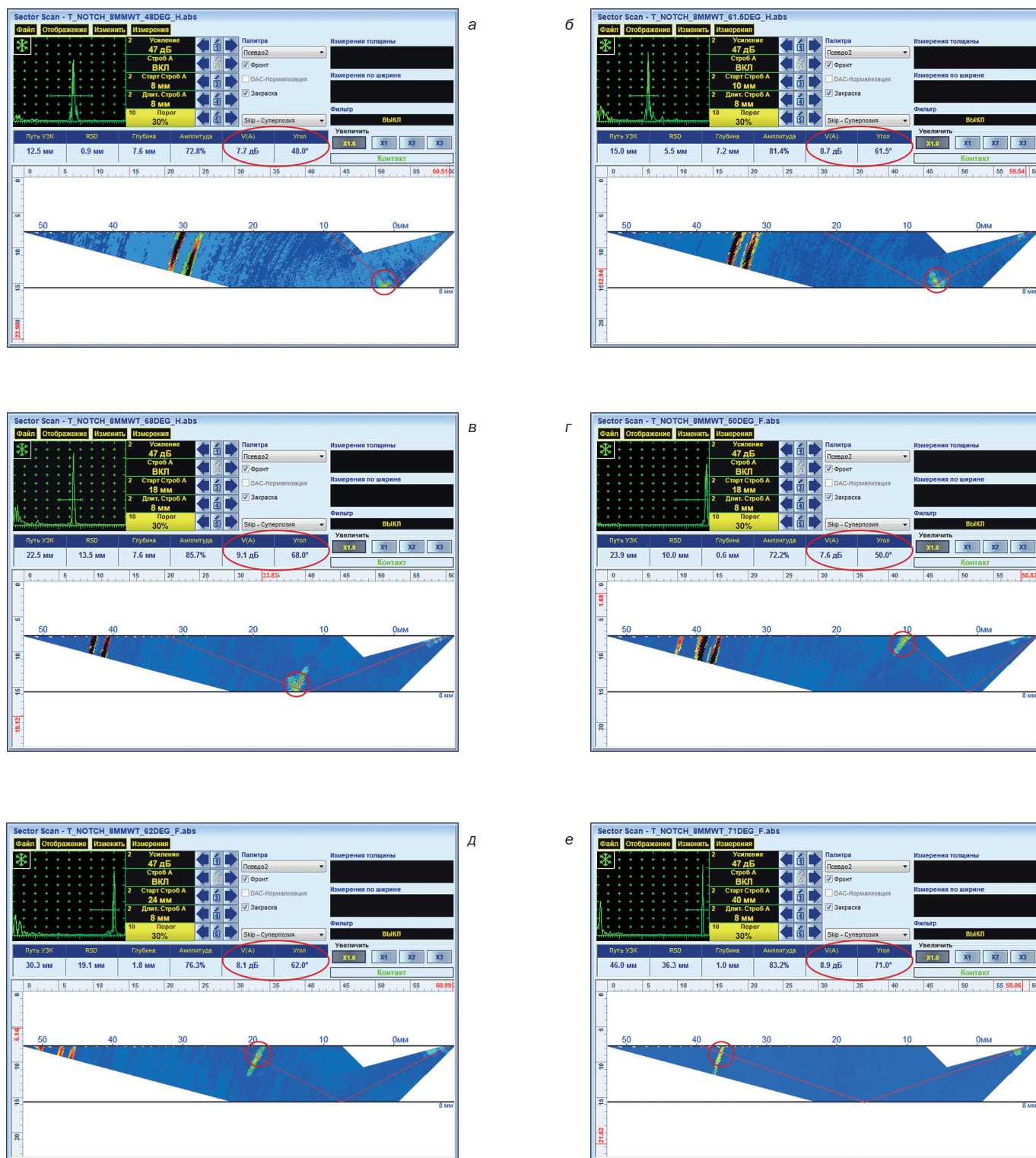


Рис. 10. Результаты прозвучивания образца с зарубками (1 × 2 мм) способом секторного сканирования при активных функциях коррекции усиления по углу ввода и ВРЧ, действующей в соответствии с DAC, при расположении ФР-преобразователя на образце, соответствующем озвучиванию отражателя прямым лучом под углом 48° (а), 61,5° (б) и 68° (в) и однократно отражённым лучом под углом 50° (г), 62° (д) и 71° (е). На каждом отображении экрана дефектоскопа показаны: А-скан, соответствующий максимальной амплитуде эхо-сигнала — стробирующий импульс установлен «поверх» эхо-импульса; изображение зарубки и результаты измерений амплитуды, отмеченные красными маркерами. Видно, что **при одном и том же усилии прибора (47 дБ) соотношение амплитуды эхо-сигнала к порогу стробирующего импульса (30% от высоты А-скана) находится в пределах 1,5 дБ в диапазоне манипуляции углом ввода, который полностью обеспечивает прозвучивание сварного шва с толщиной стенки, соответствующей стандартному образцу, прямым и однократно отражённым лучом**

