

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

На правах рукописи

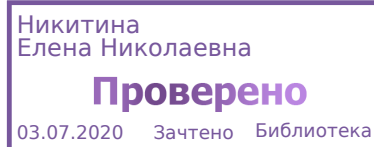
Абрамова Анастасия Юрьевна

**Особенности проведения ультразвукового контроля  
дефектоскопом на фазированных решетках на объектах  
подведомственных Ростехнадзору**

Направление подготовки  
15.04.01 – «Машиностроение»

АВТОРЕФЕРАТ  
МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ

2020



Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Комсомольском-на-Амуре государственном университете», компания ООО «ТехСтандарт».

Научный руководитель:

Свиридов Андрей Владимирович  
кандидат технических наук, доцент  
кафедры «Технология сварочного и металлургического производства»  
ФГБОУ ВО «Комсомольского-на-Амуре государственного университета»

Рецензент:

Жилин Сергей Геннадьевич, кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, ИМиМ ДВО РАН, г. Комсомольск-на-Амуре

Защита состоится «02» июля 2020 г. в 9:30 часов на заседании государственной аттестационной комиссии по направлению подготовки 15.04.01 «Машиностроение» в Комсомольском-на-Амуре государственном университете по адресу: Россия, 681013, Хабаровский край, г. Комсомольск-на-Амуре, проспект Ленина, 27, учебный корпус 2, аудитория 221.

С диссертацией можно ознакомиться на кафедре «Машиностроение и металлургия» ФГБОУ ВО «КНАГУ».

Автореферат разослан 25 июня 2020 г.

Секретарь ГЭК  
к.т.н., доцент

А.В. Свиридов

## Общая характеристика работы

Актуальность работы. Ультразвуковой контроль фазированными решетками (ФР) имеет преимущества перед традиционным ультразвуковым контролем, он более улучшенный и сложный по сравнению с традиционным ультразвуковым контролем, в котором применяется одноэлементный преобразователь, можно изменять угол наклона луча и фокусировку. Различные углы ввода управляемого многоэлементного датчика увеличивают вероятность обнаружения дефектов. Регулируемая геометрия эхо-сигналов минимизирует ложные индикации.

Фазированные решетки позволяют обследовать геометрически сложные детали без необходимости перемещения объекта или датчика. Быстрое получение реальных изображений положения и размеров обнаруженных дефектов.

Фазированные решетки — инструмент, позволяющий экономить ваше время и деньги за счёт быстрого и точного контроля, благодаря фазированной решетке контроль осуществляется намного быстрее и проще.

Одним из главных препятствий, сдерживающих повсеместное внедрение фазированных решеток, является отсутствие нормативной документации, регламентирующей применение ультразвукового контроля на фазированных решетках, вследствие чего многие предприятия не могут использовать данный метод контроля. Также к недостаткам можно отнести относительно высокую стоимость прибора и необходимость проведения контроля квалифицированным оператором.

Таким образом, актуальным направлением исследования является повышение эффективности ультразвукового контроля с использованием фазированных решеток.

Цель и задачи работы. Цель данной работы является изучение методологии и технологии ультразвукового контроля с применением дефектоскопа с фазированными решетками, повышающих информативность результатов.

Для достижения поставленной цели в диссертационной работе решались следующие задачи:

- исследование ультразвукового метода с применением фазированной решетки;

- определение выявленных дефектов с помощью ультразвукового дефектоскопа с применением фазированной решетки.

На защиту выносятся следующие положения:

- результаты исследования метода ультразвукового контроля на фазированных решетках;

- получение и обработка данных с дефектоскопа A1550 Intro Visor, полученных на объектах подведомственных Ростехнадзору.

Научная новизна. Изучены главные особенности проведения ультразвукового контроля на фазированных решетках.

Выявлены главные преимущества и недостатки перед традиционным ультразвуковым контролем.

Определены факторы, сдерживающие повсеместное внедрение ФР.

Практическая значимость работы. Предложен способ проведения контроля, позволяющий эффективно определить характер и размеры дефекта, благодаря визуализации понять какой именно дефект в металле или однородных изотропных мелкоструктурных неметаллов, например, полиэтилен, полипропилен, полистирол.

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано 1 печатная работа.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав, основных выводов, списка литературы. Содержит 86 листов машинописного текста, 5 таблиц и 49 рисунков.

### **Основное содержание работы**

Во введении определена актуальность темы, научная новизна, задачи исследований, изложены основные положения, выносимые на защиту и практическая значимость работы.

В первой главе изучена сущность метода контроля фазированными решетками, что позволило выявить ряд проблем, связанных с использованием традиционного ультразвукового метода контроля.

