



Ультразвуковой контроль труднодоступных сварных соединений

А.Х. Вовилкин д.т.н., Тихонов Д.С. к.т.н.

XXIII Петербургская конференция «Ультразвуковая дефектоскопия металлов и перспективных материалов» УЗДМ-2019
г. Санкт-Петербург, 29-31 мая 2019 г.

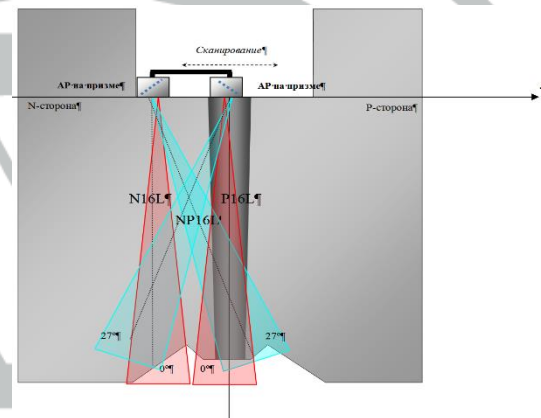
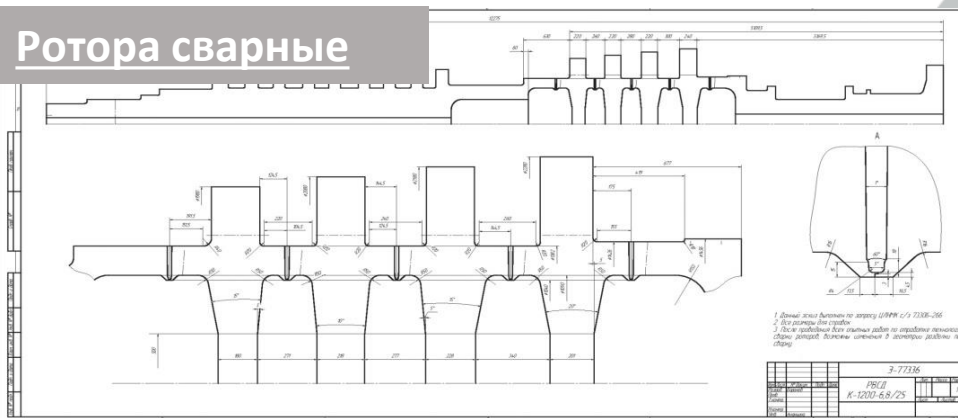
Проблемные для УЗК сварные соединения

Ограничения оптимальной области сканирования

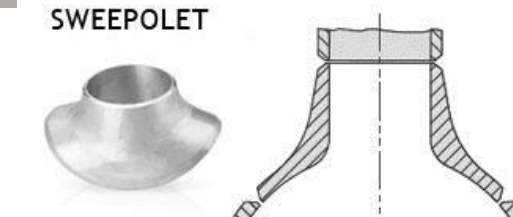
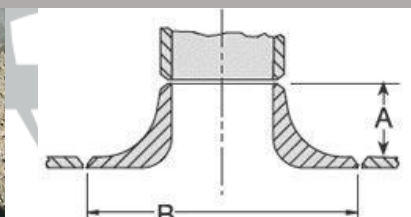
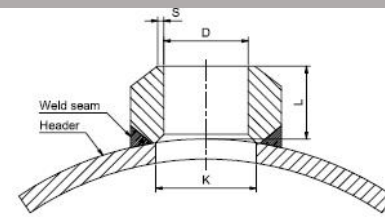
1. Внешние конструктивные ограничения, сложные поверхности ввода и отражения УЗ волн
2. Узкая разделка (CRC...)
3. Патрубки (вельдолеты, соколеты...)
4. СС, удалённые от области сканирования
5. СС с усиливающими накладками или широкими валиками усиления