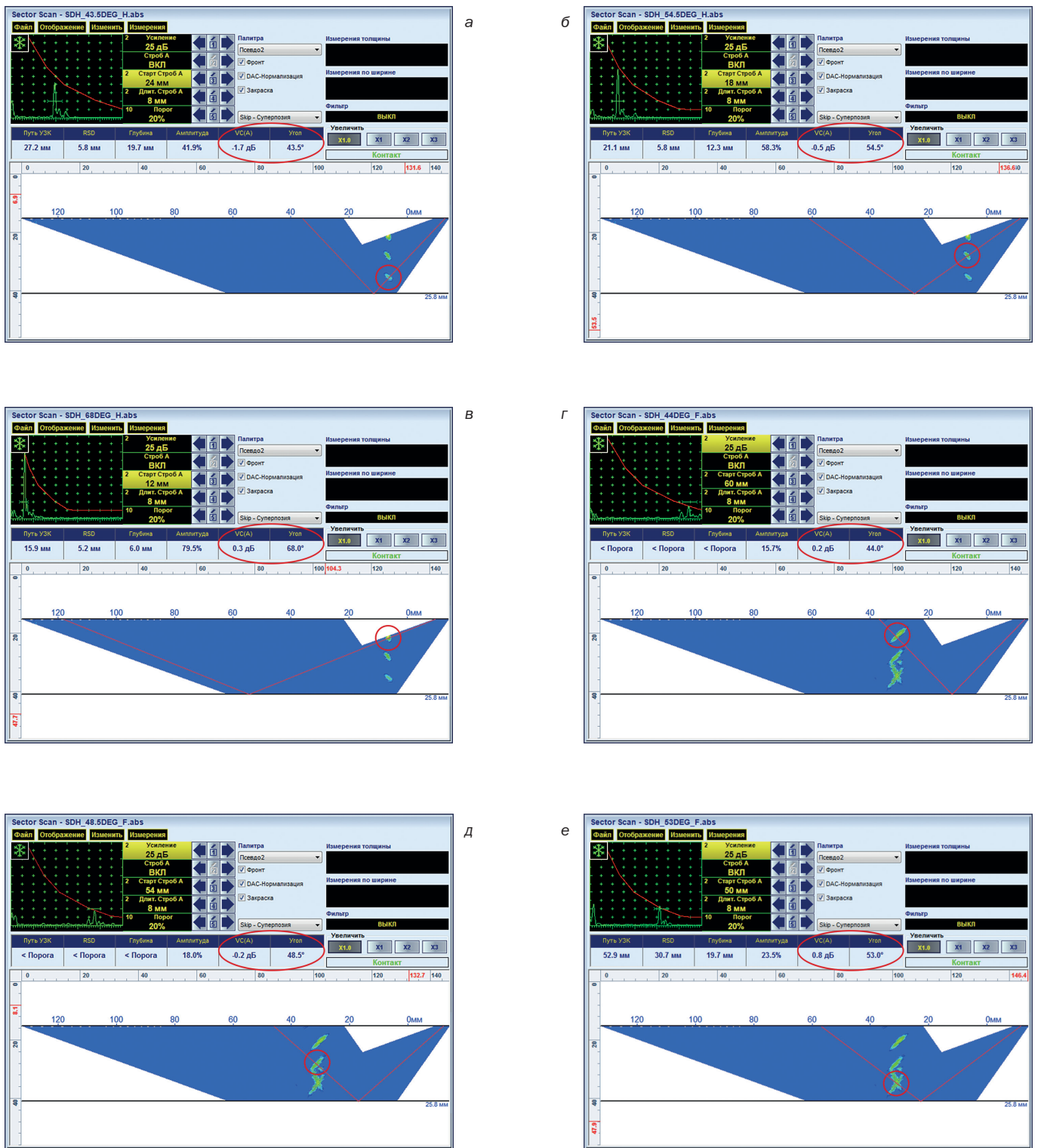


Рис. 12. Результаты прозвучивания образца с боковыми цилиндрическими отверстиями (диаметр 2 мм) способом секторного сканирования при активной функции коррекции усиления по углу ввода и нормализации цветовой шкалы амплитуд эхо-сигналов по DAC при расположении ФР-преобразователя на образце, соответствующем озвучиванию отражателя прямым лучом под углом 43,5° (а), 54,5° (б) и 68° (в) и однократно отражённым лучом под углом 44° (г), 48,5° (д) и 53° (е). На каждом отображении экрана дефектоскопа показаны: А-скан, соответствующий максимальной амплитуде эхо-сигнала — сторирующий импульс установлен «поверх» эхо-импульса; изображение соответствующего бокового цилиндрического отверстия и результаты измерений амплитуды, отмеченные красными маркерами. Видно, что **при одном и том же усилении прибора (25 дБ) соотношение амплитуды эхо-сигнала к соответствующему уровню кривой DAC находится в пределах 2,5 дБ в диапазоне манипуляции углом ввода, который полностью обеспечивает прозвучивание сварного шва с толщиной стенки, соответствующей стандартному образцу, прямым и однократно отражённым лучом**

