

УДК 620.179.162 : 534.87

## **ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ**

*А. Е. БАЗУЛИН, Д. С. ТИХОНОВ*

ООО «Научно-производственный центр «ЭХО+»

Москва, Россия

UDC 620.179.162 : 534.87

## **EXPERIENCE OF APPLICATION OF AUTOMATED ULTRASONIC INSPECTION OF HAZARDOUS PRODUCTION FACILITIES**

*A. E. BASULIN, D. S. TIKHONOV*

**Аннотация.** Представлены основные особенности систем автоматизированного ультразвукового контроля серии АВГУР, разработанных и применяемых ООО «НПЦ «ЭХО» в атомной, нефтегазовой, авиационной отраслях, в том числе при предэксплуатационном и эксплуатационном контроле сварных швов.

**Ключевые слова:** АУЗК, ФР, трубопровод, аустенитный сварной шов.

**Abstract.** The report presents the main features of the automated ultrasonic testing systems of the AVGUR series, developed and used by ООО СПС ЕКНО in the nuclear, oil and gas industries, aviation industries, including pre-operational and operational control of welds.

**Keywords:** AUT, PA, pipeline, austenitic weld.

**Введение.** Представлены основные особенности систем автоматизированного контроля, разработанных и применяемых ООО «НПЦ «ЭХО» в атомной, нефтегазовой, авиационной отраслях, в том числе при предэксплуатационном и эксплуатационном контроле сварных швов.

Для проведения АУЗК сварных соединений трубопроводов и оборудования атомных электростанций и других объектов атомной отрасли толщиной от 8 до 300 мм применяются системы АВГУР-Т и АВГУР-АРТ, обеспечивающие автоматическое перемещение ультразвуковых преобразователей, визуализацию, полуавтоматическое определение параметров дефектов и выдачу заключения с дефектограммой. Применяются методы обработки ФР, ПСП, ЦФА, ЦФА-Х, ЦФА-У. Различные сканирующие устройства обеспечивают необходимые траектории сканирования.

Для проведения АУЗК сварных соединений тройников сварных с накладками, применяемых в ПАО «Газпром» с 2010 г., используется система АВГУР-Т, реализующая технологию ПСП-ЗД, за счет чего обеспечиваются необходимый уровень чувствительности и разрешающая способность, позволяющие разбраковывать поднакладочные сварные соединения по нормам для обычных кольцевых сварных соединений.

Для АУЗК и МУЗК сварных соединений магистральных, технологических и промысловых газопроводов применяется система АВГУР-ТФ со сканерами на магнитных колесах или на жестком треке. По результатам испытаний и

пусконаладочных работ на предприятии заказчика отмечена возможность проведения сканирования сварного шва трубопровода  $1420 \times 20$  мм за 3...4 мин. На ряде примеров показана хорошая сходимость результатов радиографического контроля и АУЗК. Системы АВГУР-Т и АВГУР-ТФ поставляются в ООО «Газпром трансгаз Беларусь».

Все системы АВГУР построены на базе единого программного обеспечения АВГУР с функциями:

- настройки, калибровки ультразвуковых многоканальных дефектоскопов;
- создания электронных технологических карт контроля с определением зоны прозвучивания объекта контроля;
- хранения, анализа и систематизации результатов контроля в базе данных (на сервере ЭХО + хранится более 10 Тб данных, сохраняемых с 2002 г., проведен контроль более 10 000 сварных соединений).

**Проведение аттестации системы АВГУР-ТФ при строительстве трубопровода Северный поток-2.** При проведении контроля сварных соединений трубопроводов сухопутной части проекта Северный поток-2 в соответствии с проектной документацией и ГОСТ Р 54382–2011 необходимо было проведение автоматизированного ультразвукового контроля. Проводился контроль сварных соединений типоразмером от  $168 \times 10$  до  $1420 \times 40$  мм с применением технологий ФР и TOFD по схемам контроля для выявления поперечных дефектов. Для визуализации изображений поперечных дефектов применялся метод SAFT. Для допуска к работе проведены испытания и валидация методики и системы контроля с представителями заказчика и сертифицирующего органа в соответствии с DNV OS F101 (ГОСТ Р 54382–2011). Показана воспроизводимость результатов настройки чувствительности при положениях настроечного образца на 0, 3, 6, 9 часах. Сделаны следующие выводы:

- для ФР-каналов максимальная амплитуда изображения боковых отверстий диаметром 3 мм, попадающих в сектор контроля на прямом или однократно отраженном луче, отличалась не более  $\pm 2$  дБ от заданного стандартного уровня 80 % высоты экрана (рис. 1);
- попадающие в сектор контроля пазы выявлены на всех сканах ФР и имеют максимальную амплитуду выше опорного уровня на 80 %;
- для TOFD-каналов боковые отверстия и пазы выявлены и имеют глубину и длину в соответствии с их размерами на настроечном образце;
- для метода контроля на поперечные дефекты выявлены поперечные пазы, индикации от них имеют глубину в соответствии с толщиной настроечного образца, а максимальная амплитуда пазов отличается не более  $\pm 2$  дБ от уровня 80 % высоты экрана (рис. 2).

