



УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ПОЛУАВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СПЛОШНАЯ ТОЛЩИНОМЕТРИЯ

Базулин А.Е.¹, Бенитес Х.², Пронин В.В.¹, Тихонов Д.С.¹, Шнель О.О.³

1. ООО «НПЦ «ЭХО+», Москва, Россия

2. DEKRA Industrial AB, Швеция

3. «Ленинградская атомная станция», Россия





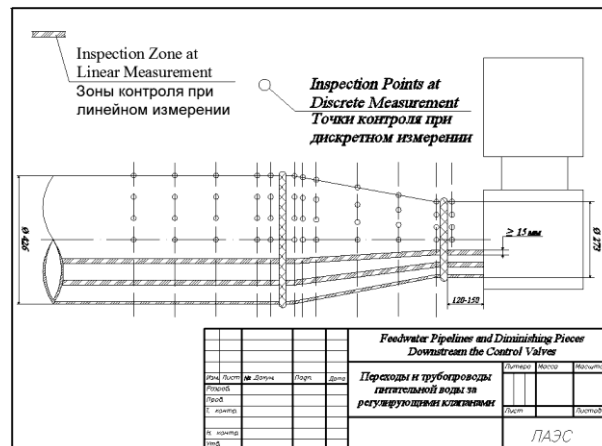
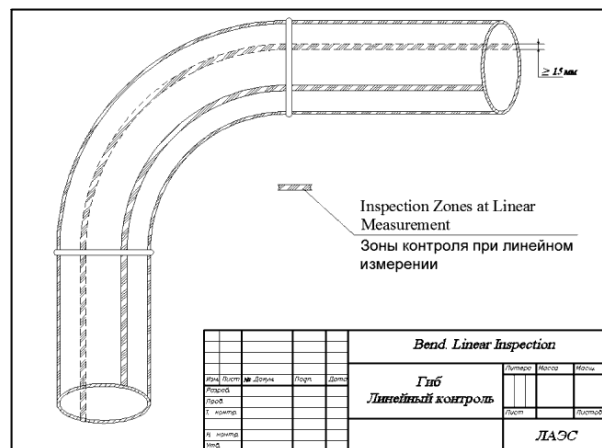
ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Разработка и аттестация методик измерения толщины стенок трубопроводов питательной воды

Объектом контроля (ОК) являются трубопроводы питательной воды со следующими параметрами:

- Номинальный внешний диаметр трубопроводов от 159 до 426 мм.
- Номинальная толщина трубопроводов от 5,5 до 25 мм.
- Трубопроводы изготовлены из углеродистой стали 20.

Также ОК представляет собой гибы и конусные переходы трубопроводов питательной воды.

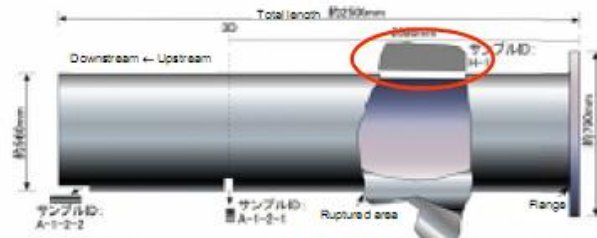




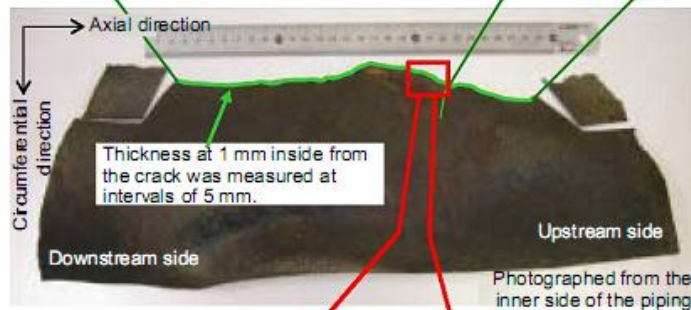
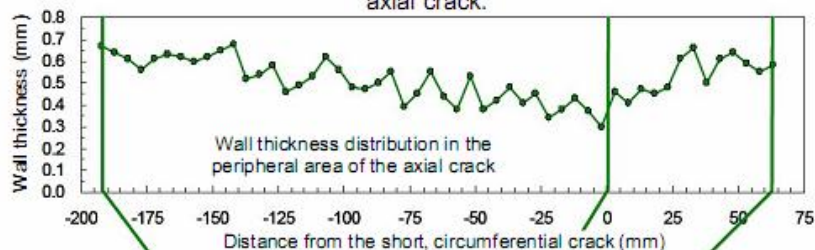
ОСНОВАНИЯ

Инцидент с разрывом паропровода из-за эрозии

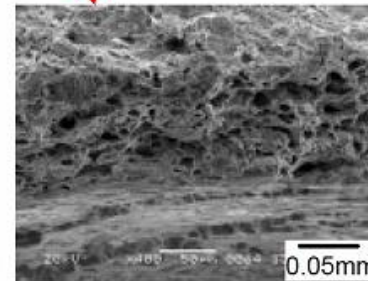
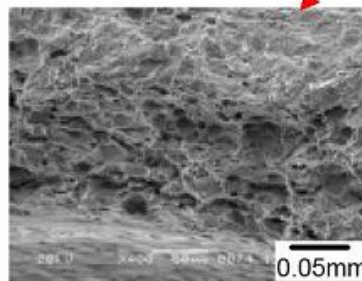
АЭС Михама (Япония), 2005



The thinnest wall thickness was 0.3 to 0.4 mm in the vicinity of the axial crack.



Photographed from the inner side of the piping



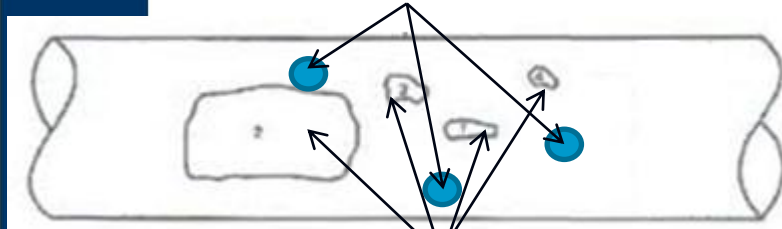
Dimples, which indicated ductile fracture, were found on the fracture surface.



- **Бесконтактный метод**
- **Работа по покрытиям и неровной поверхности**
- **Возможно сканирование вдоль линии**

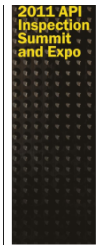


Измерения

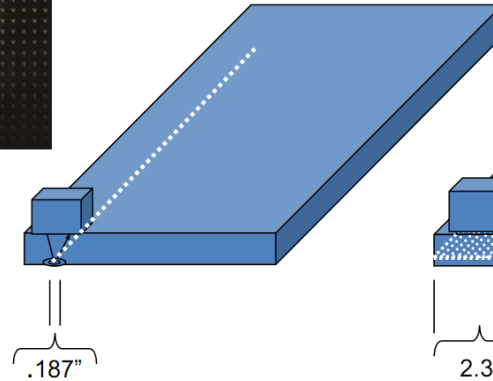


Несплошности

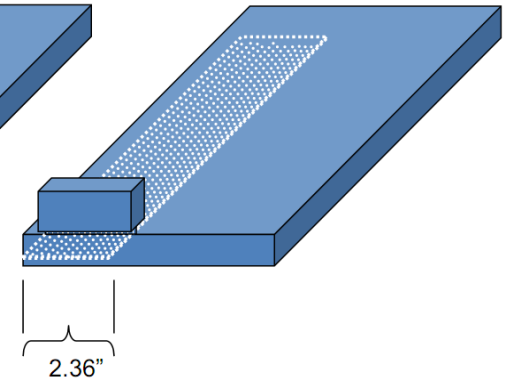
Точечная УЗ толщинометрия



Conventional Pitch Catch



Phased Array 64 element



Ширина зоны захвата при использовании обычных преобразователей (слева) и антенных решеток (справа)





СКАНЕРЫ

Разработан однокоординатный сканер с набором треков с внешними диаметрами $\varnothing 159$ – $\varnothing 426$ мм



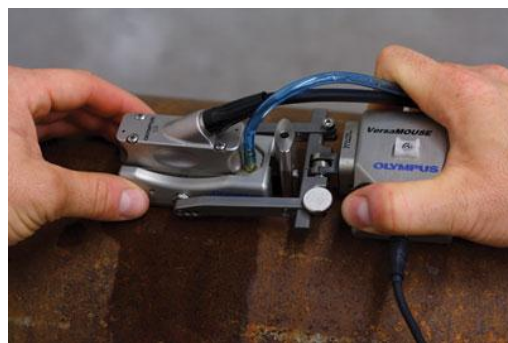


СКАНЕРЫ

Разработан двухкоординатный сканер на магнитных колесах



Применяется сканер VersaMOUSE фирмы Olympus





ПРИБОРЫ



УЗК ::
Ультразвуковой дефектоскоп Omniscan MX2
Или аналог



ЭМА::
Temate ® PowerBox H фирмы Innerspec



МЕТОДИКИ КОНТРОЛЯ

Разработана методика полуавтоматизированного измерения толщины стенок трубопроводов питательной воды диаметром от 159 до 426 мм методом ультразвукового контроля с применением антенных решёток

