

## Ultrasonic Phased Array Inspection

### 2. Cross-Sectional Insonification with Use of Linear Arrays – Equalization of Sensitivity and Homogenization of Reflectors' Evaluation

G. Passi

In the article it is illustrated inadequate penetration of ultrasonic energy whilst covering material's cross section by sectorial scanning and described the way to equalize inspection sensitivity and homogenize defects evaluation.



# УЗК 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 чувствительности и единства оценки отражателей

Для конкретности рассмотрим один из наиболее распространенных практических случаев – контроль металлического объекта эхо-методом с использованием поперечных волн. При использовании моноэлементных наклонных преобразователей с фиксированным углом ввода прозвучивание осуществляют путем механического перемещения преобразователя в плоскости поперечного сечения. При обнаружении отражателей максимизируют амплитуду

эхо-сигналов, полагая, что максимум достигается при озвучивании в направлении, соответствующем углу ввода, и оценивают каждый эхо-сигнал путем сопоставления его амплитуды с соответствующим уровнем кривой «амплитуда – расстояние» (DAC): практически все современные ультразвуковые дефектоскопы автоматически определяют и индицируют параметр «dB-to-DAC» (рис. 1) – см., например, [1]. Таким образом, дефекты с одинаковой отражательной способностью характеризуются равными значениями параметра «dB-to-DAC» независимо от глубины их залегания, а потому оцениваются как равные.

При контроле способом качающегося луча с применением ФР-преобразователя последний устанавливается в фиксированной позиции, а прозвучивание осуществляют путем электронного манипулирования углом ввода в заданном диапазоне, обеспечивающем перекрытие контролируемого сечения ультра-

звуковыми лучами. Очевидно, что в этом случае угол ввода, при котором обеспечивается прием эхо-сигнала максимальной амплитуды (угол озвучивания), определяется координатами расположения дефекта в поперечном сечении объекта контроля (OK), иными словами – амплитуда эхо-импульса зависит не только от глубины залегания отражателя, но и от

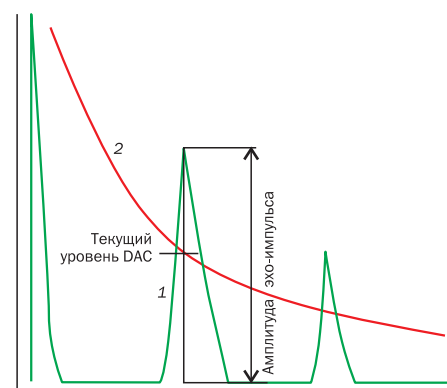


Рис. 1. Определение параметра «dB-to-DAC» =  $= 20 \lg \{ \text{амплитуда эхо-сигнала} / \text{текущий уровень DAC} \}$ : 1 – А-скан; 2 – кривая «амплитуда – расстояние» (DAC)



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)

\* Вторая статья серии. Первая опубликована в [2].

угла озвучивания. Данное положение может быть подтверждено путем линейного механического перемещения ФР-преобразователя, прозвучивающего ОК способом качающегося луча, в плоскости поперечного сечения, содержащего ненаправленный отражатель (рис. 2). В рассматриваемом эксперименте использовались:

- дефектоскоп ISONIC 2010 производства фирмы Sonotron NDT с преобразователем на ФР;
- ФР-преобразователь S 4922104379, представляющий собой линейную решетку из 32 элементов частотой 5 МГц, расположенных с шагом 0,5 мм, и установленный на 36°-ную призму типа S 4922104380 (изготовитель ФР-преобразователя и призмы – Sonotron NDT);
- стальной образец с боковым цилиндрическим сверлением диаметром 1 мм на глубине 20 мм.