**Разработка методики контроля угловых швов приварки бобышек.** При проведении пусконаладки на одном из предприятий нефтегазопереработки выяснилось, что не были своевременно осуществлены работы по неразрушающему контролю сварных швов приварки бобышек (веллолетов).

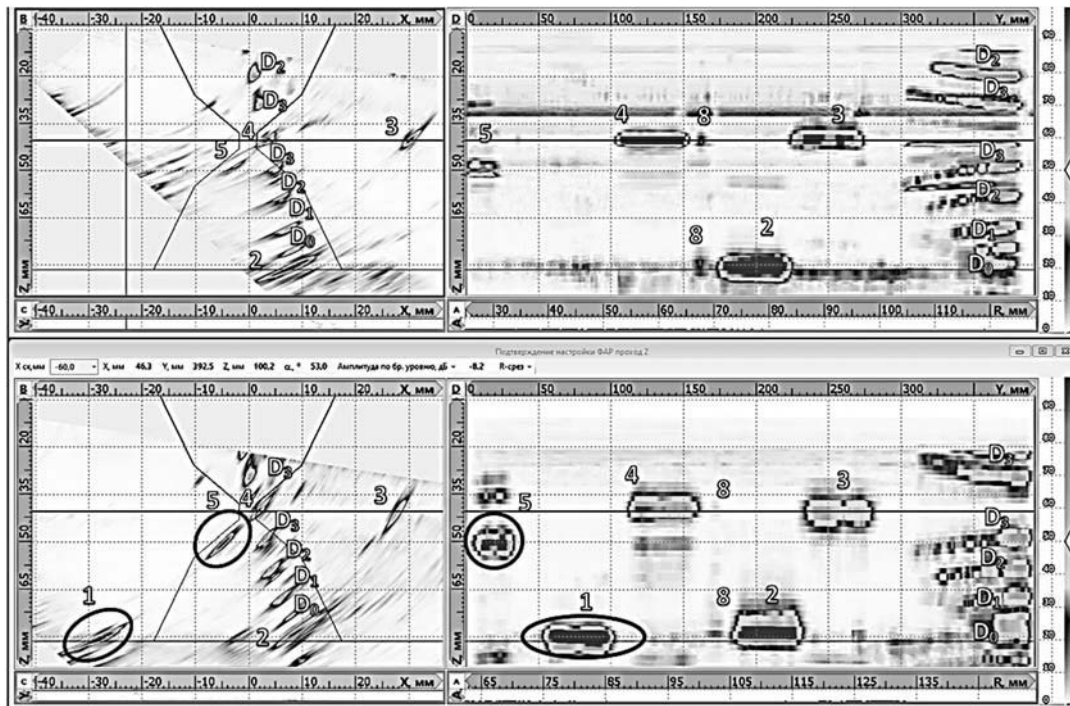


Рис. 1. Результаты сканирования настроечного образца толщиной 41 мм. Выполняется два прохода при сдвиге фазированной решётки относительно оси сварного шва

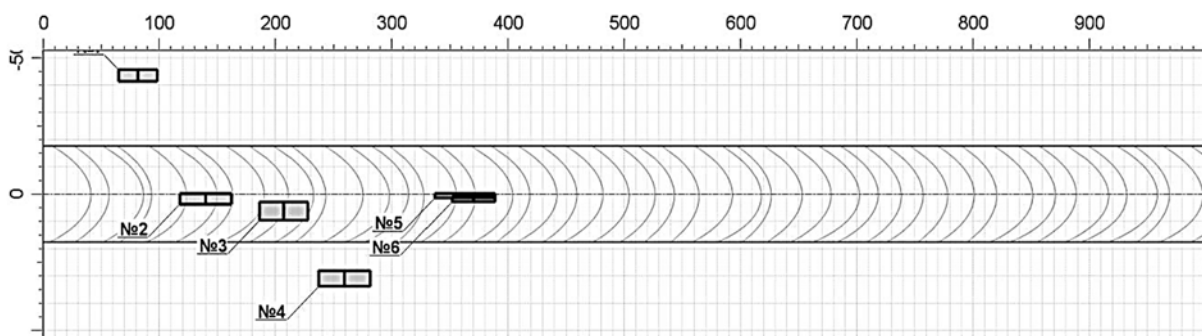


Рис. 2. Пример дефектограммы, выданной автоматически по результатам контроля настроечного образца