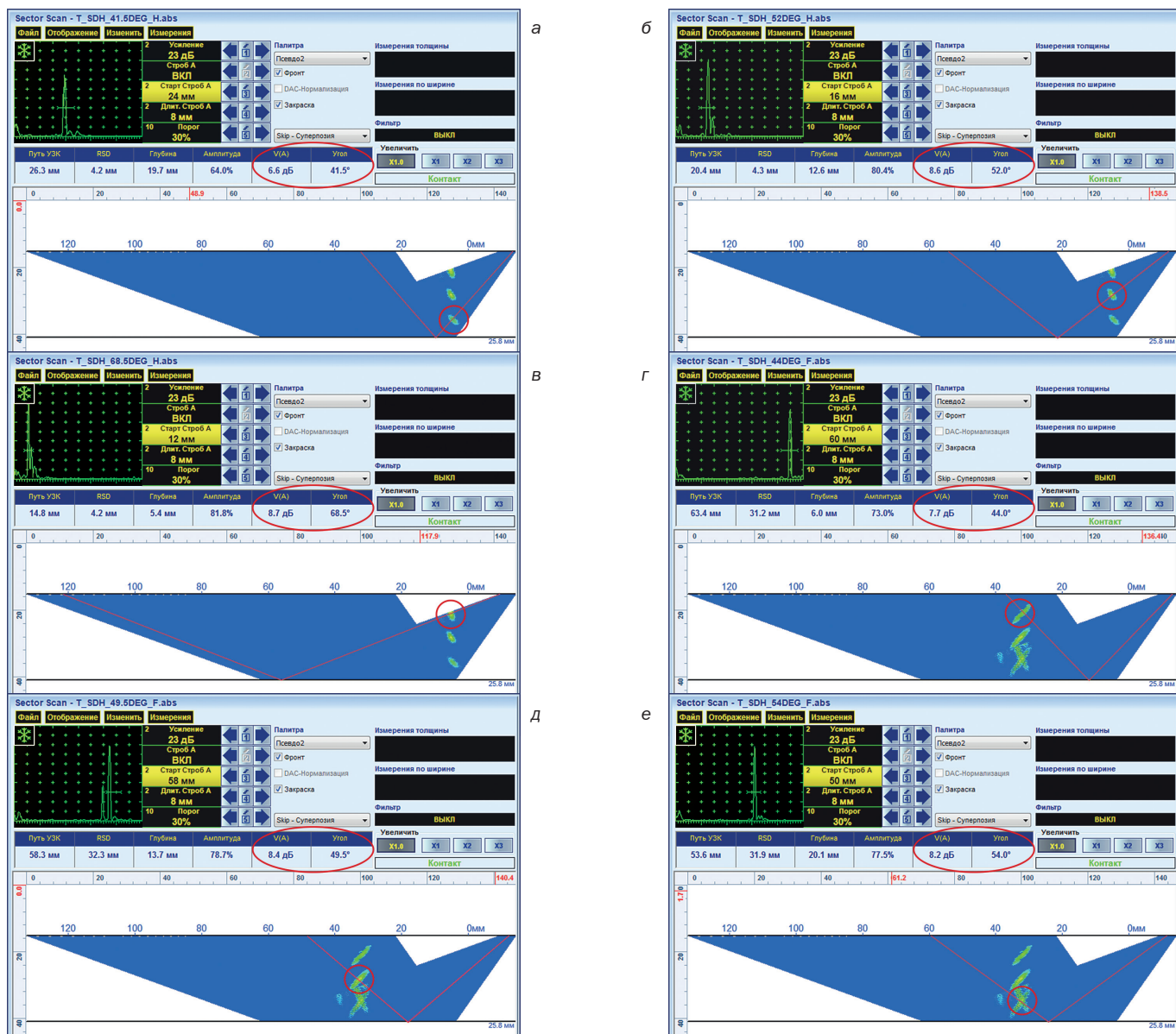


Рис. 13. Результаты прозвучивания образца с боковыми цилиндрическими отверстиями (диаметр 2 мм) способом секторного сканирования при активных функциях коррекции усиления по углу ввода и ВРЧ, действующей в соответствии с DAC, при расположении ФР-преобразователя на образце, соответствующую озвучиванию отражателя прямым лучом под углом 41,5° (а), 52° (б), и 68,5° (в) и однократно отражённым лучом под углом 44° (г), 49,5° (д) и 54° (е). На каждом отображении экрана дефектоскопа показаны: А-скан, соответствующий максимальной амплитуде эхо-сигнала — стробирующий импульс установлен «поверх» эхо-импульса; изображение соответствующего бокового цилиндрического отверстия и результаты измерений амплитуды, отмеченные красными маркерами. Видно, что **при одном и том же усилении прибора (23 дБ) соотношение амплитуды эхо-сигнала к порогу стробирующего импульса (30% от высоты А-скана) находится в пределах 2,1 дБ в диапазоне манипуляции углом ввода, который полностью обеспечивает прозвучивание сварного шва с толщиной стенки, соответствующей стандартному образцу, прямым и однократно отражённым лучом**

Выводы