Ограничения по уровню сигнала

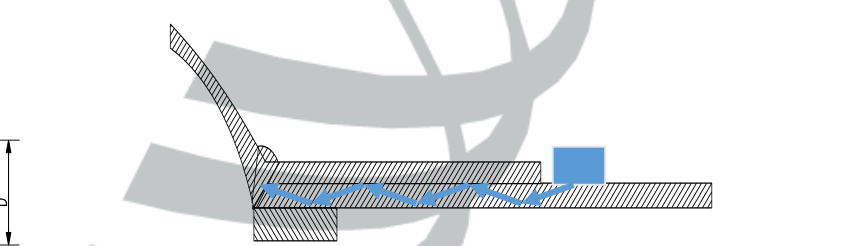
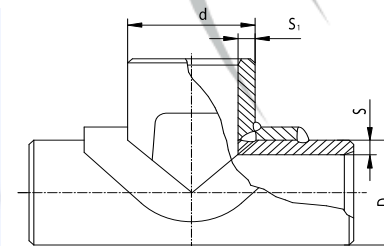
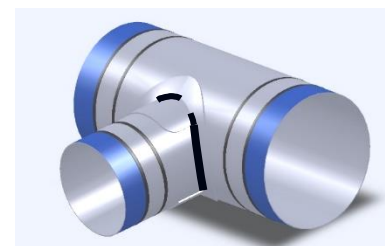
1. Аустенитные, разнородные стальные СС
2. Толстостенные СС
3. СС материалов с высоким затуханием



WELD-O-LET WELD-O-FLANGE SWEEPOLET



Тройники сварные с накладками



Методы преодоления ограничений доступа

УЗ методы

Много- и сложно- схемные решения, в т.ч. с применением преобразования типов волн, двухмодовые способы

- Раздельные методы (TRL, TOFD, тандем, Δ -...)
- Продольные волны с большим углом ввода

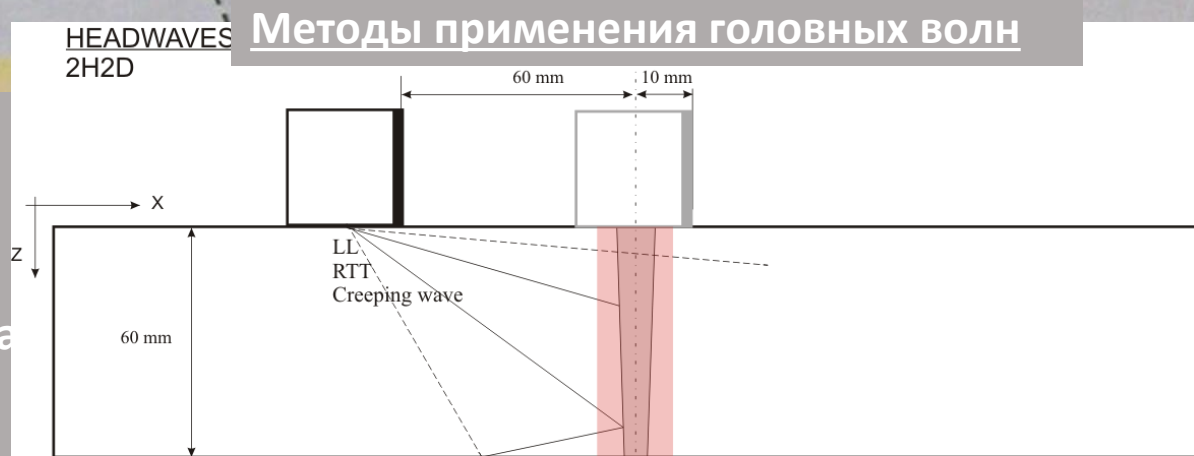
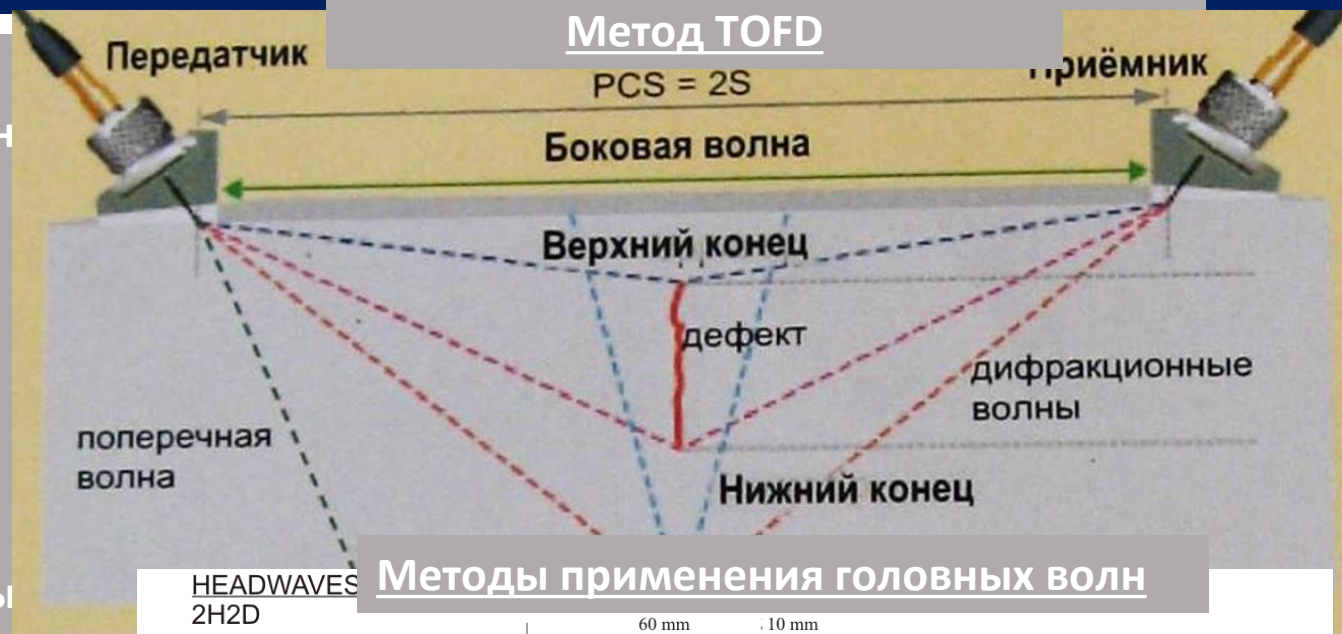
Поверхностные волны, волны Лэмба...

