

УДК 620.179.16
DOI: 10.14489/td.2022.07.pp.042-048

МЕХАНИЗИРОВАННЫЙ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОНТРОЛЬ ЗАХЛЕСТНЫХ СТЫКОВ МАГИСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДА ДЕФЕКТОСКОПОМ «АВГУР-АРТ»



А. Е. Базулин,
канд. техн. наук,
ООО «Научно-
производственный
центр «ЭХО+»,
Москва, Россия.
E-mail: android@echoplus.ru



А. В. Бутов,
ООО «Научно-
производственный
центр «ЭХО+»,
Москва, Россия.
E-mail: butov@echoplus.ru



Д. С. Тихонов,
д-р техн. наук,
ООО «Научно-
производственный
центр «ЭХО+»,
Москва, Россия.
E-mail: dtikh@echoplus.ru



С. В. Ромашкин,
канд. техн. наук,
ООО «Научно-
производственный
центр «ЭХО+»,
Москва, Россия.
E-mail: romashkin@
echoplus.ru



Статья поступила в редакцию 21.04.2022

Received 21.04.2022

Для проведения ультразвукового контроля захлестных стыков труб с толщиной стенки 41 мм и диаметром 48", соединяющих морской и береговой участки магистрального газопровода ООО «НПЦ «ЭХО+», была разработана процедура *механизированного ультразвукового контроля* (МУЗК) с применением:

- *фазированных решеток* (ФР) в соответствии с EN ISO 13588:2019 [1], уровень контроля С;
- дифракционно-временного метода TOFD в соответствии с EN ISO 10863:2020 [2], уровень контроля С;

Для проведения ультразвукового контроля захлестных стыков магистрального газопровода была разработана процедура механизированного ультразвукового контроля, соответствующая требованиям EN ISO 13588:2019, уровень контроля С и EN ISO 10863:2020, уровень контроля С. Контроль на поперечные дефекты проводился с использованием обычных пьезопреобразователей эхо-зеркальным методом и обработки фронтальным SAFT. Применение дефектоскопа «АВГУР-АРТ», сканера «ПАУК» и программного обеспечения ECHO-scan и «АВГУР-Анализ» продемонстрировало стабильное выявление имитаторов дефектов в настроенном образце, позволило провести анализ недостатков выполнения сварки на тренировочных стыках и успешно выполнить захлестные стыки магистрального газопровода.

Ключевые слова: фронтальный SAFT, фазированная антенная решетка, TOFD, поперечные дефекты.

A. E. Bazulin, A. V. Butov, D. S. Tikhonov, S. V. Romashkin
(LLC Research and Production Center "ECHO+", Moscow, Russia)

MECHANIZED ULTRASONIC INSPECTION OF TIEIN WELDS OF THE MAIN GAS PIPELINE WITH AN AUGUR-ART FLAW DETECTOR

To perform ultrasonic testing of golden joints of the main gas pipeline, a procedure for mechanized ultrasonic testing was developed. The procedure complied with the requirements of EN ISO 13588:2019 inspection level C and EN ISO 10863:2020 inspection level C. Testing for transverse defects was carried out using conventional piezoelectric transducers using the echo-mirror method and frontal SAFT processing. The use of the AUGUR-ART flaw detector, the SPIDER scanner and the ECHO-scan and AUGUR-Analysis software demonstrated stable detection of defect simulators in the reference block. All this made it possible to analyze the shortcomings of welding at training joints and successfully perform golden joints of the main gas pipeline.

Keywords: frontal SAFT, phased array, TOFD, transverse defects.

– контроля на поперечные дефекты (образец EN ISO 13588:2019, уровень контроля С).

Критерии оценки дефектов приняты согласно ГОСТ Р 54382–2011 [3] (является идентичным норвежскому стандарту DNV-OS-F101-2000 [4]), п. D8.3, табл. D5). Эталонный уровень чувствительности устанавливается по боковому отверстию диаметром 3 мм.

Разработанная процедура МУЗК была одобрена заказчиком и применялась при контроле тренировочных стыков, аттестации технологии сварки, контроле допускных стыков сварщиков и захлестных