На рис. 3 представлена серия изображений, получаемых на экране дефектоскопа при перемещении преобразователя вдоль образца, во время которого:

- совмещенная апертура излучения–приема состояла из 32 элементов;
- угол ввода манипулировался в диапазоне 35° ÷ 70°;
- формировалась графическая развертка S-скан (Sector Scan), на кото-

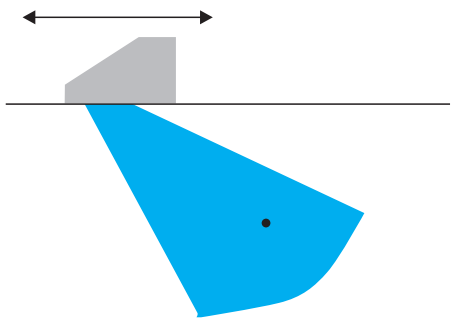


Рис. 2. Линейное перемещение ФР-преобразователя в плоскости поперечного сечения, содержащего ненаправленный отражатель

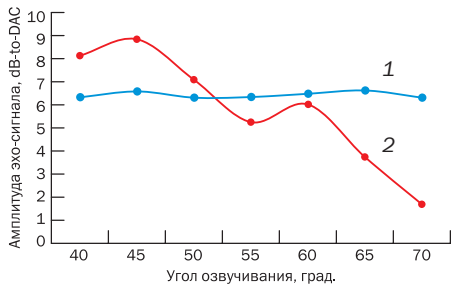


Рис.4. Сопоставление вариаций амплитуд эхосигналов от одного и того же отражателя при различных углах озвучивания для секторного сканирования при включенном (1) и выключенном (2) режиме «Angle Gain Compensation»

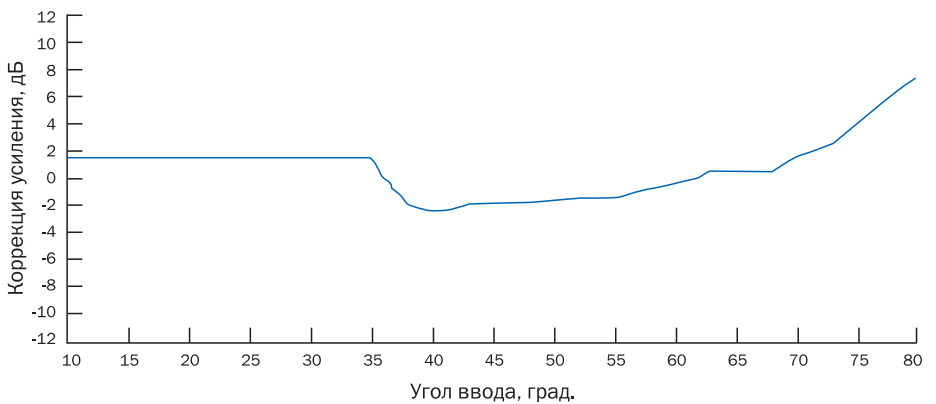
рой амплитуды эхо-сигналов кодировались цветом, соответствовавшим параметру «dB-to-DAC»;

- отображался А-скан для одного из углов ввода по выбору оператора, и фиксировалось численное значение параметра «dB-to-DAC», индицируемое прибором в децибелах как VC(A).

Видно, что индикация отражателя на S-скане не только перемещается горизонтально в соответствии с текущим расположением ФР-преобразователя на образце, но и меняет цвет в связи с существенной зависимостью измеряемого параметра «dB-to-DAC» от угла озвучивания отражателя (рис. 4, красная кривая), что свидетельствует о неравномерности чувствительности в контролируемом сечении при отсутствии корректировки усиления дефектоскопа во время осуществления серии циклов излучения–при-

ема, формирующих кадр изображения поперечного сечения. Именно поэтому существующие стандарты и другие нормативные документы определяют наличие легко воспроизводимой и документируемой коррекции усиления для каждого из имплементируемых циклов излучения–приема при использовании ФР-преобразователей [3 – 6], однако, ни один из современных дефектоскопов с ФР за исключением [7 – 9] не оснащен такой функцией. Производители других дефектоскопов рекомендуют активизацию функции ВРЧ (TCG – Time Corrected Gain), что не позволяет решить проблему должным образом, более того, основополагающие стандарты на УЗК просто не допускают активизацию ВРЧ.