Методы обработки и представления данных

1. 2D-, 3D-SAFT, MultiSAFT
2. Методы динамической фокусировки AP (зональные)
3. 2D-, 3D-ЦФА, MultiЦФА
4. SAFT для TOFD и др. обработки данных TOFD

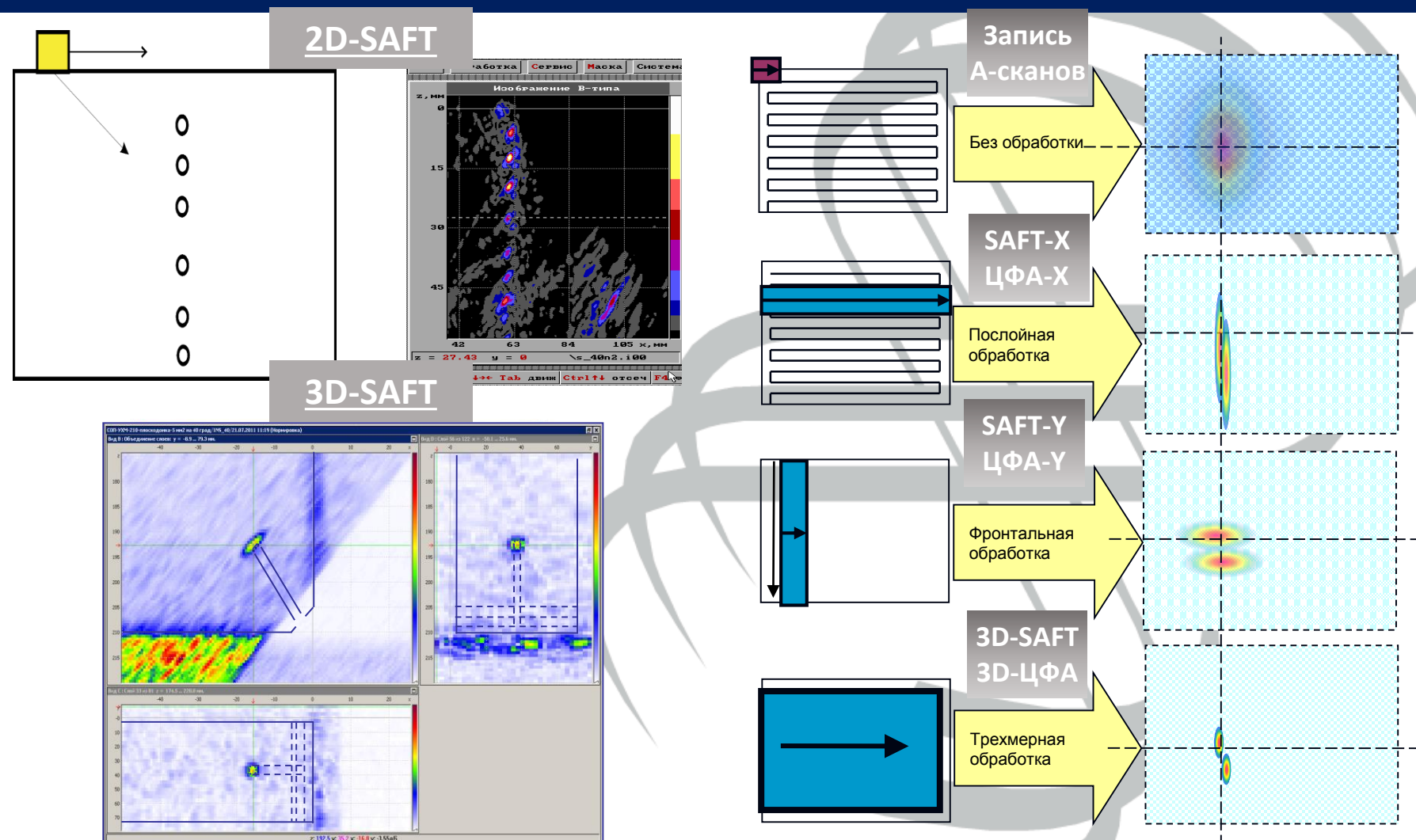
Технические приёмы

3D-сканирование по сложной траектории (роботы, спец. ска...)
Специализированные преобразователи

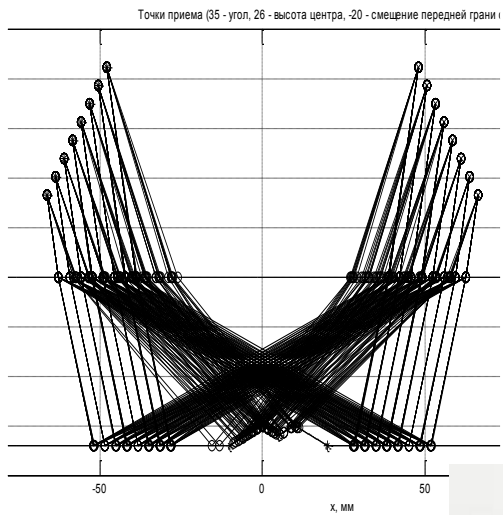


2D- и 3D- методы обработки данных УЗК

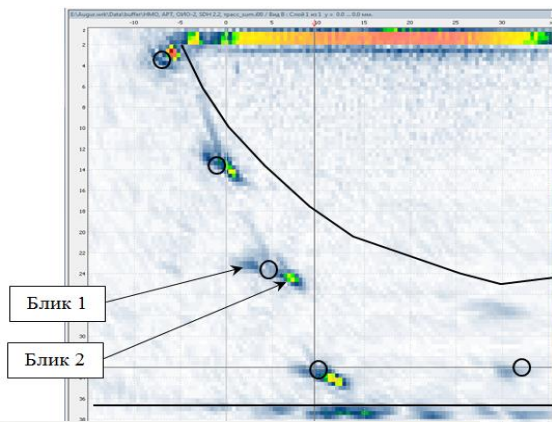
1. Запись А-сканов на пространственной апертуре
2. Метод SAFT или его спектральный аналог - метод ПСП:
 - 2D-SAFT: SAFT-X и SAFT-Y (фронтальный SAFT или ПСП)
 - 3D-SAFT: SAFT-XY
 - Multi-SAFT (SAFT с учётом преобразования типов волн и геометрии ОК)
3. Метод фазирования AP: аппаратное управление полем AP в ближней зоне (фокусировка, углы ввода)
4. Метод цифровой фокусировки AP (ЦФА):
 - ЦФА-2D: ЦФА-X и ЦФА-Y
 - 3D-ЦФА: ЦФА-XY
 - Multi-ЦФА (ЦФА с учётом преобразования типов волн и геометрии ОК)