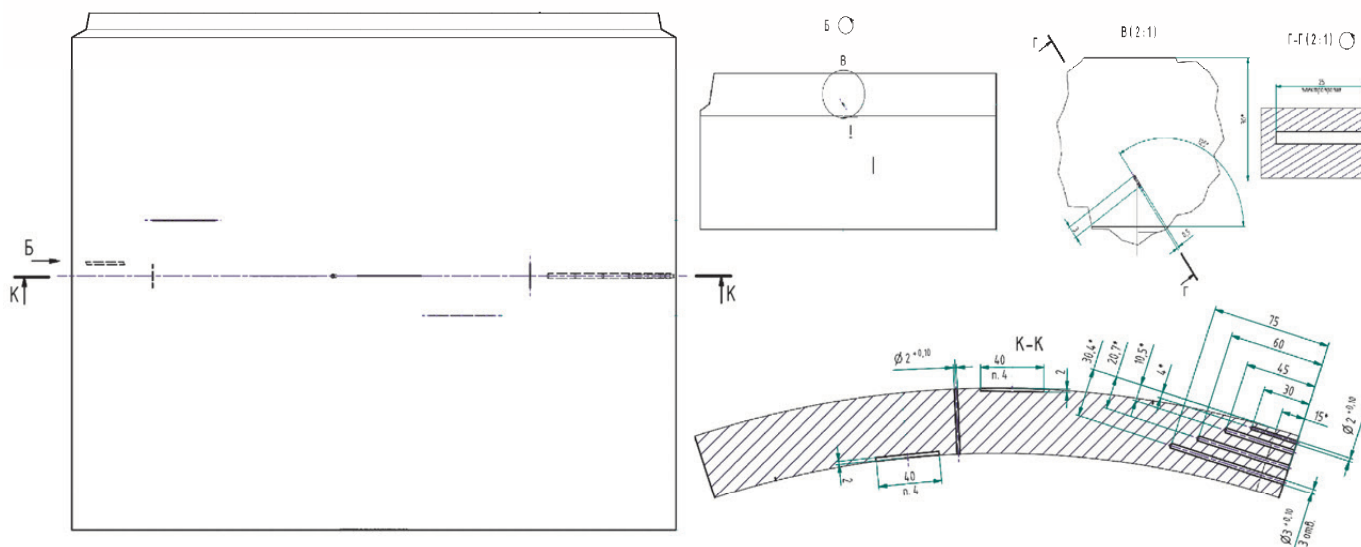


Рис. 1. Настроечный образец 48×41-NS2-15 с обозначением отражателей

стыков. Контроль проводили с помощью дефектоскопа ультразвукового многоканального «АВГУР-АРТ» 64×64 производства ООО «НПЦ «ЭХО+», работающего под управлением компьютера на базе промышленного ноутбука. Сбор данных осуществляли с применением программного обеспечения ECHO-scan, анализ данных – с помощью программного обеспечения «АВГУР-Анализ», разработанного ООО «НПЦ «ЭХО+».

Согласно требованиям заданного проекта уровня контроля С, перед началом и по окончании контроля стыка следовало выполнить подтверждение настроек сканированием настроечного образца.

На рис. 1 приведен эскиз настроечного образца 48×41-NS2-15, изготовленного из материала объекта контроля – фрагмента трубы в соответствии с EN ISO 13588:2019, уровень контроля С.

Для настройки параметров контроля ФР используются боковые сверления диаметром 3 мм $D_1 - D_3$. При проверке настройки контроля ФР используются боковые сверления $D_0 - D_3$ и пазы 1 - 5. Для настройки и проверки каналов TOFD в соответствии с EN ISO 10863:2020 используются боковые отверстия $D_1 - D_3$ и пазы 4 и 5. Для настройки контроля на поперечные дефекты используются поперечные пазы 6, 7 и отверстие 8.

Указанный образец был установлен на стапеле – фрагменте трубы диаметром 1220 мм.

Так же были изготовлены настроечные образцы для ручного ультразвукового контроля. Ручной ультразвуковой контроль применялся для выявления возможных расслоений в стенке трубы перед сваркой и дополнительно к механизированному контролю стыка в местах пересечения продольных швов труб с кольцевыми швами.

При проверке скорости ультразвука в материале трубы был изготовлен специальный образец по ГОСТ Р 54382–2011, приложение G, и на нем проведены измерения скорости звука на продольных и поперечных волнах перпендикулярно поверхности трубы (угол ввода 0° при контроле стыка), параллельно поверхности трубы (угол ввода 90° при контроле стыка), а также под углом 20° к перпендикуляру к поверхности трубы (угол ввода 70° при контроле стыка), результаты измерений сведены в таблицу.

Измерения скорости звука в образце ГОСТ Р 54382–2011, приложение G

Тип волны, угол ввода, направление поляризации	Скорость, мм/мкс
Продольные волны:	
угол ввода 90°	5,96
угол ввода 0°	5,90
угол ввода 70°	5,92
Поперечные волны, угол ввода 90°, поляризация:	
перпендикулярно поверхности трубы	3,32
параллельно поверхности трубы*	3,10
Поперечные волны, угол ввода 0°, поляризация:	
по оси трубы	3,36
по окружности трубы*	3,13
Поперечные волны, угол ввода 70°, поляризация:	
перпендикулярно поверхности трубы	3,24
параллельно поверхности трубы*	3,08

* Направление поляризации не используется при контроле ФР.