Кривая коррекции усиления (Angle Gain Compensation) для используемого в эксперименте ФР-преобразователя



Угол, град.	Коррекция усиления, дБ	Угол, град.	Коррекция усиления, дБ	Угол, град.	Коррекция усиления, дБ	Угол, град.	Коррекция усиления, дБ
35,0	1,50	46,5	-1,92	58,0	-0,83	69,5	1,25
35,5	0,75	47,0	-1,89	58,5	-0,75	70,0	1,50
36,0	0,00	47,5	-1,86	59,0	-0,67	70,5	1,67
36,5	-0,50	48,0	-1,83	59,5	-0,58	71,0	1,83
37,0	-1,00	48,5	-1,81	60,0	-0,50	71,5	2,00
37,5	-1,50	49,0	-1,78	60,5	-0,38	72,0	2,17
38,0	-2,00	49,5	-1,75	61,0	-0,25	72,5	2,33
38,5	-2,13	50,0	-1,72	61,5	-0,12	73,0	2,50
39,0	-2,25	50,5	-1,69	62,0	0,00	73,5	2,88
39,5	-2,38	51,0	-1,67	62,5	0,25	74,0	3,25
40,0	-2,50	51,5	-1,64	63,0	0,50	74,5	3,63
40,5	-2,50	52,0	-1,61	63,5	0,50	75,0	4,00
41,0	-2,50	52,5	-1,58	64,0	0,50	75,5	4,38
41,5	-2,38	53,0	-1,56	64,5	0,50	76,0	4,75
42,0	-2,25	53,5	-1,53	65,0	0,50	76,5	5,13
42,5	-2,13	54,0	-1,50	65,5	0,50	77,0	5,50
43,0	-2,00	54,5	-1,50	66,0	0,50	77,5	5,88
43,5	-2,00	55,0	-1,50	66,5	0,50	78,0	6,25
44,0	-2,00	55,5	-1,38	67,0	0,50	78,5	6,63
44,5	-2,00	56,0	-1,25	67,5	0,50	79,0	7,00
45,0	-2,00	56,5	-1,13	68,0	0,50	79,5	7,25
45,5	-1,97	57,0	-1,00	68,5	0,75	80,0	7,50
46,0	-1,94	57,5	-0,92	69,0	1,00		

Рис. 5. Кривая коррекции усиления при манипулировании углом ввода («Angle Gain Compensation»)