Потребовалось разработать и обосновать применение методики ультразвукового контроля. Представлены результаты разработки методики ультразвукового контроля угловых сварных швов приварки велдолета с наружным диаметром от 114 мм и более с толщиной от 10 до 55 мм к технологическим трубопроводам с наружным диаметром от 426 мм и более с толщиной стенки от 8 до 40 мм и результаты практического применения методики с использованием ручного дефектоскопа АВГУР-АРТ (на рис. 3 показана схема прозвучивания при двух положениях ФР по окружности относительно приваренного элемента). Особенность методики состоит в обязательной визуализации хода лучей при контроле по окружности приваренного элемента, в применении сложного настроечного образца и нескольких файлов настройки для каждого из секторов окружности. Таким образом, учтены изменения в геометрии «дна»

и кромки сплавления в зависимости от положения ФР. При проведении контроля были выявлены дефекты по границе сплавления с основным элементом. Дефекты были подтверждены выборкой и отремонтированы.

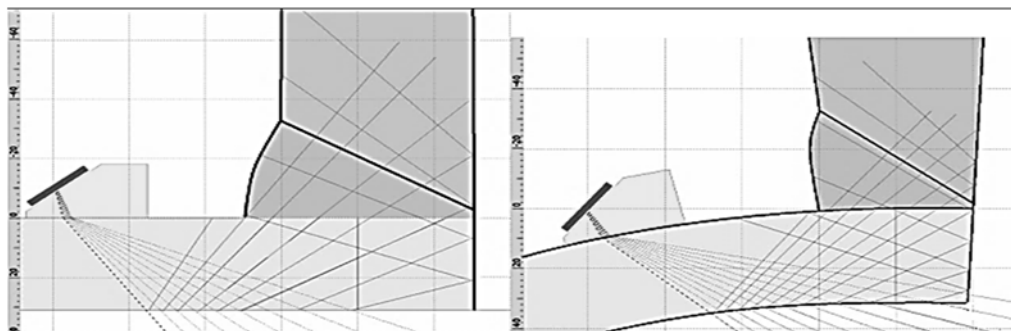


Рис. 3. Схемы прозвучивания углового шва приварки велдолета при вводе ультразвука со стороны основного элемента при двух положениях фазированной решетки

**Проведение ультразвукового контроля сварного шва из аустенитных материалов толщиной 300 мм.** При аттестации технологии сварки и изготовлении оборудования для испытания элементов вакуумной камеры ИТЭР поставлена задача проведения АУЗК толстостенных (до 300 мм) сварных соединений из нержавеющей материалов. Для решения задачи применена технология прореженных антенных решеток (ПРАР), которая предполагает использование небольшого числа (6–8) пьезоэлементов, расположенных в одном корпусе, сканирования с мелким (голографическим) шагом и последующей когерентной обработкой полученного при сканировании набора А-сканов [1]. В данном случае применялась ПРАР 6L1.8N30N45 с шестью элементами для ввода продольной волны с рабочей частотой 1,8 МГц. На рис. 4 показаны вид настроечного образца с БЦО по границам сплавления и схема контроля с применением ПРАР. ПРАР перемещался 597 раз с шагом 0,486 мм вдоль оси  $x$  и 48 раз с шагом 1,5 мм по оси  $y$ . Измерялись эхосигналы при излучении первым элементом ПРАР и приёмом шестью элементами (первый выстрел) и излучении шестым элементом ПРАР и приёмом шестью элементами (шестой выстрел).

Для перемещения ПРАР по объекту контроля использовался двухкоординатный прецизионный сканер СК426С с набором направляющих треков в соответствии со сложной геометрией объекта контроля [2]. Для сварных швов толщиной от 8 до 60 мм применялся более традиционный подход с использованием ФР на частоту 5 МГц с вводом поперечной и продольной волны. На рис. 5 показан пример восстановления изображения БЦО на оси сварного шва толщиной 300 мм, распределенных по глубине залегания. Контроль слева и справа от сварного шва. Видно, что отверстия выявляются с достаточным для анализа отношением сигнал/шум. Также можно отметить, как возрастает уровень структурных шумов при переходе через границу разделки. Разработанная методика прошла валидацию и применялась при контроле конечного изделия. На этапе аттестации сварщиков были выявлены дефекты типа непроваров в корне X-образного сварного соединения.