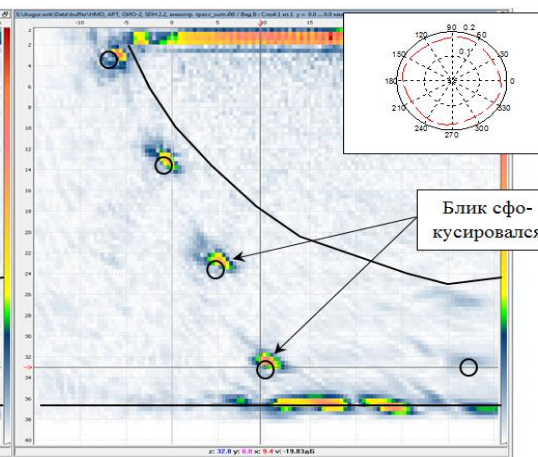
Мульти-ЦФА: многосхемность, учёт границ и анизотропии



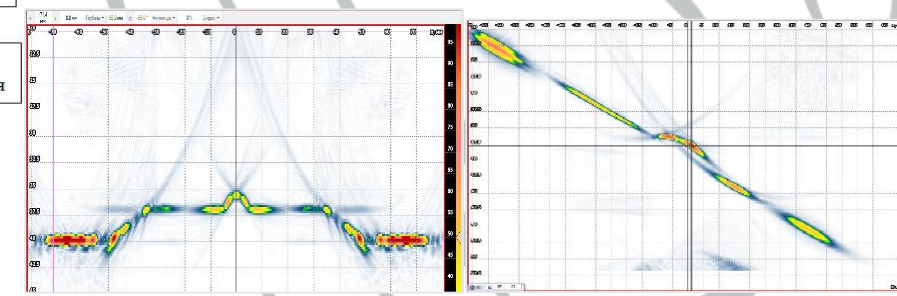
Без учета анизотропии



С учетом анизотропии



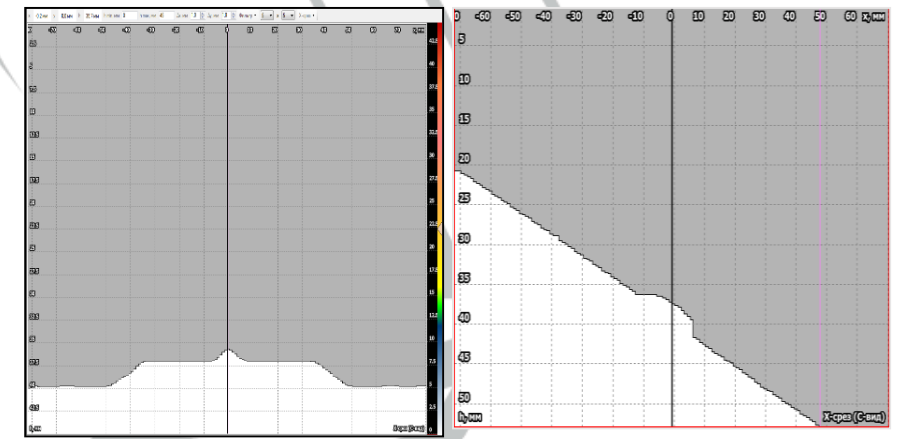
Применение комбинаций схем прозвучивания позволяет получить изображение поверхности дна.



Режим ЦФА + MultiSAFT



Восстановление суммарного изображения для различных схем прозвучивания



Универсальный критерий качества для методики УЗК

$\Delta\beta(x, z)$ - сектора прозвучивания точки по направлениям прихода и ухода лучей.
Идеал = 2π