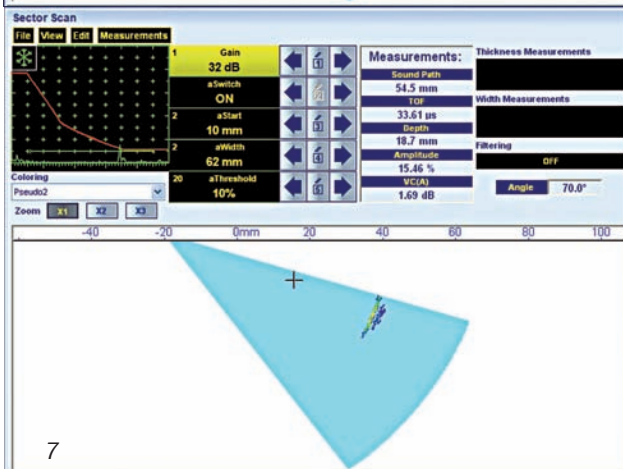
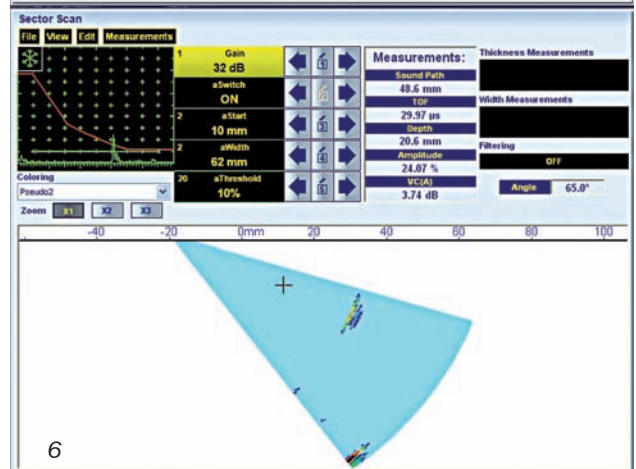
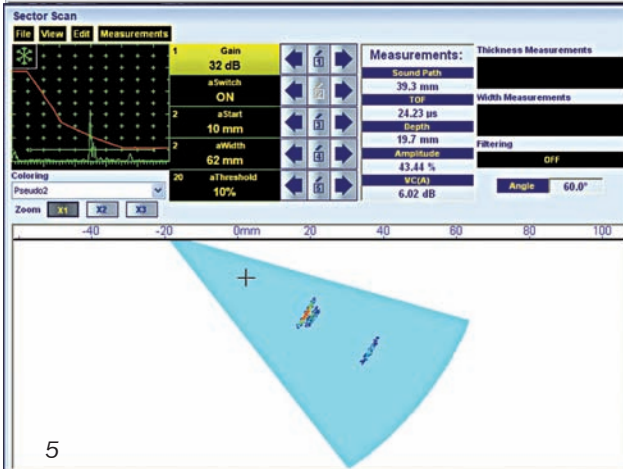
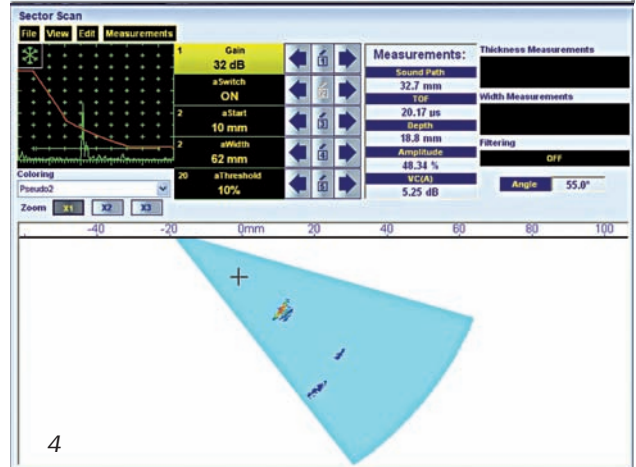
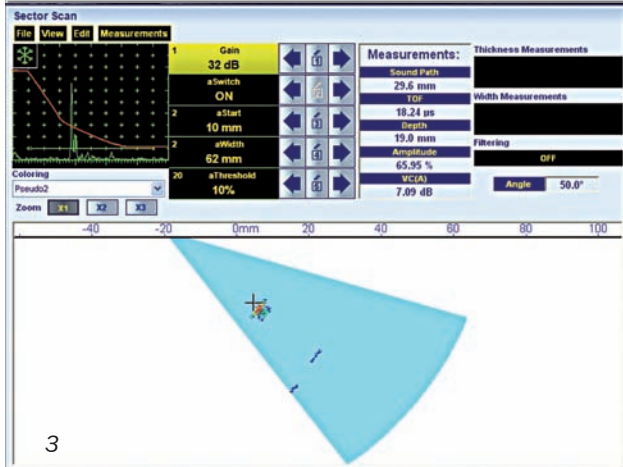
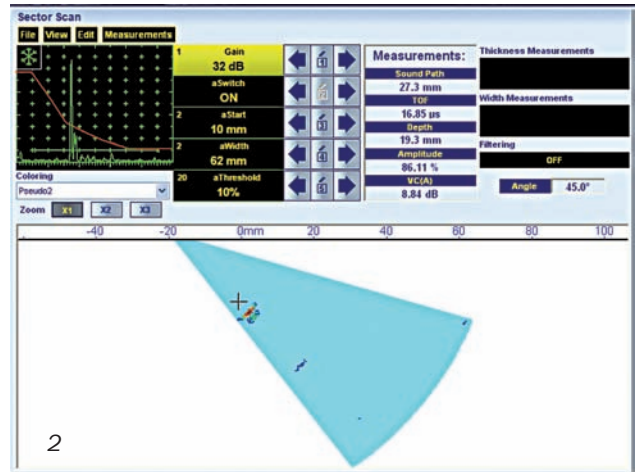
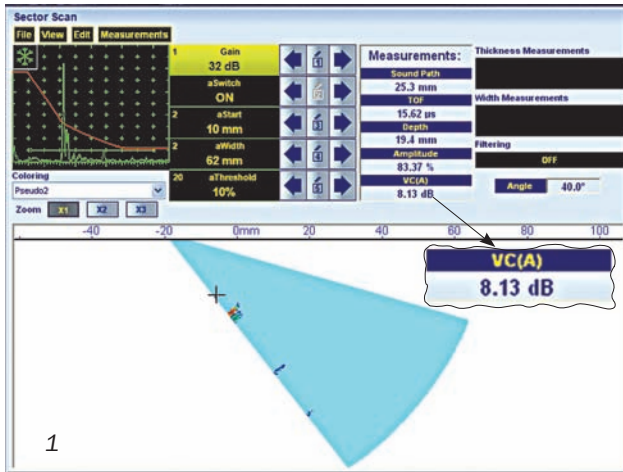