При настройке дефектоскопа с ФР скорость поперечных волн в объекте контроля принималась равной 3,30 мм/мкс, что обеспечивало минимальную ошибку при определении глубины залегания отражателя, но приводило к искажениям в положении отражателя относительно преобразователя, как показано на рис. 2 (положение отражателей 2, 4, $D_0 - D_3$ смещено относительно осевой линии).

МУЗК выполняли с применением следующих преобразователей и призм:

- фазированные решетки, частота 5 МГц, 32 активных элемента, расстояние между центрами элементов 1 мм (2 шт.);
- призма для фазированной решетки с углом ввода в сталь 52° (2 шт.);
- преобразователи TOFD, частота 5 МГц, диаметр пластины 3 мм (первая пара) и 6 мм (вторая пара);

– призмы преобразователей TOFD с углом ввода 50 и 70° ;

– одноэлементные преобразователи с частотой 2,5 МГц, диаметром пластины 12 мм, углом ввода 45° (одна пара) и 65° (вторая пара).

Контроль методом ФР проводили в два прохода:

- максимально близко к шву, чтобы максимизировать зону контроля на прямом луче;
- на таком расстоянии от шва, чтобы на однократно отраженном луче проконтролировать край зоны термического влияния на стороне расположения ФР.

Таким образом, большая часть сечения шва контролировалась дважды с изменением направления прозвучивания на $10...15^\circ$, что способствовало лучшему выявлению возможных плоскостных дефектов. Секторы сканирования первого и второго проходов показаны на рис. 2.