1. Одновременное использование двух независимых механизмов компенсации изменений амплитуд эхо-сигналов от равновеликих отражателей, рассмотренных в статье, позволяет обеспечить **равномерность чувствительности в пределах поперечного сечения материала**, прозвучиваемого способом секторного сканирования, даже в случаях, когда амплитуда эхо-сигнала существенно зависит от направления волны, взаимодействующей с отражателем.

2. При обеспечении равномерности чувствительности в пределах поперечного сечения материала можно ограничиться лишь стратегией секторного сканирования, что снижает затраты на проведение контроля по сравнению с мульти-группным прозвучиванием благодаря применению ФР-преобразователей, несущих меньшее количество элементов за счёт удешевления самого ФР-преобразователя, а также уменьшению его размеров и размеров преломляющей призмы, что позволяет значительно сократить ширину полосы зачистки в околосшовной зоне. Увеличение

скорости сканирования, возможное за счёт снижения количества фокальных законов, реализуемых для полного прозвучивания поперечного сечения шва, также способствует снижению себестоимости контроля.

3. Предложенные принципы настройки и последовательность действий при их практической реализации пригодны для внесения в существующие и вновь создаваемые нормы и методики контроля

Статья получена 26 июля 2016 г.,
в окончательной редакции — 19 августа.

ВМЕСТО ТЫСЯЧИ СЛОВ...



www.sonotronndt.com



SONOTRON NDT



на правах рекламы