Рис. 3. Режим «Angle Gain Compensation» выключен: серия S-скан изображений на экране дефектоскопа ISONIC 2010 с преобразователем на ФР при поперечном сканировании образца с боковым цилиндрическим отверстием диаметром 1 мм на глубине 20 мм. Изображения, соответствующие A-сканы и результаты измерений стробированных эхо-сигналов получены при их максимизации для следующих углов озвучивания: 1 – 40°; 2 – 45°; 3 – 50°; 4 – 55°; 5 – 60°; 6 – 67°; 7 – 70°

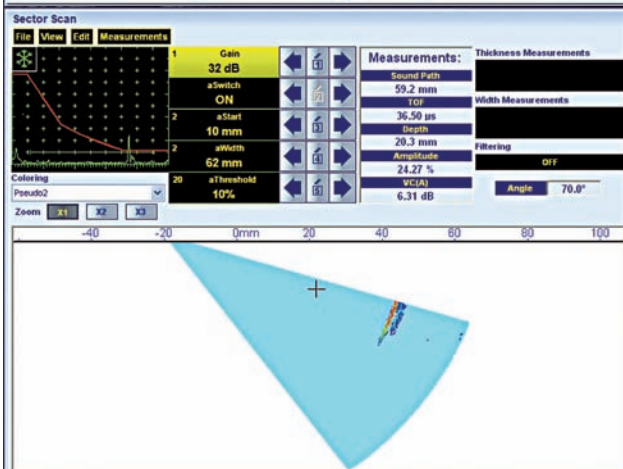
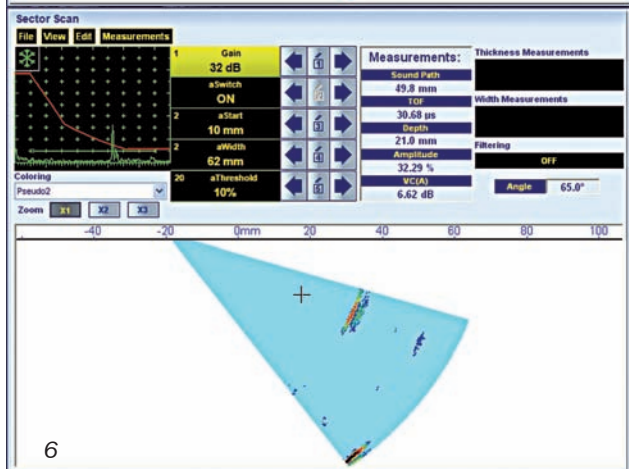
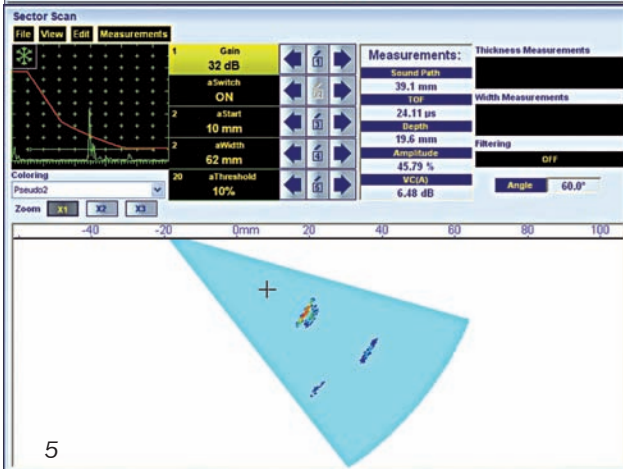
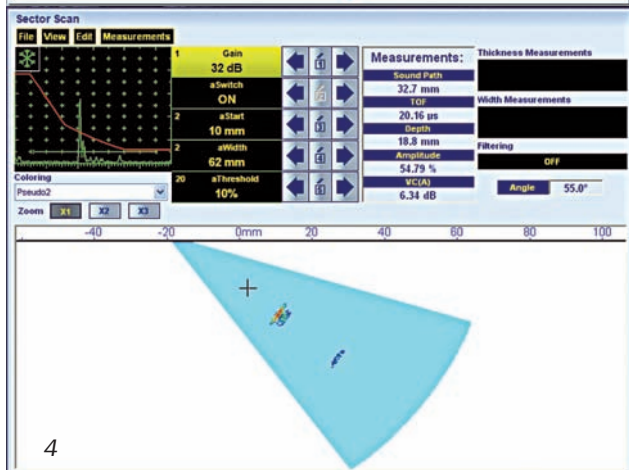
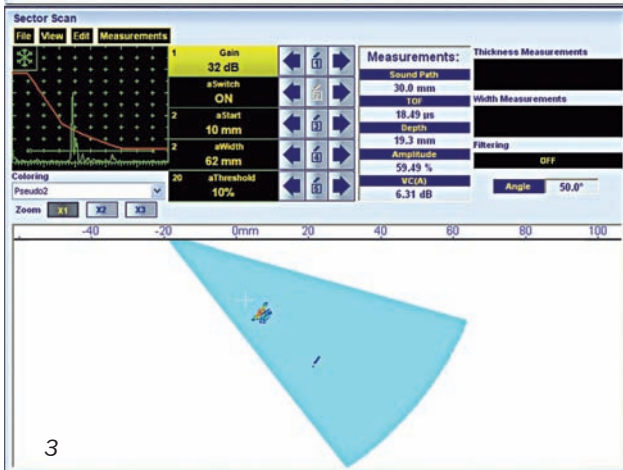
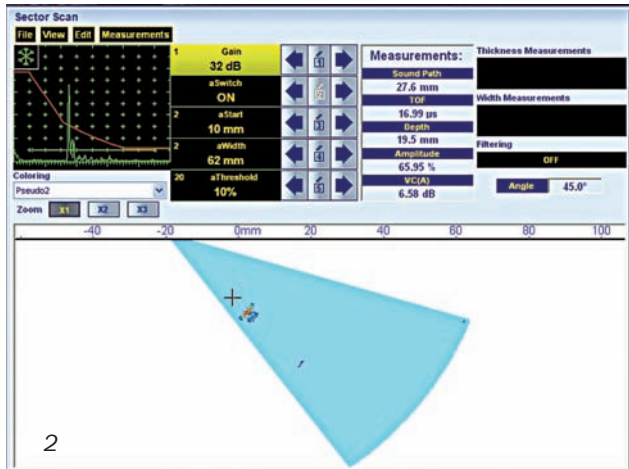
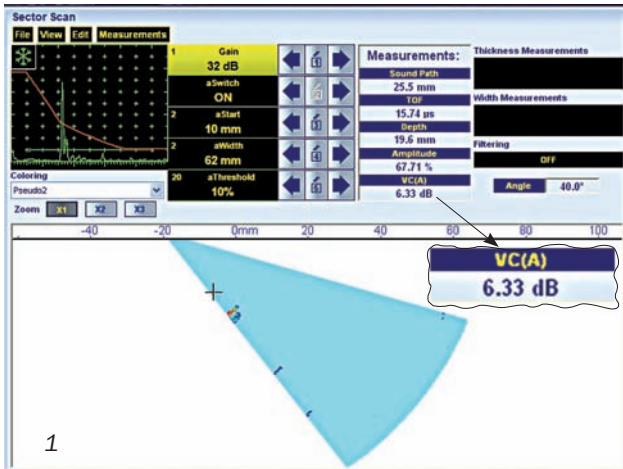