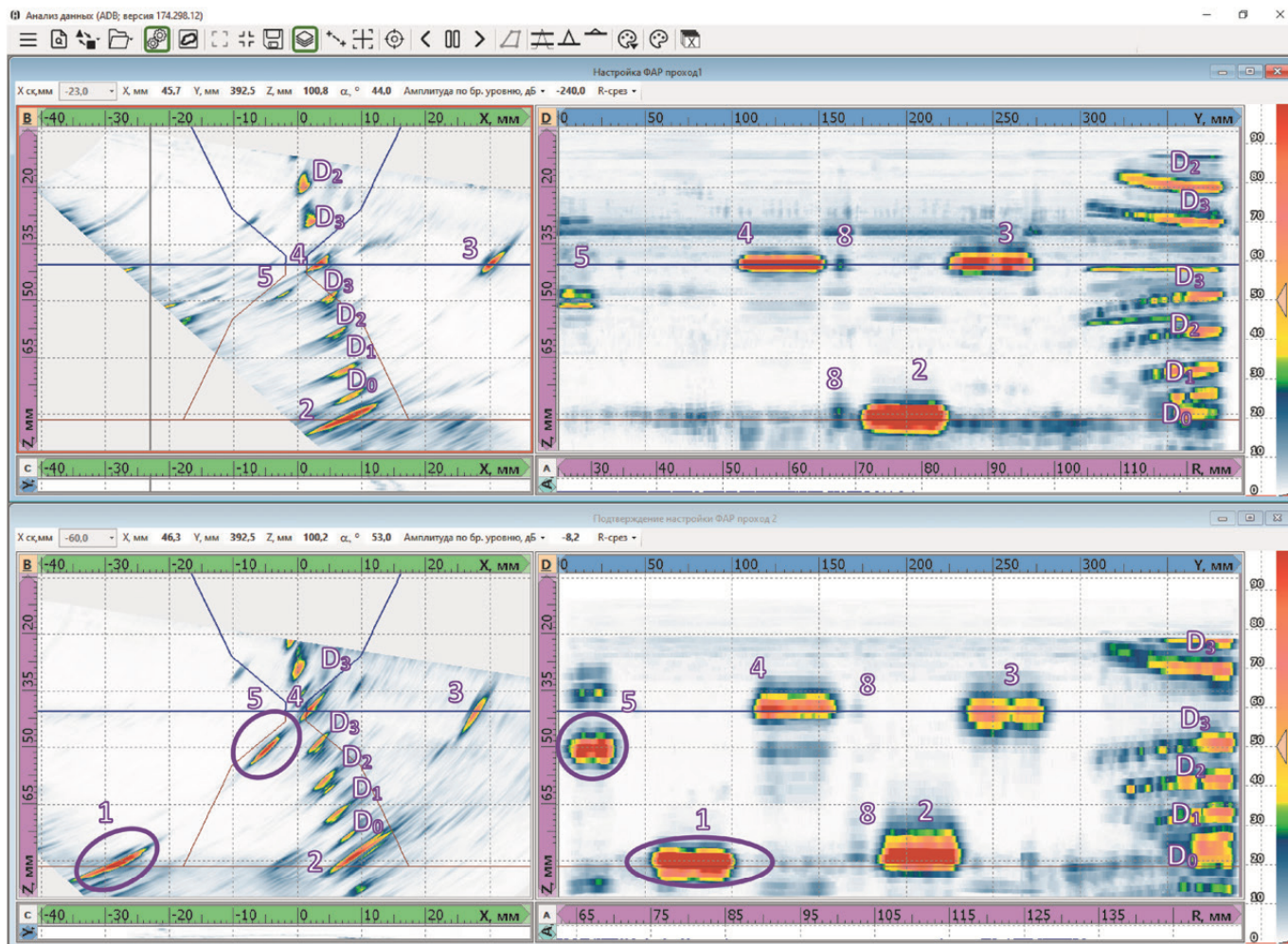


Рис. 2. Сканирование настроечного образца при двух положениях ФР: сверху – первый проход; внизу – второй проход. Показаны сложные по максимуму В- и D-виды и эскиз разделки сварного соединения, в том числе с отражением от дна. Около индикаций указаны номера отражателей (нумерацию см. рис. 1). Овалами отмечены изображения паза вдоль линии разделки и положение паза на границе зоны термического влияния, выявляемые на втором проходе сканера

Для обоих проходов ФР применяли единую настройку фокусировки и чувствительности. Фокусировка по равному смещению относительно переднего края призмы ФР позволяла на первом проходе расположить область фокусировки вблизи линии разделки противоположной стороны шва, при втором – вблизи линии разделки «своей стороны» шва. Настройку чувствительности в области скана выполняли при сканировании и выравнивании амплитуд отражателей во всем диапазоне скана на боковых отверстиях $D_1 - D_3$ на прямом и отраженном лучах.

К областям пересечений с продольными швами трубы предъявлялись более жесткие требования по отсутствию индикаций от дефектов, поэтому важно было точно определить границы области пересечения с продольным швом. Для обозначения положения продольных швов и слежения за акустическим контактом на фазированной решетке задавался скан с углом ввода продольной волны $-5...+5^\circ$, на котором при втором проходе по изображению дна отслеживался внутренний валик продольного шва.

Для контроля методом TOFD использовали две пары преобразователей с частотой 5 МГц:

- первый канал: диаметр пьезоэлемента 3 мм, призмы с углом ввода 70° устанавливали максимально близко к шву, для контроля верхней части шва;

- второй канал: диаметр пьезоэлемента 6 мм, призмы с углом ввода 55° , для контроля нижней части шва.

Применение двух каналов позволило расположить призмы TOFD близко к шву и получить хорошее качество изображения отражателей (рис. 3).

Для контроля на поперечные дефекты использовали две пары наклонных ПЭП, работающих на поперечной волне, оси которых были повернуты на 30° относительно направления поперек шва. Угол ввода ПЭП (65 и 45°) и расстояние между ними подбирали так, чтобы на оси шва:

- у первой пары ПЭП с углом ввода 65° прямые лучи пересекались на внутренней поверхности;
- у второй пары ПЭП с углом ввода 45° однократно отраженные лучи пересекались на наружной поверхности.

Пары ПЭП для контроля на поперечные дефекты, как и при контроле методом TOFD, использовались в раздельном режиме, А-сканы записывались по технологии TOFD. Для получения максимально короткого импульса от отражателя использовали ПЭП производства ООО «НПЦ «ЭХО+», обладающие при номинальной частоте 2,5 МГц длительностью импульса не более 1,4 мкс, сопоставимой с длительностью импульса аналогичных ПЭП TOFD такой же частоты.