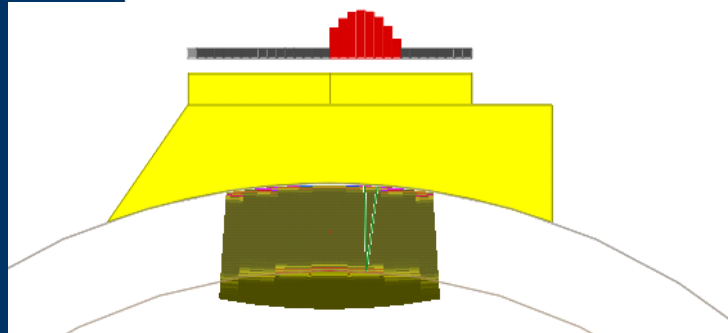
TEKNISKT DOKUMENT



Dokumenttyp / Document type Provningssprocedur/ Inspection Procedure	Affärsområde / Business area Kontroll/ Inspection	Dok. nr / Doc. Nr. MPP-042	Revision / Revision 0	Datum / Date 2013-08-30	Sida / Page 1 (28)
Upprättad av / Prepared by  Andrey Bazulyn	Granskad av / Reviewed by  Dmitry Tikhonov	 Zydrius Viliunas	Godkänd av / Approved by  Jorge Benitez		
Titel / Title Методика полуавтоматизированного измерения толщины стенок трубопроводов питательной воды диаметром от 159 до 426 мм методом ультразвукового контроля с применением антенных решёток					

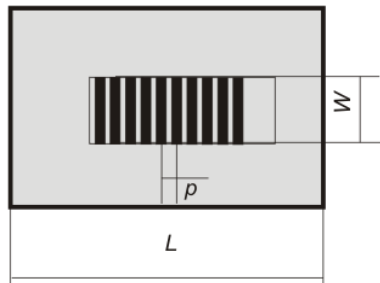
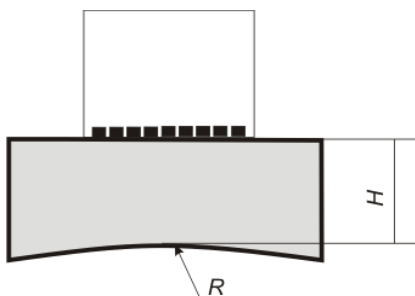


МЕТОДИКА УЗТ ОСНОВНОГО МЕТАЛЛА



Режимы работы:

- линейное сплошное сканирование вдоль оси трубопровода;
- сплошная толщинометрия с построением карты толщины.



Параметры АР

Тип АР	Одномерная линейная
Частота, МГц	5,0±0,5
Число элементов, не меньше	32
Расстояние между центрами элементов (p), мм	1,0
Ширина элементов в дополнительной плоскости (W), мм	10





МЕТОДИКИ КОНТРОЛЯ

Разработана методика полуавтоматизированного измерения профиля донной поверхности кольцевых сварных соединений трубопроводов питательной воды диаметром от 159 мм до 426 мм методом ультразвукового контроля с применением антенных решёток

TEKNISKT DOKUMENT



Dokumenttyp / Document type	Affärsområde / Business area	Dok. nr / Doc. Nr.	Revision / Revision	Datum / Date	Sida / Page
Provningsprocedur/ Inspection Procedure	Kontroll/ Inspection	MPP-043	0	2013-08-30	1 (28)
Upprättad av / Prepared by	Granskad av / Reviewed by		Godkänd av / Approved by		
 Andrey Bazulyn	 Dmitry Tikhonov	 Zydrius Viliunas	 Jorge Benitez		
Titel / Title					
Методика полуавтоматизированного измерения профиля донной поверхности кольцевых сварных соединений трубопроводов питательной воды диаметром от 159 мм до 426 мм методом ультразвукового контроля с применением антенных решёток.					



МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ ПРОФИЛЯ ДОННОЙ ПОВЕРХНОСТИ СС



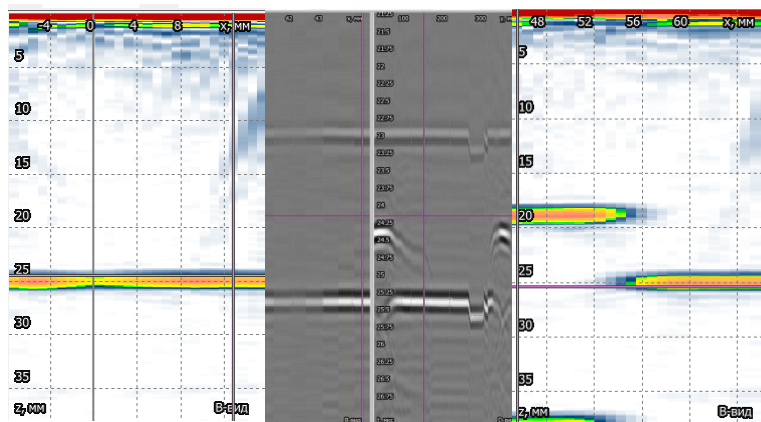
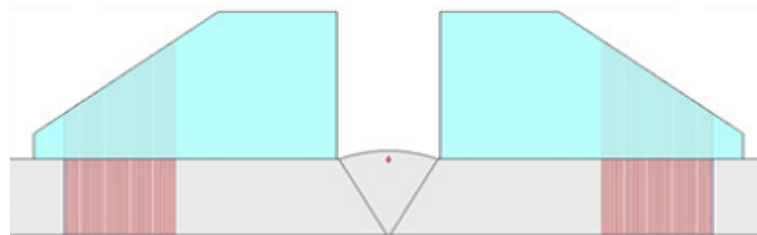
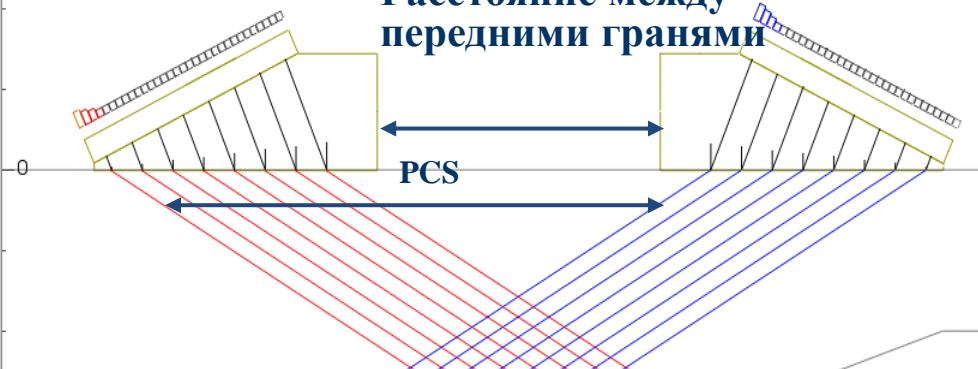
Метод TOFD-РА