Рис. 6. Режим «Angle Gain Compensation» включен: серия S-скан изображений на экране дефектоскопа ISONIC 2010 с преобразователем на ФР при поперечном сканировании образца с боковым цилиндрическим отверстием диаметром 1 мм на глубине 20 мм. Изображения, соответствующие A-сканы и результаты измерений стробированных эхо-сигналов получены при их максимизации для следующих углов озвучивания: 1 – 40°; 2 – 45°; 3 – 50°; 4 – 55°; 5 – 60°; 6 – 67°; 7 – 70°

с призмой, построенная в соответствии с процедурой, изложенной в [2, 7, 8] для 32-элементной совмещенной апертуры излучения–приема, показана на рис. 5. После активизации коррекции усиления в соответствии с данной кривой сканирование образца было повторено; результаты представлены на рис. 6. Видно, что при озвучивании отражателя под различными углами его индикация на S-скане не меняет цвет за счет сохранения измеряемого параметра «dB-to-DAC» практически неизменным, что также иллюстрируется на рис. 4 (синяя кривая). Аналогичные результаты получены для ненаправленных отражателей, залегающих на глубинах до 300 мм (см., например, рис. 7).

**Равномерность чувствительности в поперечном сечении ОК обеспечивается за счет индивидуальной подстройки усиления для каждого из реализуемых циклов излучения–приема. При этом идентичность оценки равновеликих отражателей достигается за счет нормализации амплитуд эхо-сигналов по кривой «Амплитуда – Расстояние» и цветовой кодировкой индикаций дефектов на изображении поперечного сечения в соответствии со значением «dB-to-DAC», определяемым в результате нормализации.**

Следует отметить, что в конце 70-х – начале 80-х годов прошлого века профессор А. К. Гурвич доказал возмож-

ность создания серии моноэлементных наклонных преобразователей с едиными параметрами мнимых излучателей, что позволило бы использовать единую кривую «амплитуда – расстояние» в виде SKH или APD-диаграммы для любого угла ввода. Рассмотренная выше коррекция усиления дефектоскопа в зависимости от реализуемого угла ввода при контроле способом качающегося луча по сути выравнивает эффективный размер совмещенной апертуры излучения–приема, позволяя интерполировать кривую «Амплитуда – Расстояние» для одного из углов ввода в диапазоне прозвучивания как построенную экспериментально, так и теоретическую, на весь диапазон электронного манипулирования ультразвуковым лучом. Таким образом, при контроле с использованием ФР-преобразователей применимы те же принципы настройки чувствительности и оценки дефектов, что и при использовании моноэлементных преобразователей. Это лишний раз подтверждает некорректность агрессивного маркетинга, при котором ФР-технология преподносится как новый метод контроля, а не как способ электронного управления ультразвуковым лучом.

**Заметим, что приведенные выше положения справедливы лишь для компактных дефектов, моделируемых ненаправленными отражателями. Для выявления плоскостных дефектов**

**способ качающегося луча следует сочетать с другими схемами прозвучивания поперечного сечения ОК, причем возможна одновременная реализация различных схем прозвучивания с использованием одного и того же ФР-преобразователя. Речь об этом пойдет в следующей статье серии.**

## Литература

1. Non-Destructive Testing – Ultrasonic Examination. Part 2: Sensitivity and Range Setting. – British and European Standard BS EN 583-2:2001.
2. Пасси Г. УЗК 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. С. 12–16.
3. ASME Code Case 2541. Use of Manual Phased Array Ultrasonic Examination Section V.
4. ASME Code Case 2557. Use of Manual Phased Array S-Scan Ultrasonic Examination Section V per Article 4 Section V.
5. ASME Code Case 2558. Use of Manual Phased Array E-Scan Ultrasonic Examination Section V per Article 4 Section V.
6. ASME Code Case 2235 Rev. 9. Use of Ultrasonic Examination in Lieu of Radiography.
7. ISONIC 2009 UPA-Scope – Portable Ultrasonic Phased Array Flaw Detector and Recorder. Operating Manual, published by Sonotron NDT. Последняя версия всегда доступна в Интернете: <http://www.sonotronndt.com/PDF/OM2009/om2009.pdf>.
8. ISONIC 2010 – Portable Ultrasonic Phased Array Flaw Detector and Recorder. Operating Manual, published by Sonotron NDT. Последняя версия всегда доступна в Интернете: <http://www.sonotronndt.com/PDF/OM2010/om2010.pdf>