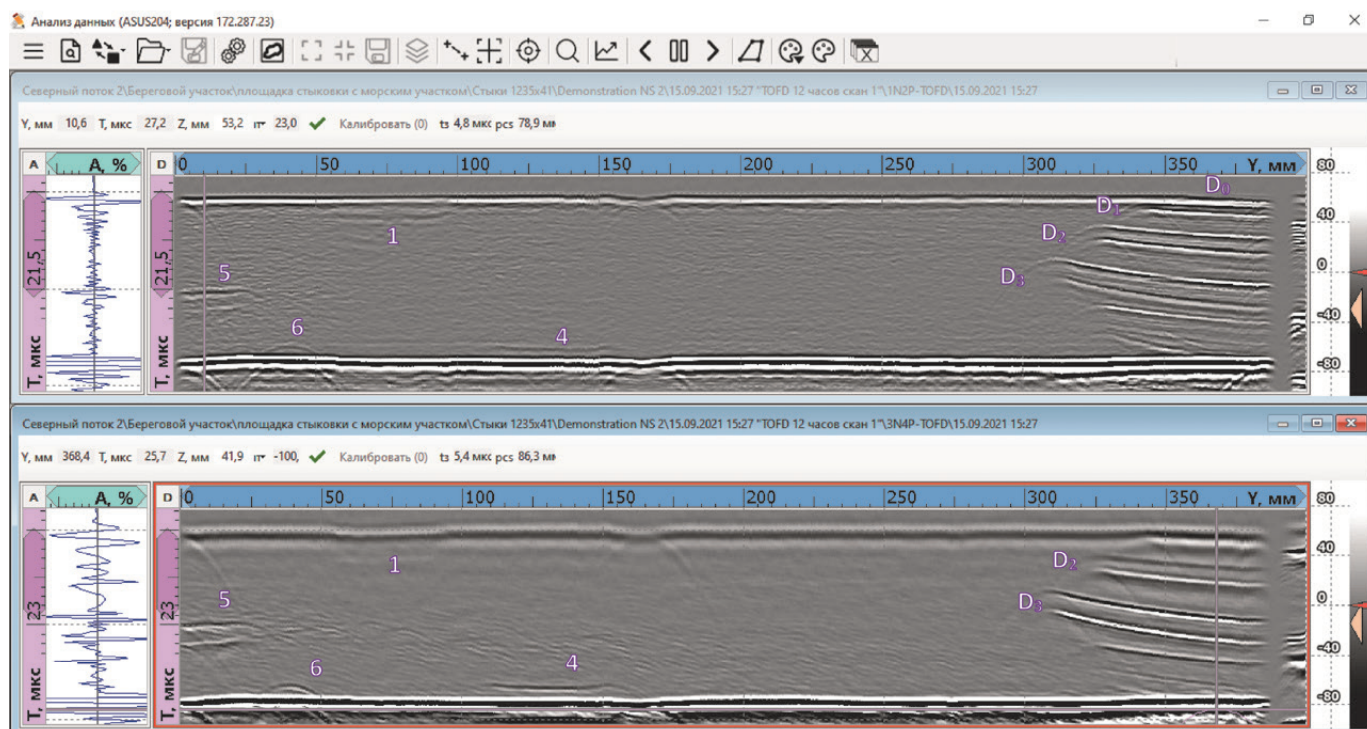


Рис. 3. Сигналы каналов TOFD при сканировании настроечного образца:
 вверху – первый канал для контроля верхней части шва; внизу – второй канал для контроля нижней части шва. Около индикаций указаны номера отражателей (нумерацию см. рис. 1)