+

измерение толщины
в ОКОЛОШОВНОЙ ЗОНЕ

Расстояние между
передними гранями

PCS





Метод TOFD

Формула расчета толщины при применении метода TOFD-РА

$$h = \sqrt{\left(\frac{c}{2}\right)^2 (t - t_0)^2 - S^2},$$

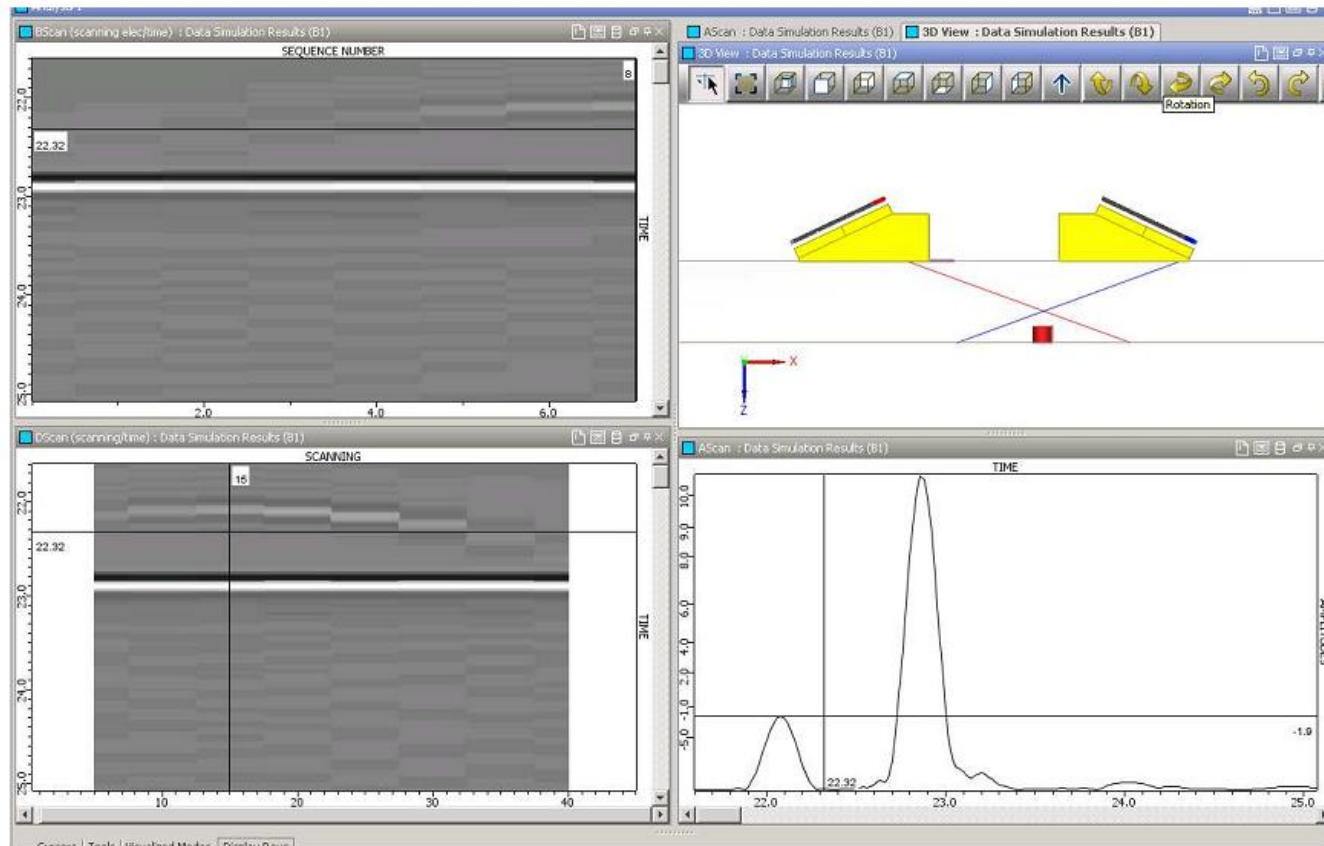
где t_0 – калибровочный параметр, S – половина расстояния между точками ввода (PCS), c – скорость звука продольной УЗ волны в ОК.

Вычисление калибровочного параметра t_0 по формуле:

$$t_0 = t - \frac{2\sqrt{S^2 + H^2}}{c},$$

где t – время пролета для донного сигнала в мкс, S – половина расстояния между точками ввода, H – номинальная толщина НО, c – скорость звука продольной УЗ волны в ОК.

ОБОСНОВАНИЕ ШИРИНЫ ЗАХВАТА



- Оптимальное положение строка – минус 20 дБ от донного сигнала.
- Ширина захвата составляет 50 мм

МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ ПРОФИЛЯ ДОННОЙ ПОВЕРХНОСТИ СС

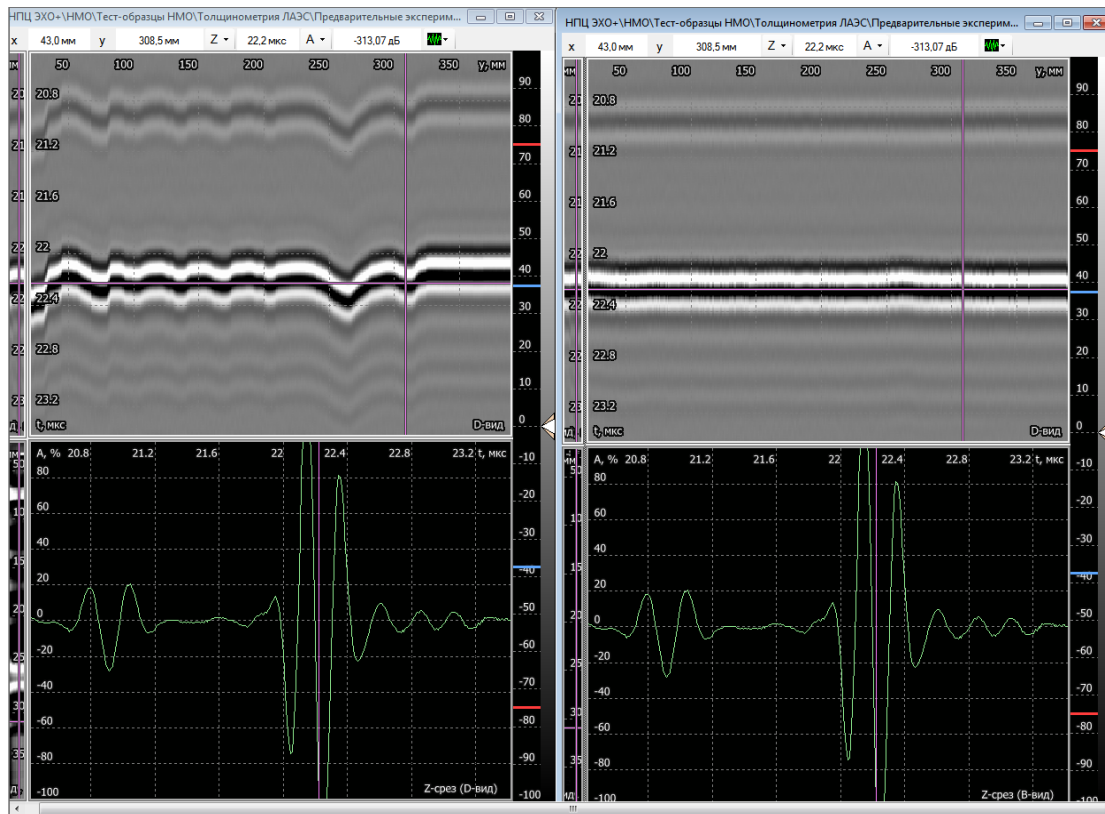


Толщина, мм	5-9	9-12	12-18	18-25	25-60
Расстояние между передними гранями, мм	30	35	40	40	60
РСС, мм	54	54	80	80	100
Угол ввода, град	75	70	70	65	50
Количество элементов	16 (ближние к передней грани)	16 (ближние к передней грани)	32	32	32
Количество шагов электронного сканирования	4	4	8	8	8

Выбор параметров электронного сканирования TOFD в зависимости от толщины трубопровода



МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ ПРОФИЛЯ ДОННОЙ ПОВЕРХНОСТИ СС



Компенсация времени пробега головной
ВОЛНЫ

Профиль образца № 16 ВД

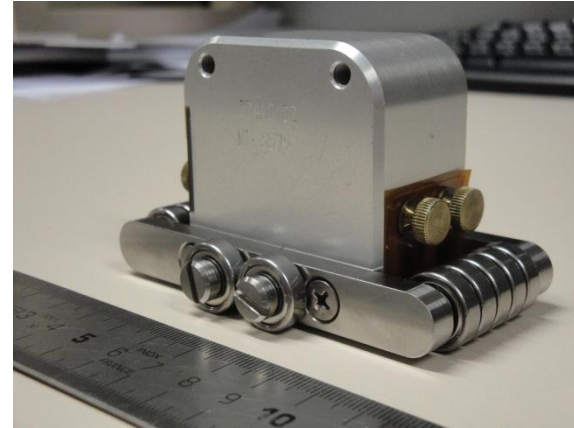




МЕТОДИКА КОНТРОЛЯ

**ИЗМЕРЕНИЕ ТОЛЩИНЫ СТенок ТРУБОПРОВОДОВ
ПИТАТЕЛЬНОЙ ВОДЫ МЕТОДОМ УЛЬТРАЗВУКОВОГО
КОНТРОЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ НА ЛЕНИНГРАДСКОЙ АЭС**

МЕТОДИКА ЭМА-УЗТ ОСНОВНОГО МЕТАЛЛА



	Описание	Обозначение	Диапазон	Fixed	Допуск
Общие	Угол луча	T01	-	0°	-
	Центральная частота	T02	-	3.5 МГц	± 20%
	Диапазон рабочих частот	T03	-	0.75-9.5 МГц	± 20%
	Фокусное расстояние	T04	-	-	-
	Поле в ближней зоне	T05	-	40 мм	-
	Изготовитель	T06	-	Innerspec	-
	Размеры активных элементов	T07	-	Внутр. диаметр = 6.25 мм Наружн. диаметр = 18.25 мм	-
	Форма	T08	-	Спиралевидная	-
	Тип волны	T09	-	Сдвиговая (поперечная упругая) волна	-