Проведенный анализ патентных и литературных источников, касающихся совершенствования и развития технологии фазированной решетки, показал, что:

- основным достоинством ультразвукового контроля на фазированных решетках является: рекомендации отечественных стандартов по проведению ультразвукового контроля сварных соединений не всегда позволяют достоверно выявлять дефекты с произвольной ориентацией, в отличие от датчика с фазированной решеткой, который обеспечивает надежность контроля;
- изучена технология успешного использования ультразвукового контроля с применением фазированных решеток на полиэтиленовых трубах;
- проанализированы преимущества использования применения 32-канальной решетки для проведения достоверного контроля.

Во второй главе приведено описание ультразвукового дефектоскопа A1550 IntroVisor (рисунок 1) с цифровыми фокусирующими антенными решетками и томографической обработкой данных для контроля металлов и пластмасс при этом было исследовано:

- режимы работы прибора A1550 IntroVisor, а также параметры настройки и рабочей конфигурации;
- рассмотрены технические характеристики, заявленные производителем дефектоскопа-томографа A1550 IntroVisor, описан состав и устройство прибора, указаны калибровочные образы для A1550 IntroVisor (таблица 1).



Рисунок 1 – Дефектоскоп A1550 IntroVisor

Таблица 1 – Технические характеристики, заявленные производителем дефектоскопа-томографа A1550 IntroVisor

Параметр	Значение
Диапазон устанавливаемых скоростей ультразвука, м/с	1 000 – 10 000
Рабочие частоты преобразователей, МГц	1 – 10
Отклонение рабочих частот от номинальных, %	± 10
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерения глубины дефекта Н с прямым преобразователем, мм	±(0,01Н+0,2)
Диапазоны измерения координат дефекта (по стали) наклонным преобразователем 65°:	
- глубины Н, мм	3 - 1300
- дальности по поверхности L, мм	5 - 2800
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерения координат дефекта с наклонным преобразователем 65°:	
Отклонение рабочих частот от номинальных, мм	±(0,03Н+1)
- дальности по поверхности L, мм	±(0,03L+1)
Диапазоны измерения координат дефекта (по стали) с наклонным преобразователем 70°:	
- глубины Н, мм	3 - 500
- дальности по поверхности L, мм	7 - 1400
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерения координат дефекта с наклонным преобразователем 70°:	
- глубины Н, мм	±(0,03Н+1)
- дальности по поверхности L, мм	±(0,03L+1)
Диапазон перестройки калиброванного усилителя, дБ	0 - 100
Пределы допускаемой основной абсолютной погрешности измерения отношений амплитуд сигналов на входе приемника, дБ	± 0,5
Источник питания	Аккумуляторный блок
Номинальное значение напряжения аккумуляторного блока, В	11,2
Время непрерывной работы от аккумуляторного блока при	8

Параметр	Значение
нормальных климатических условиях, не менее, ч	
Габаритные размеры электронного блока, не более, мм	260×165×85
Масса электронного блока, не более, кг	1,9
Средняя наработка на отказ, ч	30 000
Средний срок службы, не менее, лет	8
Условия эксплуатации:	
- температура воздуха, °С	от -10 до +55
- относительная влажность воздуха при температуре плюс 35 °С, не выше, %	95

Полный комплект оборудования ультразвукового дефектоскопа A1550 IntroVisor включает в себя электронный блок прибора, антенные решетки, ультразвуковые преобразователи, кабели, калибровочные образцы, устройства сканирования с датчиками пути, блок сетевого питания, уложенные в чемодан.

На лицевой панели расположен дисплей и клавиатура управления прибором. Справа на боковой стенке корпуса расположены разъёмы для подключения антенных решеток и ультразвуковых преобразователей.

В комплект A1550 IntroVisor входят две наклонные цифروفкусируемые антенные решетки - M9065 и мини антенная решетка M9170. А также два дополнительных, запасных акустических модуля для этих двух решеток.