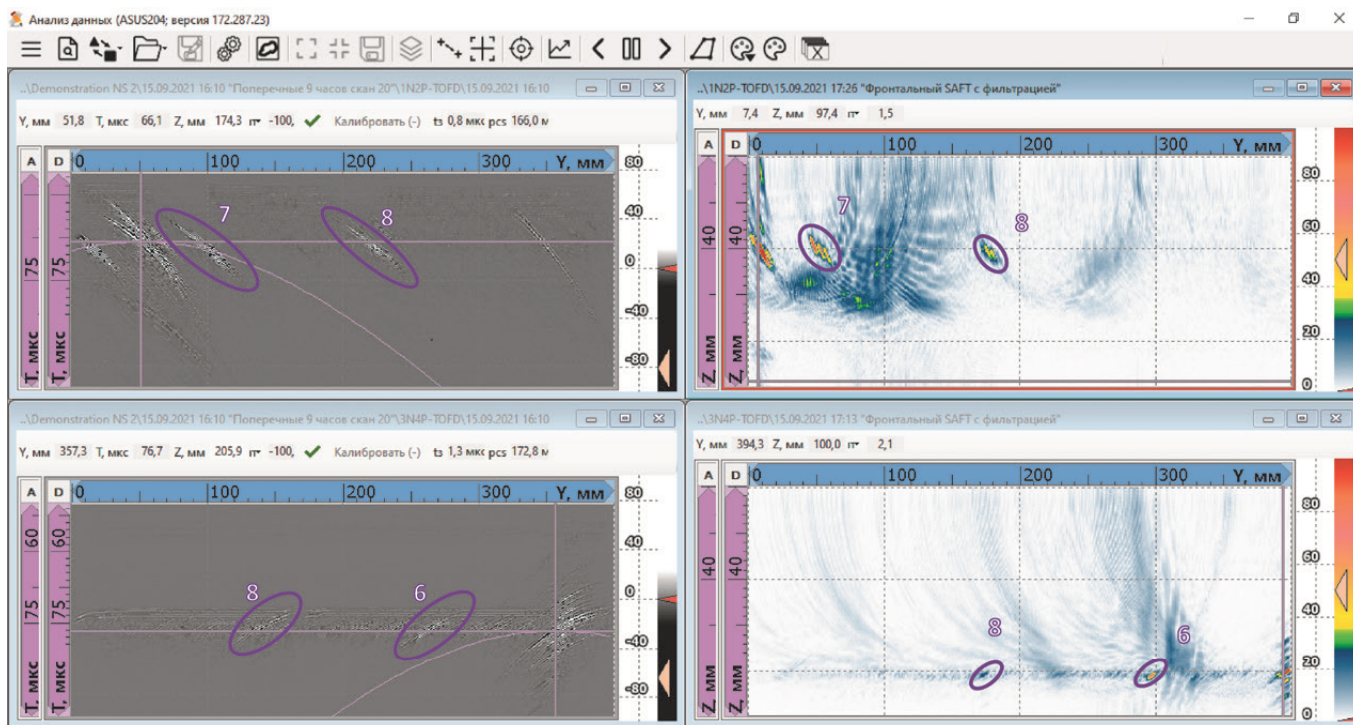


Рис. 4. Сигналы (слева) и результаты обработки по алгоритму Фронтальный SAFT (справа) контроля на поперечные дефекты:

около индикаций, обведенных овалами, указаны номера отражателей (нумерацию см. рис. 1), курсоры установлены на изображении торцов настроечного образца

Полученные D-сканы, аналогичные сканам TOFD, обрабатывали по алгоритму Фронтальный SAFT [5], позволяющему получить изображение отражателя в координатах глубины и положения на шве, а не времени прихода импульса и положения ПЭП при приеме сигнала. Пример исходных D-сканов и их обработки представлен на рис. 4.

На исходных D-сканах сигнал отражателя образует наклонные индикации протяженностью в десятки шагов сканирования. При обработке с помощью алгоритма Фронтальный SAFT индикации приобретают компактный вид, их положение на шве определяется с точностью до пары шагов сканирования (порядка 2 мм).

Поскольку схема расположения ПЭП не является симметричной относительно положения на шве (ПЭП могут быть повернуты «вперед» или «назад» по направлению отсчета координаты шва), то контроль на поперечные дефекты проводили в два приема: один в обычном положении сканера, второй – при развороте на 180° относительно первоначального положения.

Для сканирования использовали сканер модели «ПАУК» – моторизованный однокоординатный сканер на магнитных колесах производства ООО «НПЦ «ЭХО+». Точность положения сканера относительно оси шва обеспечивалась треком, установ-

ливаемым непосредственно на сварной шов. Поскольку методы ФР и метод контроля на поперечные дефекты требовали выполнения двух проходов, было принято решение проводить контроль каждым из методов отдельно. Вид сканера, оснащенного ФР, ПЭП TOFD и ПЭП для контроля на поперечные дефекты, представлен на рис. 5.

Перед выполнением контроля допускных и захлестных стыков в присутствии специалистов заказчика каждый раз работу системы механизированного ультразвукового контроля проверяли путем многократного выявления искусственных дефектов на настроечном образце. Проведение демонстрации работы системы соответствует требованиям пункта 11 стандарта ISO13588:2019 в отношении объема валидации процедуры. Контроль осуществляли каждым из трех методов контроля, по пять сканирований при каждом из четырех положений образца (12, 3, 6, 9 часов), всего 60 сканирований. Кроме того, демонстрация включала контроль двух полноразмерных стыков, выполненных для тренировки сварщиков.

В результате проведенных демонстраций система ультразвукового контроля на основе дефектоскопа «АВГУР-АРТ» подтвердила соответствие следующим требованиям (обозначение отражателей см. рис. 1):