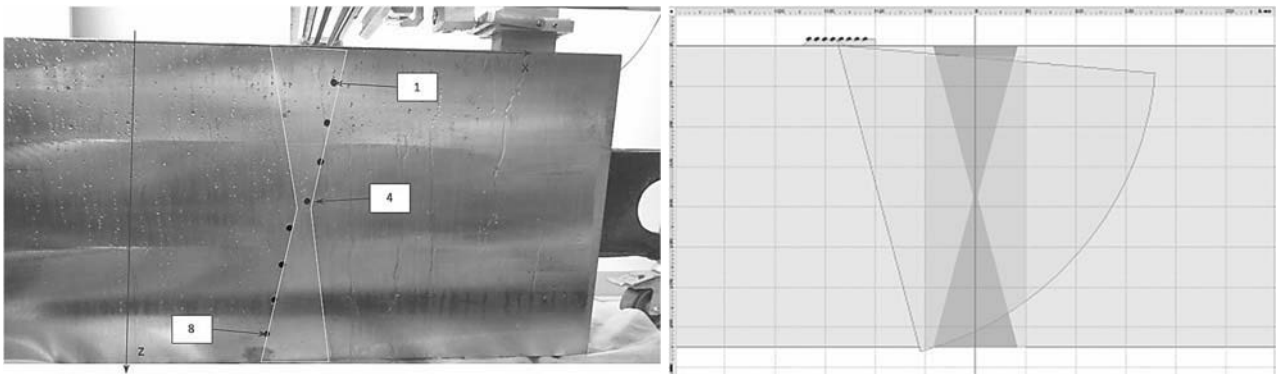


Рис. 4. Вид объекта контроля толщиной 300 мм (слева) и схема контроля с применением ПРАР

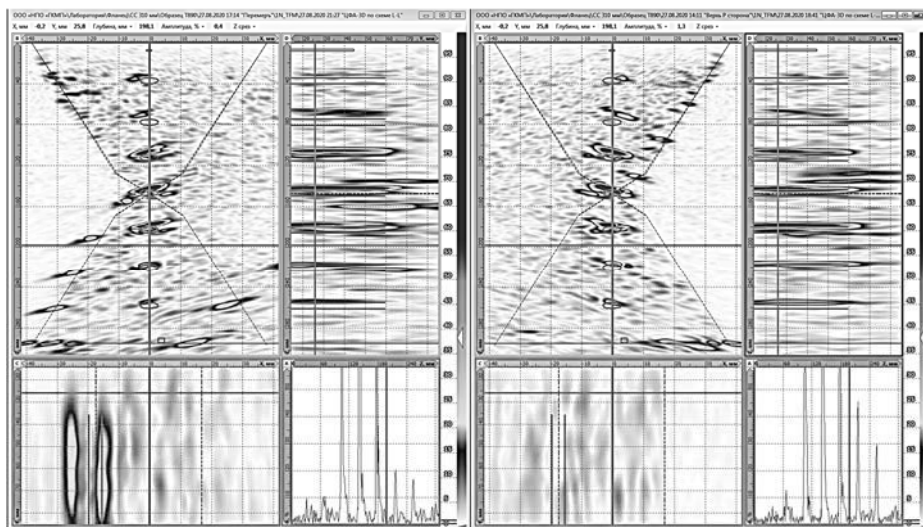


Рис. 5. Выявление БЦО на оси сварного шва в настроечном образце при контроле с двух сторон от сварного шва

**Выводы.** Современные российские решения в области автоматизированного и механизированного ультразвукового контроля с применением технологий ФАР, ЦФА, ПРАР, TOFD позволяют решать задачи выявления и определения параметров дефектов в сварных швах и основном материале, в том числе из аустенитных материалов, решать задачи контроля объектов со сложной геометрией (патрубки, внутренние проточки), а также задачи высокопроизводительного контроля магистральных трубопроводов.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Базулин, Е. Г. Повышение отношения сигнал/шум при проведении ультразвукового контроля ремонтных заварок с использованием технологии прореженных антенных решёток / Е. Г. Базулин, С. А. Коколев // Дефектоскопия. – 2013. – № 5. – С. 45–58.
2. Ультразвуковой контроль сварных соединений из нержавеющей стали стенда испытания порт-плаггов ИТЭР [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=MxC6irac6LY>. – Дата доступа: 21.07.2022.

E-mail: android@echoplus.ru.