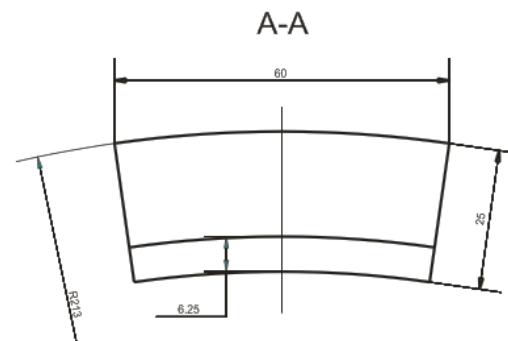
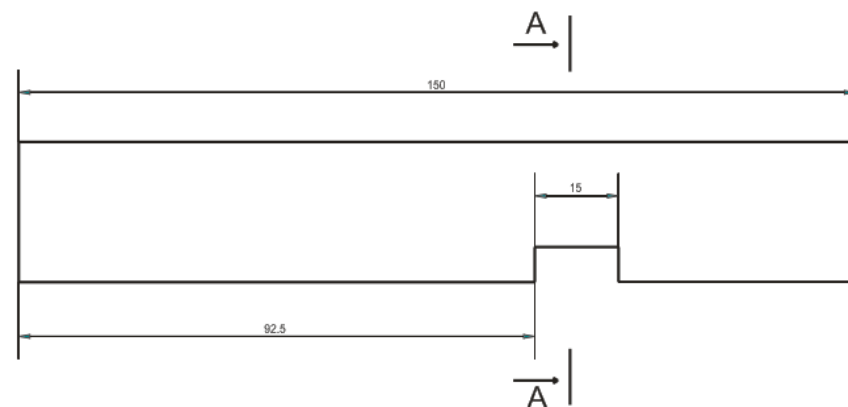
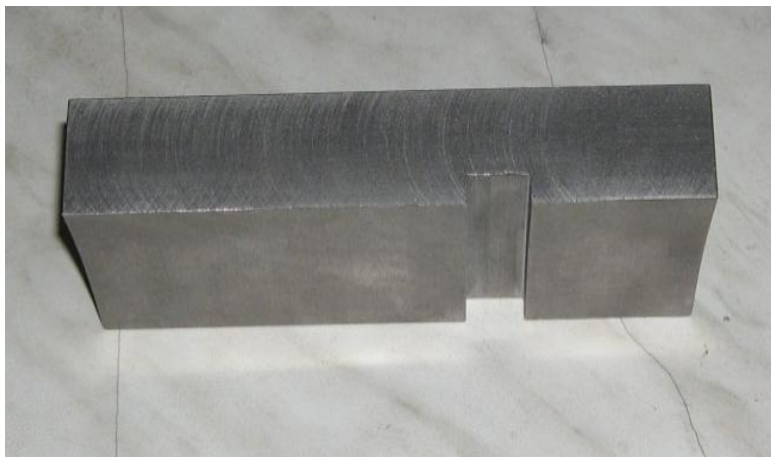
Два метода калибровки:

- Автокорреляция

- Пересечение нулевого уровня



НАСТРОЕЧНЫЕ ОБРАЗЦЫ





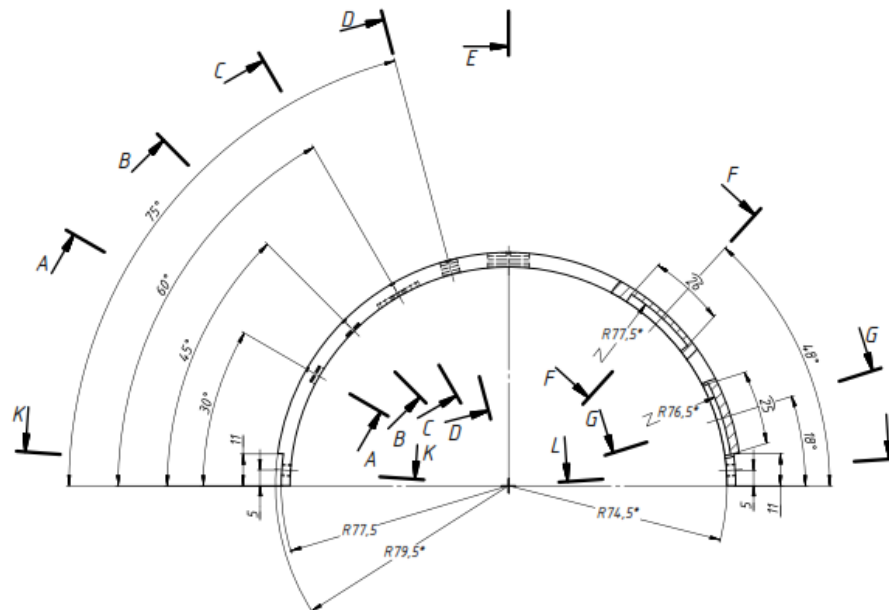
ОБРАЗЦЫ ДЛЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ

Изготовлены два испытательных образца с заложенными дефектами для определения:

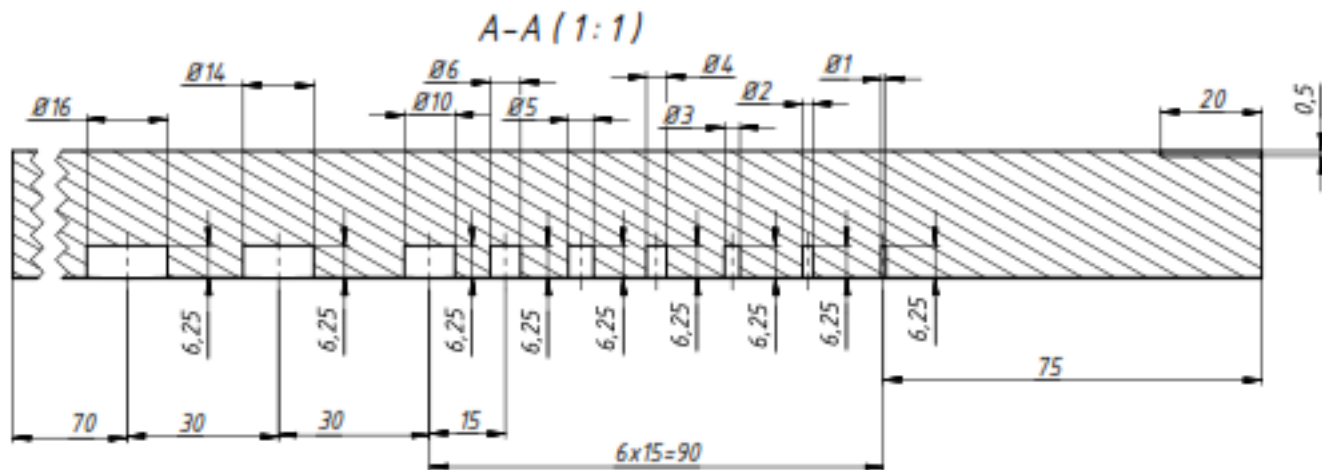
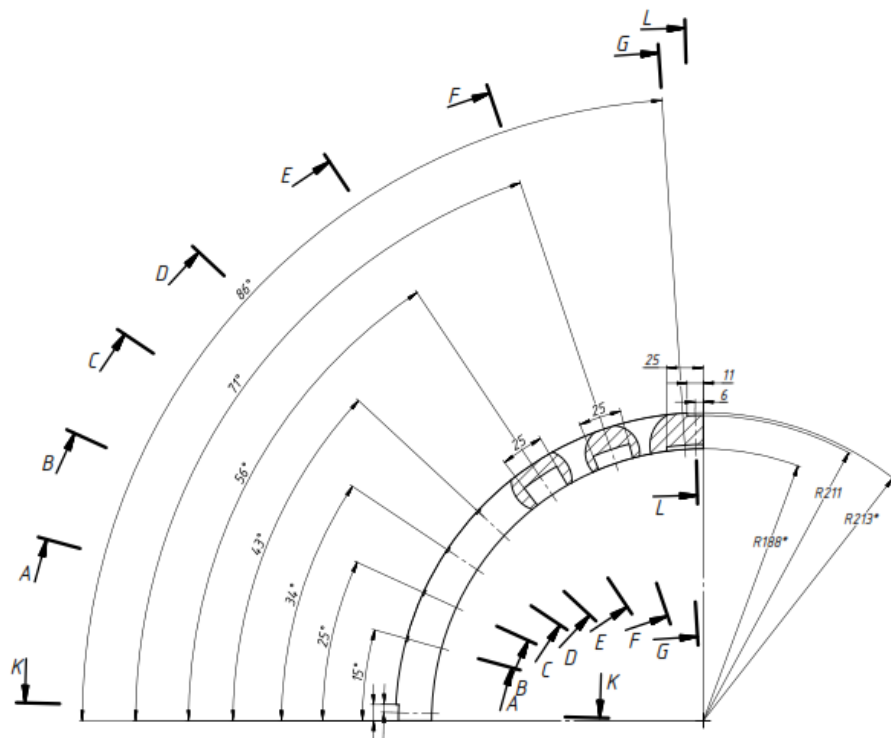
- минимальной фиксируемой эквивалентной площади участка - изменения толщины;
- минимального фиксируемого утонения;
- погрешности измерения толщины в 95% доверительном интервале;
- погрешности определения координат X и Y участка изменения толщины;
- ширину полосы захвата электронного сканирования;
- погрешности измерения наименьшего значения толщины под валиком усиления сварного шва;
- погрешности оценки профиля корня шва.