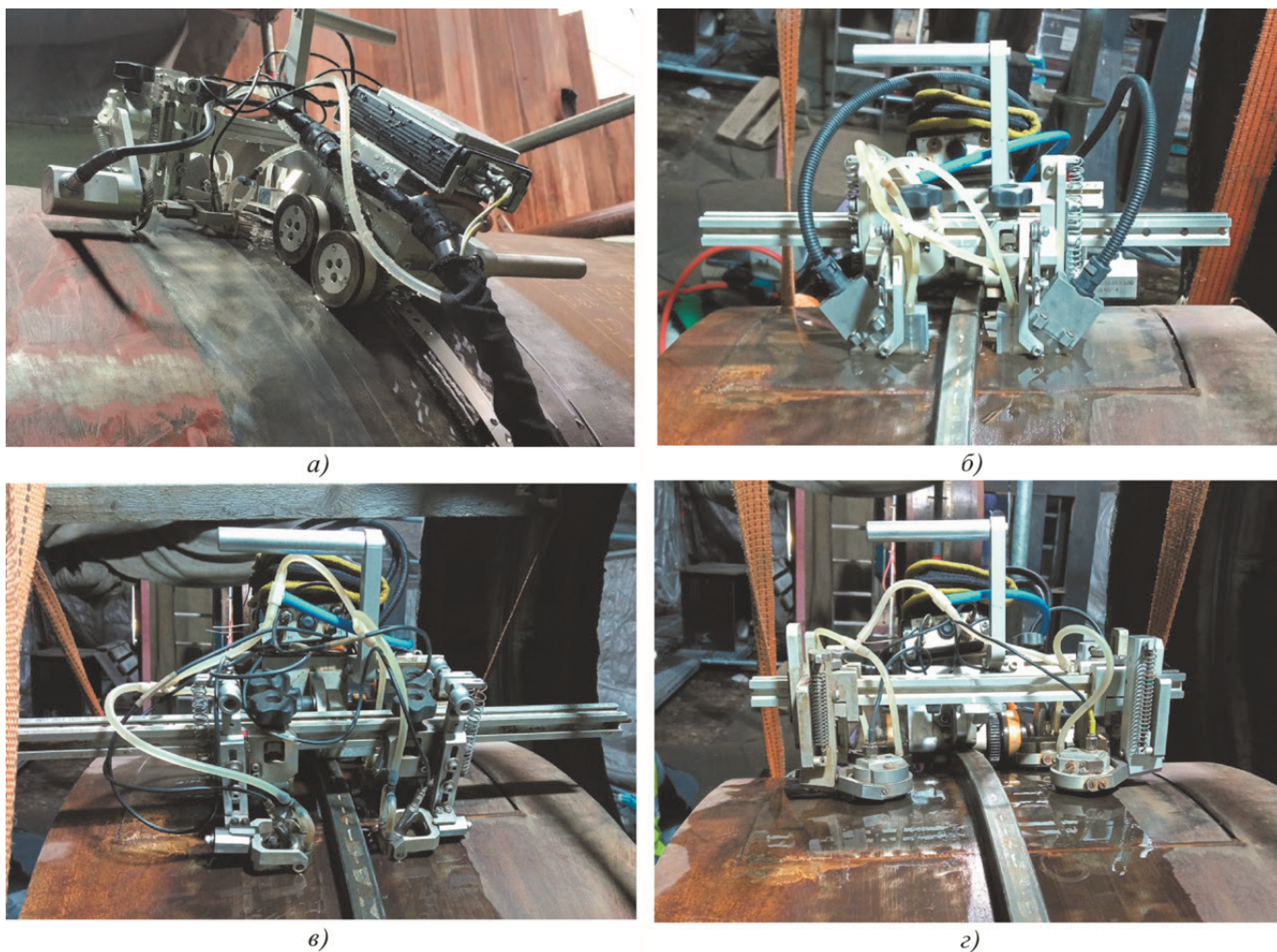


Рис. 5. Сканер модели «ПАУК»:

a – общий вид сканера на сварном шве; *б* – сканер с ФР; *в* – сканер с ПЭП TOFD; *г* – сканер с ПЭП для контроля на поперечные дефекты

– для ФР-каналов максимальная амплитуда изображения боковых отверстий $D_1 - D_3$, попадающих в сектор контроля на прямом или однократно отраженном луче, отличалась не более ± 2 дБ от заданного стандартного уровня 80 % высоты экрана;

– попадающие в сектор контроля пазы 1 – 4 выявлены на всех сканах ФР и имеют максимальную амплитуду выше опорного уровня 80 %;

– для TOFD-каналов боковые отверстия $D_1 - D_3$ и пазы 4, 5 выявлены и имеют глубину и длину в соответствии с их размерами на настроечном образце;

– для метода контроля на поперечные дефекты выявлены пазы 6, 7 и края сквозного отверстия 8, индикации от них имеют глубину в соответствии с толщиной настроечного образца, а максимальная амплитуда пазов 6, 7 отличается не более ± 2 дБ от уровня 80 % высоты экрана.

Применение описанной процедуры механизированного контроля, использующей три различных метода выявления дефектов, позволило на тренировочных стыках провести анализ недостатков выполнения сварки и проконтролировать устранение этих недостатков, осуществить в установленные сроки аттестацию технологии сварки, сварку допусковых стыков сварщиков и успешно выполнить контроль захлестных стыков магистрального газопровода с оценкой «годен».