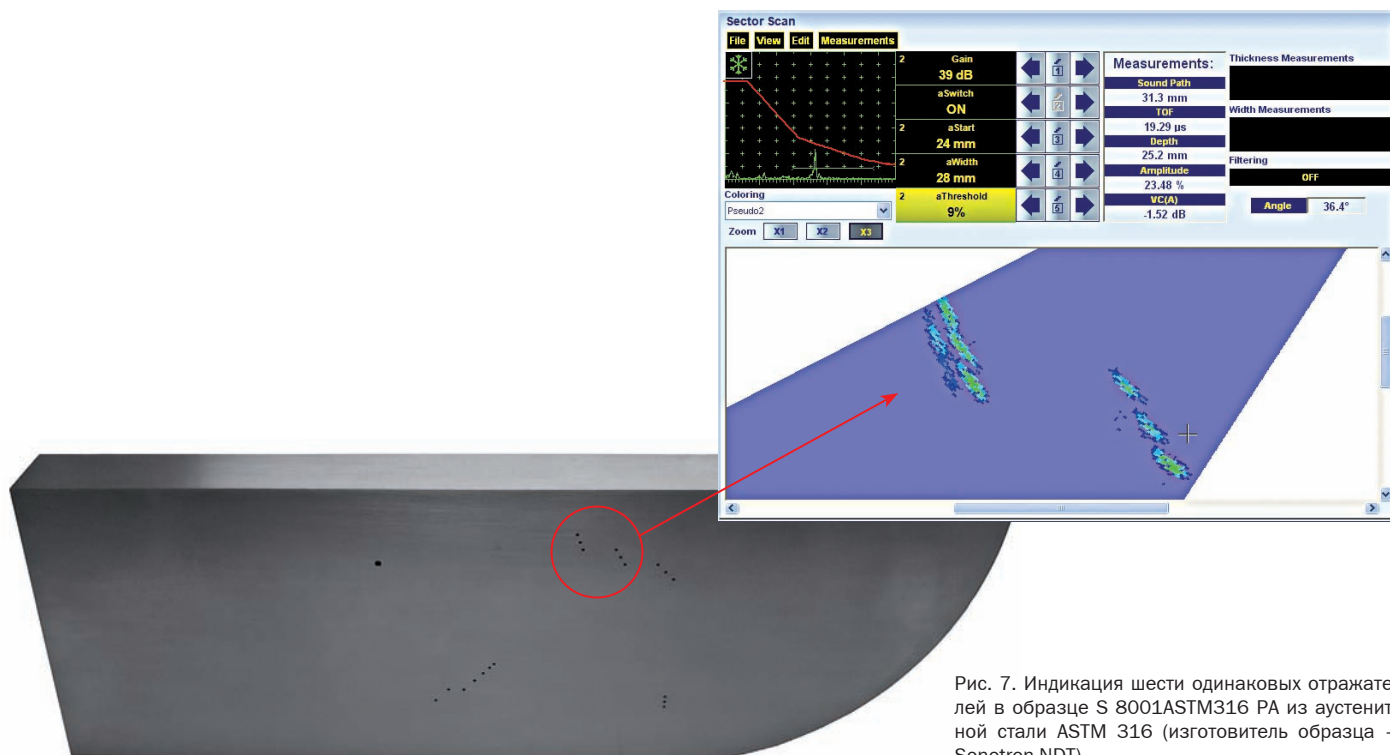


Рис. 7. Индикация шести одинаковых отражателей в образце S 8001ASTM316 PA из аустенитной стали ASTM 316 (изготовитель образца – Sonotron NDT)

Статья получена 30 декабря 2010 г.