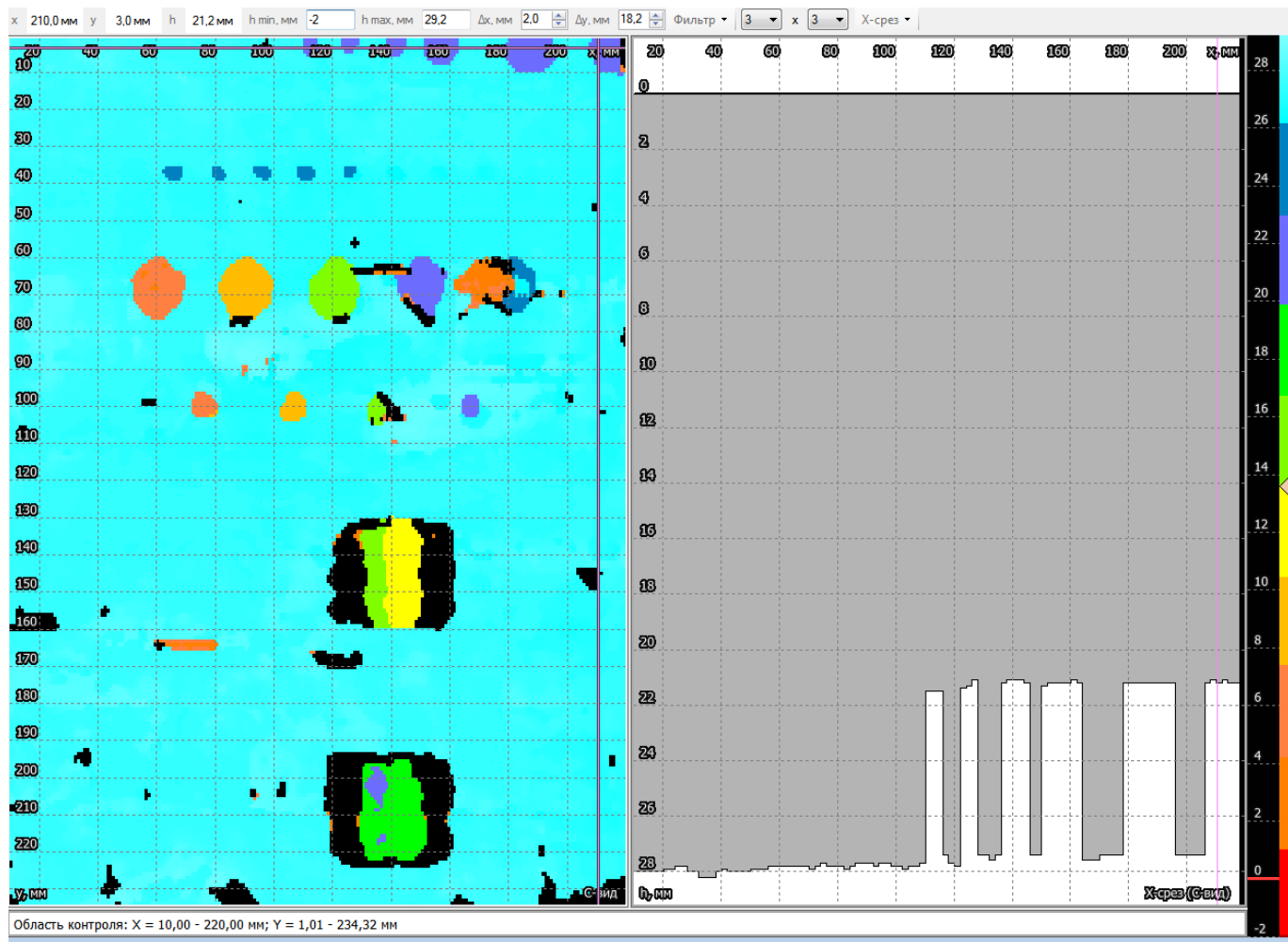
159x6



426x25

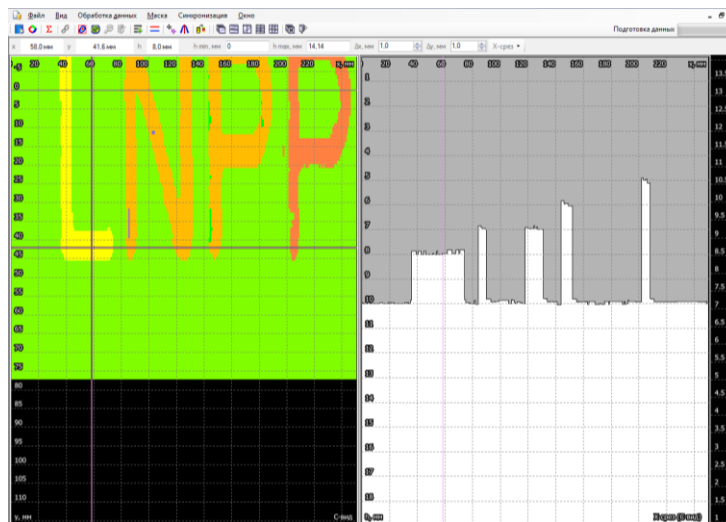
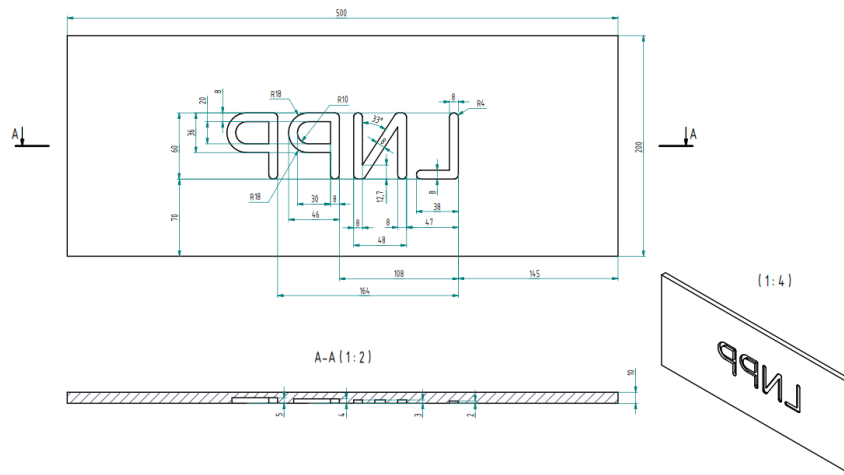


ПОСТРОЕНИЕ КАРТЫ ТОЛЩИНЫ





ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ИСПЫТАНИЯ



ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ИСПЫТАНИЯ



Протокол № 7

Определение среднеквадратического отклонения при измерении толщины с применением технологии ФАР