Третья глава проведен сравнительный анализ двух методов ультразвукового контроля, выявлены недостатки и преимущества технологии фазированных решеток:

1) *скорость*. Фазированные решетки позволяют использовать электронное сканирование, которое обычно на порядок быстрее традиционного механического сканирования;

2) *гибкость*. Одиночная фазированная решетка может решать широкий спектр задач в отличие от традиционного преобразователя;

3) *электронная настройка*. Настройка осуществляется просто путем загрузки файла конфигурации, который подготовлен заранее;

4) *малые размеры преобразователя*. В некоторых задачах самым важным аспектом является ограниченный доступ. В этом случае одна малогабаритная фазированная решетка успешно заменяет комплект обычных одноэлементных преобразователей;

5) *сложные объекты контроля*. С помощью специальных программ фазированными решетками можно контролировать компоненты со сложной геометрией. Кроме того, фазированные решетки очень просто реализуют сложные схемы контроля, например «тандем», TOFD, методы с преобразованием моды, зонную дискриминацию;

6) *достоверное обнаружение дефекта*. Фазированные решетки благодаря фокусировке луча позволяют обнаруживать дефекты с повышенным соотношением сигнал-шум. Благодаря использованию S-скана повышается вероятность обнаружения дефекта;

7) *получение изображения.* Фазированные решетки предлагают уникальную возможность получать изображения в виде S-скана, на котором анализировать информацию существенно проще.

Представлены изображения в виде двумерного изображения-разреза скорректированным S-сканом или S-сканом с действительной глубиной, который дает следующие преимущества:

- 1) получение изображения в реальном времени при сканировании;
- 2) представление действительного расположения отражателей;
- 3) двумерная объемная реконструкция структуры.

Описаны основные ограничения и перспективы развития фазированных решеток, а также способы их преодоления, применяемые в Olympus NDT.

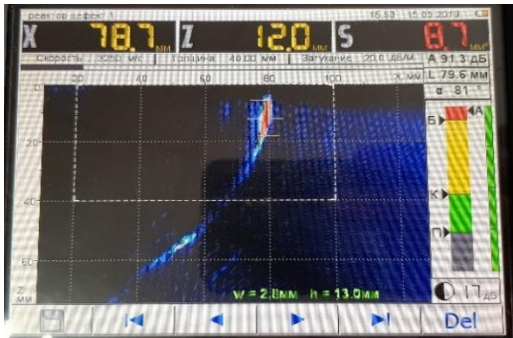
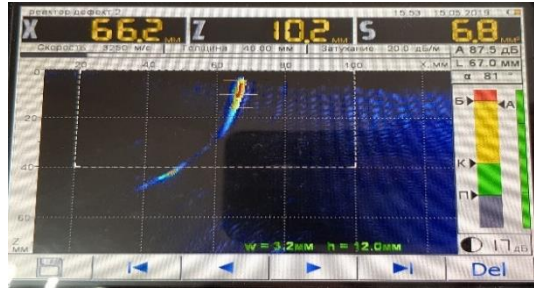
В четвертой главе представлены исследования, проведенные с применением дефектоскопа A1550 IntroVisor на фазированной решетке на объектах подведомственных Ростехнадзору.

Рассмотрим несколько опасных производственных объектов подведомственных Ростехнадзору, на которых проводился неразрушающий контроль с применением дефектоскопа A1550 IntroVisor на фазированной решетке.

Ультразвуковой контроль сварных соединений выполнялся в 2 этапа. Первый этап проводился преобразователем S5182 2.5A65D12CS. Второй этап проводился в режиме работы «томограф» с использованием антенной решетки M9065 4.0V60R40X10CS.

Результаты ультразвукового контроля приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты ультразвукового контроля

№ по схеме	Толщина, мм	Максимально допустимая эквивалентная площадь несплошности, мм <sup>2</sup>	Описание обнаруженных дефектов	Оценка качества сварного соединения	Изображение дефекта
1	40,0	5,0	Вертикально ориентированная несплошность $S_{\text{экв}}=8,7 \text{ мм}^2$ высотой 13,0 мм, шириной 2,8 мм на глубине 12,0 мм	не годен	
2	40,0	5,0	Вертикально ориентированная несплошность $S_{\text{экв}}=6,8 \text{ мм}^2$ высотой 10,2 мм, шириной 3,2 мм на глубине 10,2 мм	не годен	

№ по схеме	Толщина, мм	Максимально допустимая эквивалентная площадь несплошности, мм <sup>2</sup>	Описание обнаруженных дефектов	Оценка качества сварного соединения	Изображение дефекта
3	40,0	5,0	Вертикально ориентированная несплошность $S_{\text{экв}}=4,1 \text{ мм}^2$ высотой 8,3 мм, шириной 2,8 мм на глубине 13,0 мм	годен	
4	40,0	5,0	Вертикально ориентированная несплошность $S_{\text{экв}}=4,1 \text{ мм}^2$ высотой 18,1 мм, шириной 3,7 мм на глубине 16,2 мм	годен	
5	40,0	5,0	Вертикально ориентированная несплошность $S_{\text{экв}}=8,1 \text{ мм}^2$ высотой 17,6 мм, шириной 3,7 мм на глубине 19,0 мм	не годен	
6	40,0	5,0	Вертикально ориентированная несплошность протяжённостью 150 мм $S_{\text{экв}}=10,2 \text{ мм}^2$ высотой 20,8 мм, шириной 4,6 мм на глубине 12,5 мм	не годен	



В результате проведения ультразвукового контроля обнаружены дефекты в виде несплошности, препятствующие дальнейшей эксплуатации. Качество сварных соединений не удовлетворяет требованиям СТО 00220256-005-2005.