Библиографический список

1. EN ISO 13588:2019. Non-Destructive Testing of Welds. Ultrasonic testing. Use of Automated Phased Array Technology, 2019.
2. EN ISO 10863:2020. Non-Destructive Testing of Welds. Ultrasonic Testing. Use of Time-of-Flight Diffraction Technique (TOFD), 2020.
3. ГОСТ Р 54382–2011. Национальный стандарт Российской Федерации. Нефтяная и газовая

ность. Подводные трубопроводные системы. Общие технические требования. М.: Стандартинформ, 2012.

4. **DNV-OS-F101-2000.** Submarine Pipeline Systems / Det Norske Veritas. Høvik, Norway, 2000.

5. **Базулин А. Е., Бутов А. В., Тихонов Д. С. и др.** Применение технологии TOFD в разработках ООО «НПЦ «ЭХО+» // Контроль. Диагностика. 2020. Т. 23, № 5. С. 28 – 37.

References

1. Non-Destructive Testing of Welds. Ultrasonic testing. Use of Automated Phased Array Technology. (2019). *International Standard No. EN ISO 13588:2019.*

2. Non-Destructive Testing of Welds. Ultrasonic Testing. Use of Time-of-Flight Diffraction Technique (TOFD). (2020). *International Standard No. EN ISO 10863:2020.*

3. National standard of the Russian Federation. Oil and gas industry. Subsea pipeline systems. General technical requirements. (2012). *Ru Standard No. GOST R 54382–2011.* Moscow: Standartinform. [in Russian language]

4. Submarine Pipeline Systems. Det Norske Veritas. (2000). *Offshore Standard No. DNV-OS-F101-2000.* Høvik.

5. Bazulin A. E., Butov A. V., Tikhonov D. S. et al. (2020). Using of Tofd Technology in the Development of SPC “Echo+”. *Kontrol'. Diagnostika, Vol. 23, (5), pp. 28 – 37.* [in Russian language] DOI: 10.14489/td.2020.05.pp.028-037

Для цитирования статьи:

Базулин А. Е., Бутов А. В., Тихонов Д. С., Ромашкин С. В. Механизированный ультразвуковой контроль захлестных стыков магистрального газопровода дефектоскопом «АВГУР-АРТ» // Контроль. Диагностика. 2022. Т. 25, № 7. С. 42 – 48. DOI: 10.14489/td.2022.07.pp.042-048

Bazulin A. E., Butov A. V., Tikhonov D. S., Romashkin S. V. (2022). Mechanized ultrasonic inspection of overlapping joints of the main gas pipeline with the flaw detector "AVGUR-ART". *Kontrol'. Diagnostika, Vol. 25, (7), pp. 42 – 48.* [in Russian language]. DOI: 10.14489/td.2022.07.pp.042-048



Спектр
Издательский дом

www.idspektr.ru



УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ДЕФЕКТОМЕТРИЯ. 30 ЛЕТ Юбилейный сборник трудов ООО «НПЦ «ЭХО+»

ISBN 978-5-4442-0151-0. Издательский дом «Спектр», 2020 г., 216 с.

В сборник включены наиболее интересные работы, выполненные коллективом «НПЦ «ЭХО+» за последние годы. Одновременно с развитием и использованием автоматизированных ультразвуковых систем с когерентной обработкой данных, представлены работы, посвященные исследованию, разработке и применению приборов с фазированными антенными решетками. Описана новая электроника, сканирующие системы, алгоритмы улучшения качества изображений. Рассмотрены основные принципы построения методик контроля с использованием таких систем. Исследован вопрос о соотношении радиографии и ультразвука в неразрушающем контроле. Показано, что когерентный АУЗК в ряде случаев дает результаты не хуже, а в комплексе лучше, чем радиография. Приведены примеры применения средств визуализации данных и автоматизации ультразвукового контроля. Представлен новый ручной ультразвуковой дефектоскоп АВГУР-АРТ, реализующий все современные и востребованные наработки.

Приведен опыт применения программы компьютерного моделирования задач УЗК CIVA для разработки методик ультразвукового контроля.

Сборник трудов **БЕСПЛАТНО** можно получить в офисе Издательского дома «Спектр».
Стоимость отправки почтой уточняйте в отделе реализации.

Адрес офиса: 119048, Москва, ул. Усачева, д. 35, стр. 1
Телефон отдела реализации: (495) 5142634. Email: zakaz@idspektr.ru
Дополнительный телефон офиса: (926) 6151716