Испытательный образец

Номинальная толщина объекта, мм

Система

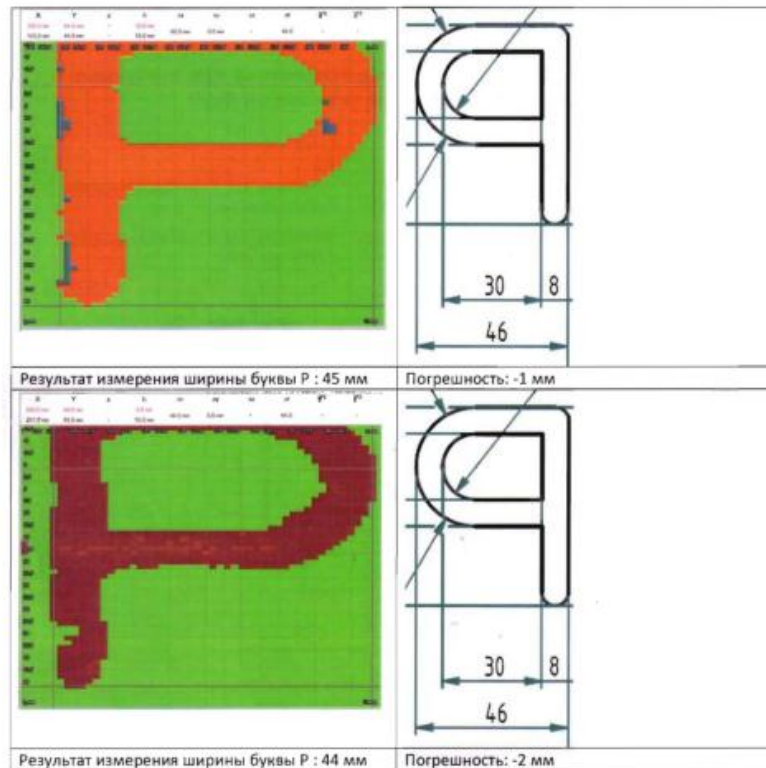
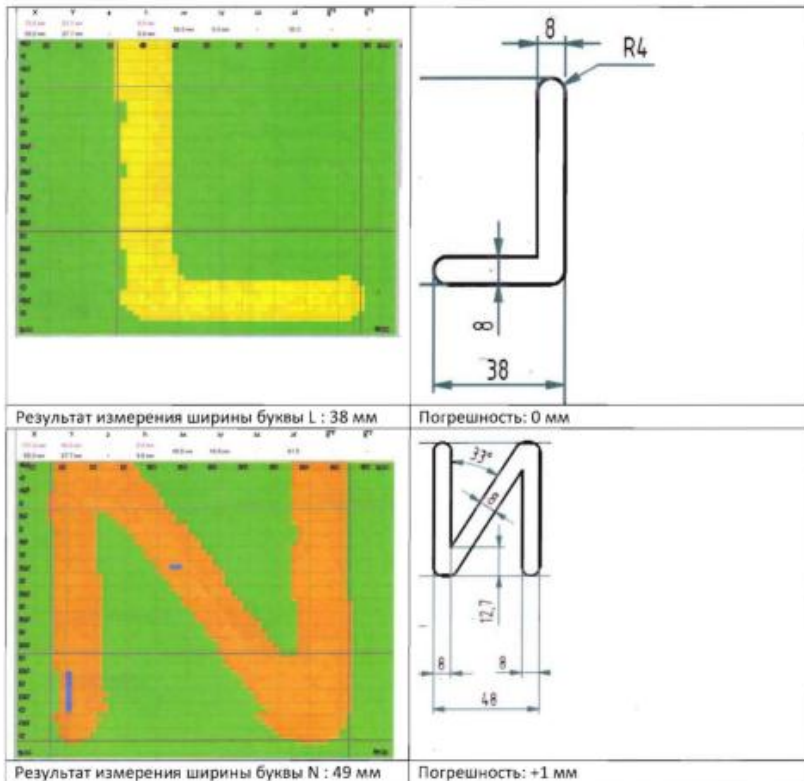
Преобразователь

LNPP s/n: 1

10

"Omniscan MX", s/n: OMN12-101601,
OMN12-600654

IMASONIC 5MHz – 32-elts – 1.0pitch
10991, s/n: A101



Измерения и расчёт погрешности выполнил

Базулин А.Е.

12/09/2013



ПРИЛОЖЕНИЕ 4

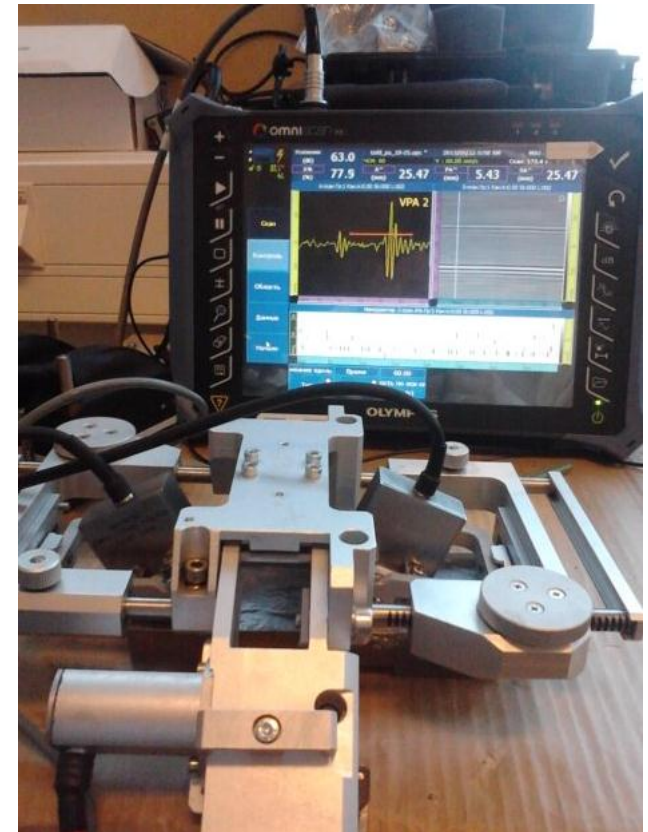
Протокол проверки работоспособности и технических характеристик оборудования

1. Проверка работоспособности и технических характеристик оборудования на соответствие требованиям Контракта.

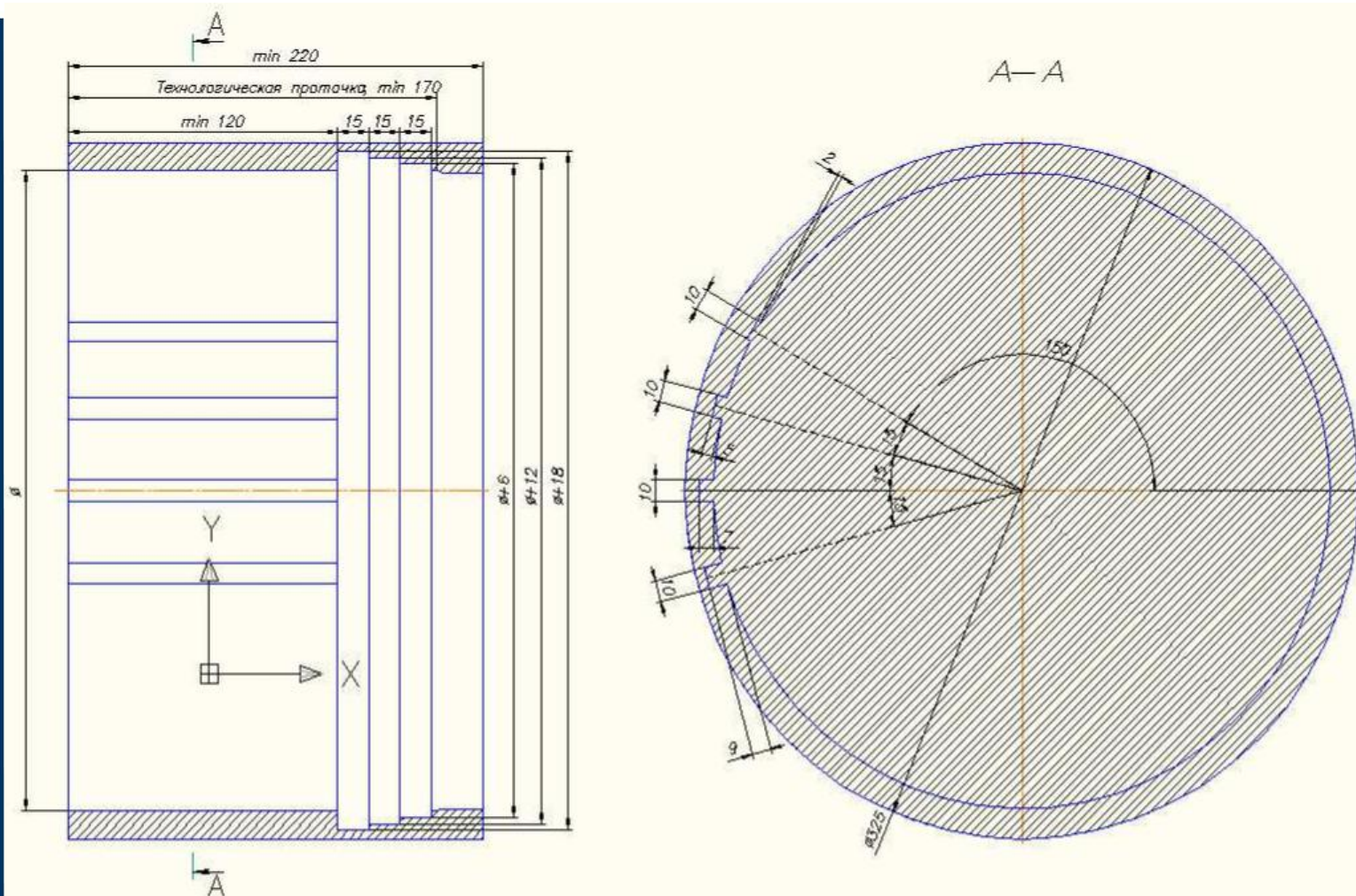
Описание и действие	Критерий приемки	Фактическое значение	Принято: Да / Нет	Примечания
Диапазон наружных диаметров трубопроводов для которых обеспечивается измерение толщины	От 159 мм до 426 мм	От 159 мм до 426 мм	Да	
Проведение сборки оборудования УЗК и проведение настройки	-	-	Да	
Проведение сборки оборудования ЕМАТ и проведение настройки	-	-	Да	
Высота сканирующего устройства, мм	Не более 70	62	Да	
Вес сканирующего устройства, кг	Не более 5	2,1	Да	
Диапазон измеряемых толщин, мм	От 5,5 до 60	От 2 до 65	Да	См. Протокол измерений №4
Ширина полосы электронного сканирования для УЗК, мм	Не менее 15	16	Да	См. Протокол измерений №5
Погрешность измерения толщины основного металла для УЗК, мм	± 0,1	0,1	Да	См. Протоколы измерений №1, 2, 3
Погрешность измерения толщины для ЕМАТ, мм	± 0,6	0,09	Да	См. Протоколы измерений № 2Е, 3Е
Точность позиционирования по оси Х, мм	± 2	+1	Да	См. Протоколы измерений №6, 7
Точность позиционирования по оси Y, мм	± 2	+0,4/-2	Да	См. Протоколы измерений №6, 7
Функционирование программного обеспечения:				
• возможность проведения настройки;	наличие	обеспечена	Да	
• возможность автоматического построения профиля толщины;	наличие	обеспечена	Да	
• возможность выдачи заключений по результатам измерения толщины;	наличие	обеспечена	Да	
• возможность экспорта и архивирования данных	наличие	обеспечена	Да	