Оценка выявленных дефектов производилась согласно нормативным документам СТО 00220256-005-2005, РД 34.17.302-97.

Примеры других исследований опасных производственных объектов представлены в п. 4 данной диссертации.

В лаборатории неразрушающего контроля были проконтролированы пластины с разным типом дефектов, рассмотрим некоторые из них.

Пластина №11 с дефектом – непровар корня сварного шва (рисунок 2).



Рисунок 2 – Непровар корня сварного шва

Образец с дефектом наглядно представлен на рисунке 3.



Рисунок 3 – Непровар корня сварного шва

Результат контроля представлен на рисунке 4.

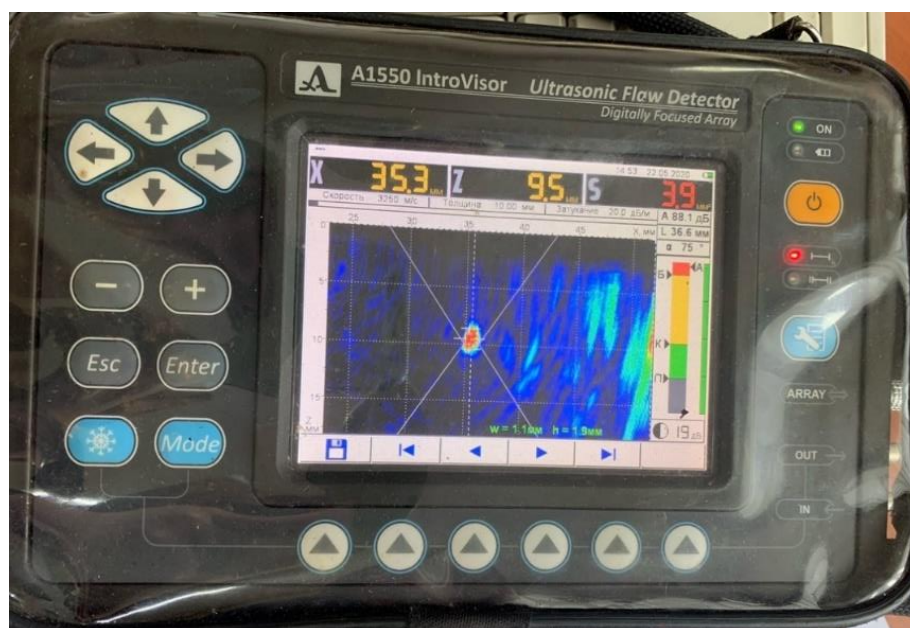


Рисунок 4 – Результат контроля

A1550 IntroVisor – многофункциональный портативный ультразвуковой дефектоскоп-томограф с цифровой фокусировкой антенной решетки и томографической обработкой данных для контроля металлов и пластмасс, обеспечивает визуализацию внутренней структуры объекта контроля в виде наглядного и достоверного изображения сечения в режиме реального времени, что значительно облегчает и делает более доступной интерпретацию полученной информации по сравнению с обычным дефектоскопом.

## Основные выводы

1) На основе проведенного патентно-литературного анализа, предложены основные направления теоретико-экспериментальных исследований ультразвукового метода на фазированных решетках.

2) Рассмотрены технические характеристики, заявленные производителем дефектоскопа-томографа A1550 IntroVisor, описан состав и устройство прибора, указаны калибровочные образы для A1550 IntroVisor.

3) Проведен сравнительный анализ двух методов ультразвукового контроля, выявлены недостатки и преимущества технологии фазированных решеток перед традиционным ультразвуковым контролем.

4) Выполнены исследования, проведенные с применением дефектоскопа A1550 IntroVisor на фазированной решетке на объектах подведомственных Ростехнадзору.

Магистерская диссертация содержит печатную работу:

1 Абрамова, А.Ю., Свиридов А.В. Ультразвуковой контроль на фазированных решетках / А.Ю. Абрамова, А.В. Свиридов // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований: сб. науч. тр. / Российский индекс научного цитирования. – М. : Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2019. – С. 4-7.