- Для анализа данных толщинометрии основного металла используется OmniPC, TomoView, АВГУР;
- Для анализа данных измерения профиля донной поверхности используется OmniPC, TomoView, АВГУР.
- Для данных ЭМА используется программное обеспечение производителя оборудования и АВГУР (при обеспечении преобразования формата данных)

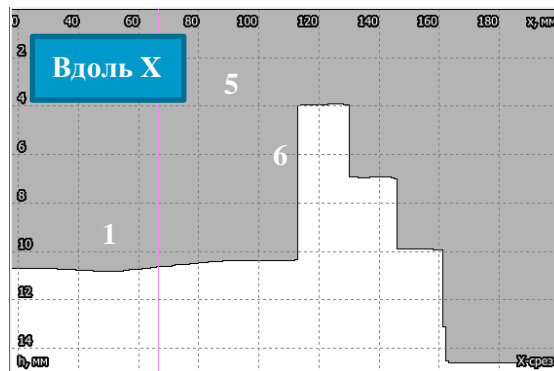
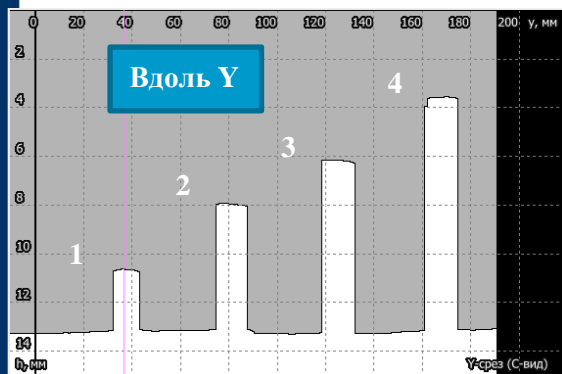
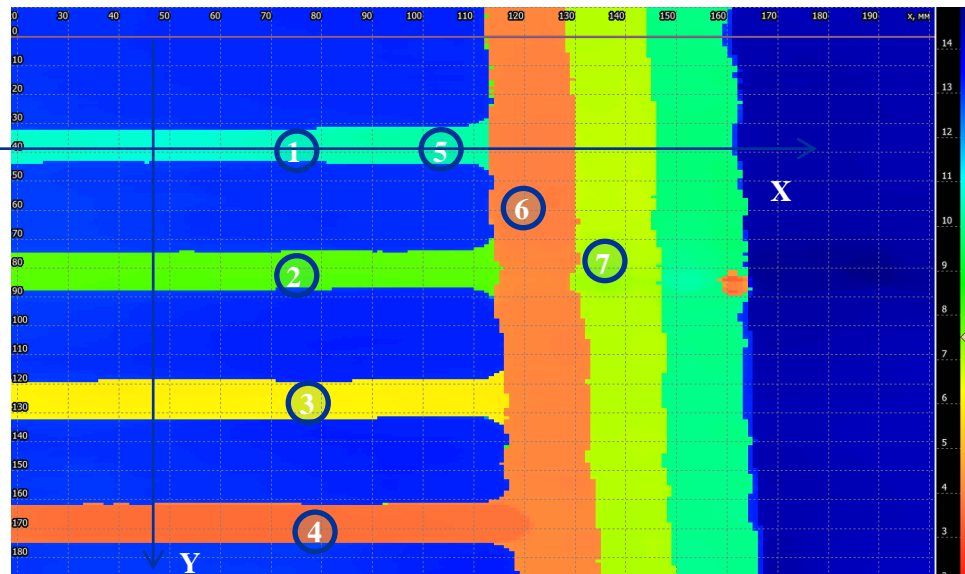


325X12, ОБРАЗЕЦ СО СТУПЕНЬКАМИ

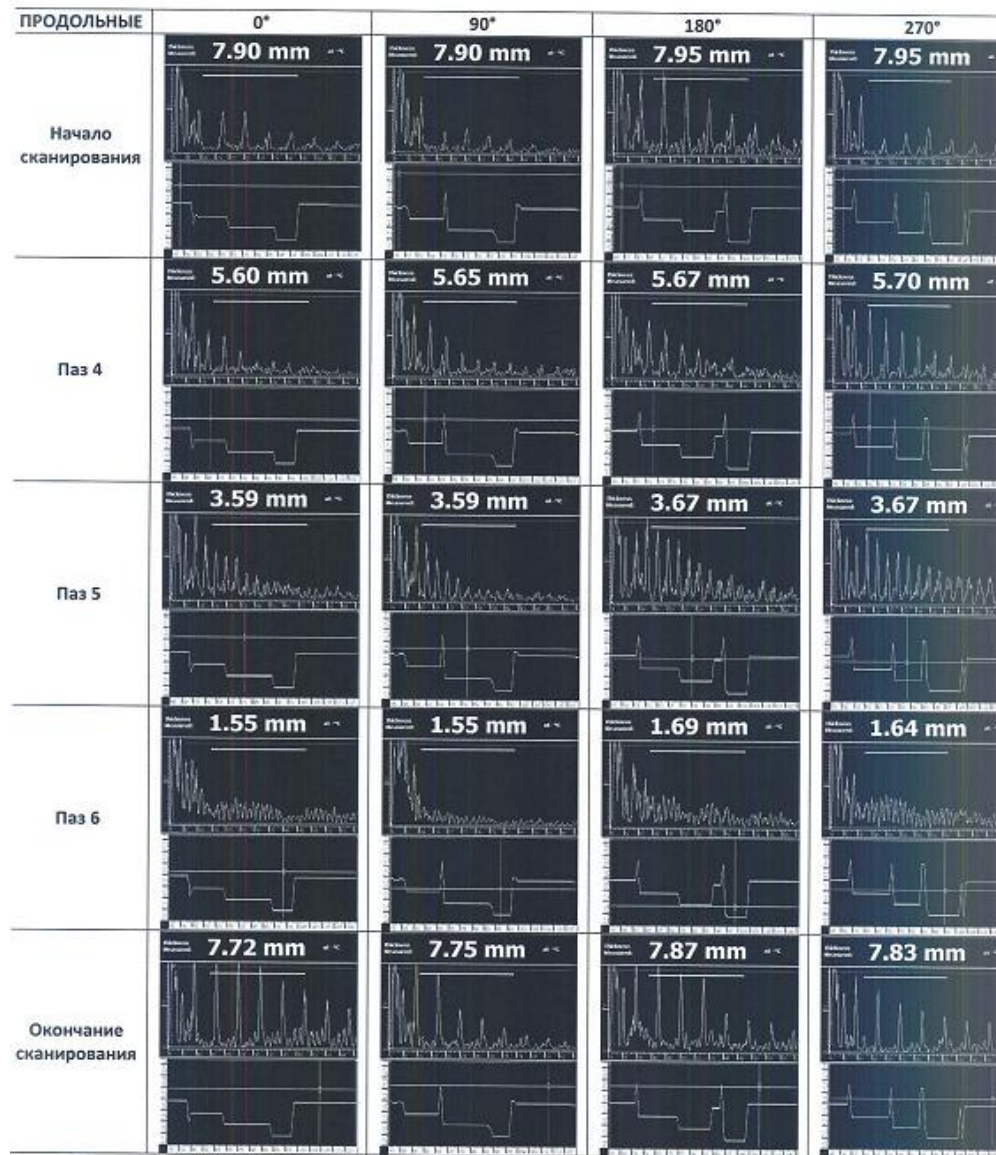




ПРИМЕР КАРТЫ ТОЛЩИНЫ УЗК :: 325x12



ПРИМЕР КАРТЫ ТОЛЩИНЫ ЭМА :: 325x12



ИСПЫТАНИЯ



Определение отклонения при измерении толщины основного металла с применением технологии ФАР



Испытательный образец ИО-325
 Номинальная толщина объекта, мм 13±0,3
 Система "Omniscan MX", s/n: OMNI2-101601, OMNI2-600654
 Преобразователь IMASONIC 5MHz – 32-elts – 1.0pitch 10991, s/n: A101

Результат измерения толщины

Точка измерения	Измеренная толщина, мм				Толщина по паспорту образца ИО-325, мм	Отклонение, мм
	1	2	3	Среднее		
1. Паз 1	10,4	10,3	10,3	10,3	10,3	0
2. Паз 2	7,9	7,8	7,8	7,8	7,9	-0,1
3. Паз 3	6,1	6,1	6,0	6,1	6,2	-0,1
4. Паз 4	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	0
5. Паз 5	3,8	3,9	3,9	3,9	4,0	-0,1
6. Паз 6	6,9	6,9	6,9	6,9	7,0	-0,1
7. Паз 7	9,8	9,9	9,9	9,9	10,0	-0,1
8. Основной металл	13,2	13,3	13,2	13,2	-	-
					Среднее	-0,07

Измерения выполнил:

Сопоставление выполнил:

 Базулин А.Е.
 Таскин Д.А.

Определение отклонения при измерении профиля донной поверхности с применением технологии TOFD

Испытательный образец ИО-325
 Номинальная толщина объекта, мм 13±0,3
 Система "Omniscan MX", s/n: OMNI2-101601, OMNI2-600654
 Преобразователь IMASONIC 5MHz – 32-elts – 1.0pitch 10991, s/n: A101



Результат измерения толщины

Точка измерения	Измеренная толщина, мм				Толщина по паспорту образца ИО-325, мм	Отклонение, мм
	1	2	3	Среднее		
1. Паз 1	10,3	11,0	11,0	10,8	10,3	+0,5
2. Паз 2	7,6	7,5	8,7	7,9	7,9	0
3. Паз 3	5,4	5,0	5,2	5,2	6,2	-1,0
4. Паз 4	2,9	2,4	1,9	2,4	3,5	-0,9
					Среднее (по модулю)	0,6

Примечание: в технических требованиях не установлены требования к погрешностям измерения профиля.

Измерения выполнил:

Сопоставление выполнил:

 Базулин А.Е.
 Таскин Д.А.

ИСПЫТАНИЯ



Определение отклонения при измерении толщины основного металла с применением технологии EMAT

Испытательный образец **ИО-219**
 Номинальная толщина объекта, мм **8,0±0,3**
 Система **"PowerBox H", s/n: 95971**
 Преобразователь **MM-112814**

Результат измерения толщины

Таблица 2

КОЛЬЦЕВОЕ СКАНИРОВАНИЕ	Основной металл. Измеренное значение	Полоса сканирования		
		Измеренное значение	Номинальное*	Δ (N-M)
Паз 3	7,72	2,31	2,50	0,19
Паз 2	7,50	3,74	3,90	0,16
Паз 1	7,75	5,57	5,70	0,13
Номинальная толщина	7,72	-	-	-

Примечание:

- Скорость продольной волны от настроечного образца: **3351 м/с**
- Все единицы даны в мм.

*Как указано в паспортных данных на образец

*

Измерения выполнил:


 22/01/2014 **Амадор Силеро**

Таблица 1

Продольное сканирование	0°			90°		
	Измеренное значение	Номинальное*	Δ (N-M)	Измеренное значение	Номинальное*	Δ (N-M)
Начало сканирования	13,88	-	-	12,74	-	-
Паз 7	10,25	10,00	-0,25	10,55	10,10	-0,45
Паз 6	7,24	7,40	0,16	7,52	7,20	-0,32
Паз 5	4,13	4,20	0,07	4,45	4,20	-0,25
Конец сканирования	13,37	-	-	12,69	-	-
	180°			270°		
	Измеренное значение	Номинальное*	Δ (N-M)	Измеренное значение	Номинальное*	Δ (N-M)
Начало сканирования	13,65	-	-	14,64	-	-
Паз 7	9,97	10,00	0,03	10,15	10,00	-0,15
Паз 6	6,99	7,20	0,21	7,14	7,20	0,06
Паз 5	3,97	4,10	0,13	4,12	4,40	0,28
Конец сканирования	13,29	-	-	13,42	-	-

Примечание:

- Скорость продольной волны от настроечного образца: **3351 м/с**
- Все единицы даны в мм.

*Как указано в паспортных данных на образец



РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ

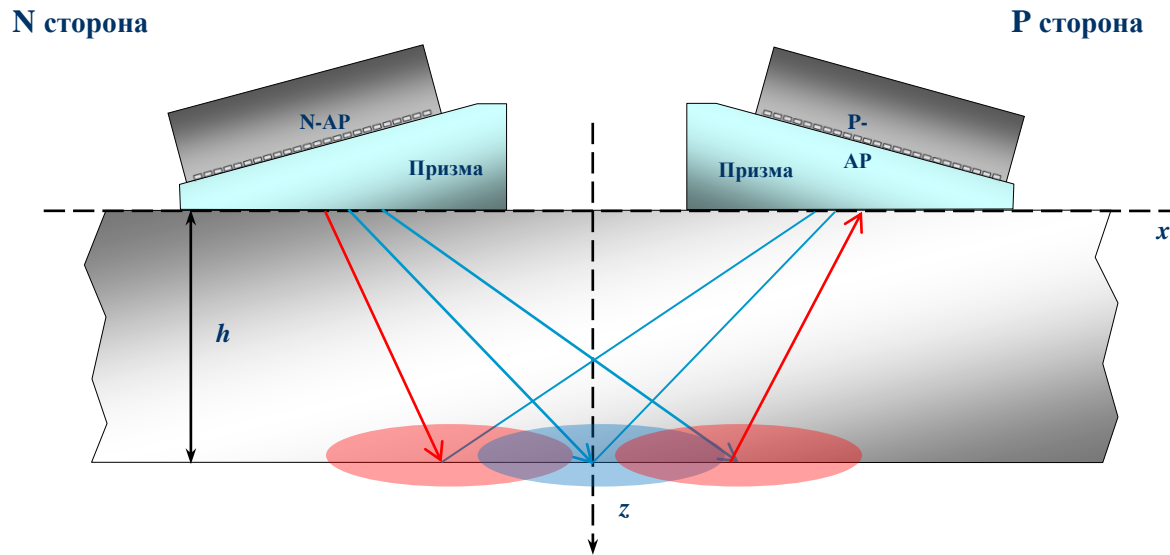
Диапазон наружных диаметров трубопроводов, для которых обеспечивается измерение толщины, мм	От 159 до 426
Диапазон измеряемых толщин, мм	От 2 до 65
Ширина полосы электронного сканирования для УЗК, мм	16
Погрешность измерения толщины основного металла для УЗК, мм	0,1
Погрешность измерения толщины для ЕМАТ, мм	0,45
Точность позиционирования по оси X, мм	+ 1
Точность позиционирования по оси Y, мм	+0,4 / -2



ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШИХ РАБОТ

- разработка методологии метрологической поверки технических средств УЗСТ;
- разработка 2D сканера типа «мышь» для проведения УЗСТ основного металла в произвольных местах трубопроводов;
- увеличение диапазона контролируемых диаметров и толщин;
- совмещение TOFD-толщинометрии с проведением ультразвукового контроля методом TOFD;
- внедрение метода цифровой фокусировки антенны (ЦФА) для измерения профиля донной поверхности, в том числе конусных проточек и зоны под валиком сварного шва;
- разработка технических средств автоматизированной УЗСТ;
- разработка единой методики автоматизированной УЗСТ с использованием средств электронного и механического сканирования.

ЦФА: Схемы NP-LS, NP-SL и NP-SS



Для NP-схемы при однократном отражении от дна можно получить изображения дна между антенными решётками (схемы NP-LS и NP-SL, красные эллипсы) и по схеме NP-SS, синий эллипс.