$$\Delta\beta(x, z) = \sum_{sc} \Delta\beta_{sc}(x, z)$$

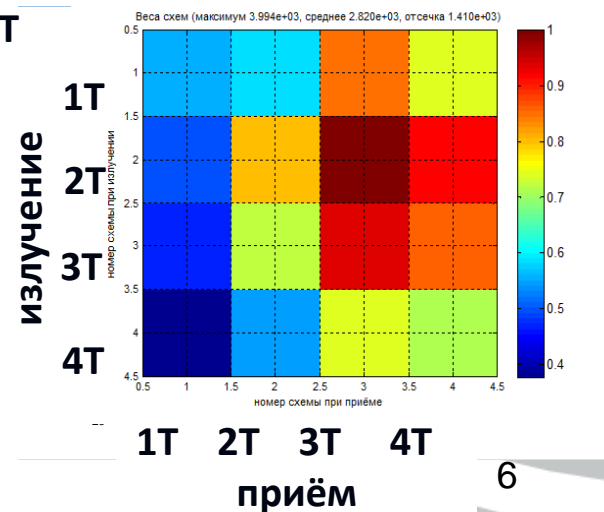
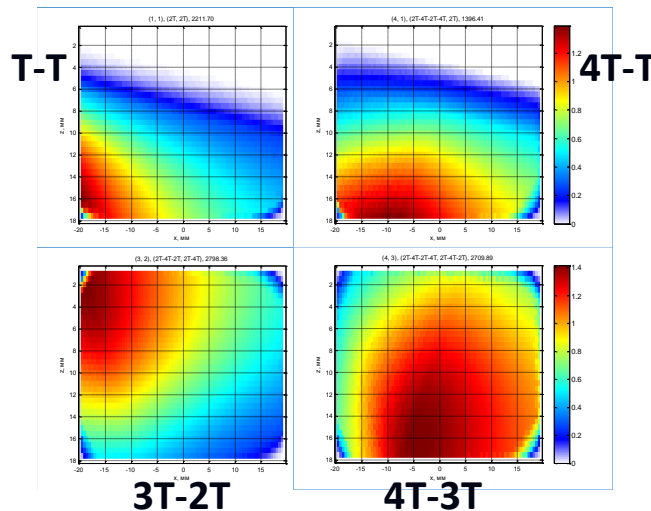
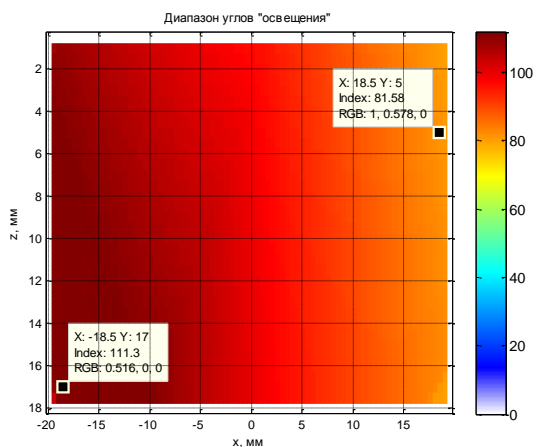
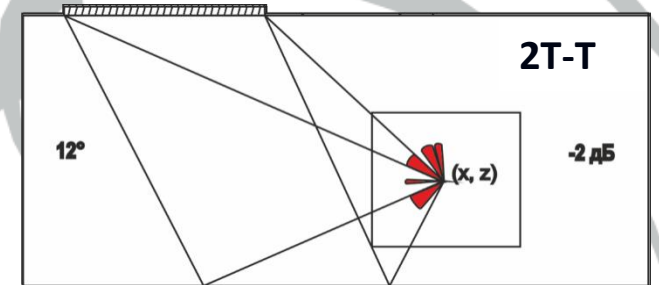
$A(x, z)$ - амплитуда поля точечного отражателя.
Идеал = *const*

$$A(x, z) = \sum_{sc} A_{sc}(x, z)$$

Функция $\Delta\beta(x, z)$ для 16 акустических схем

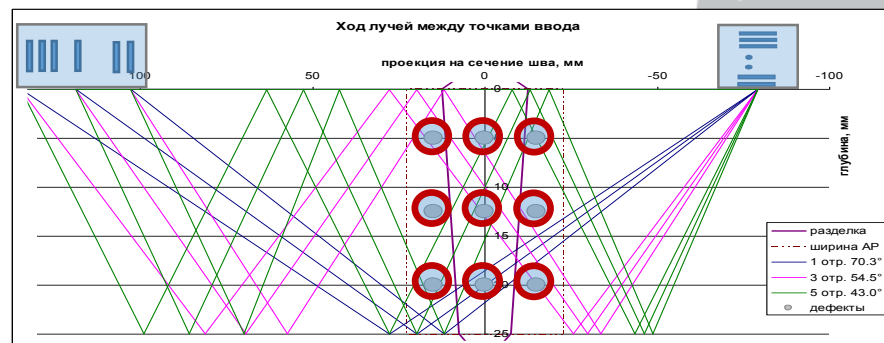
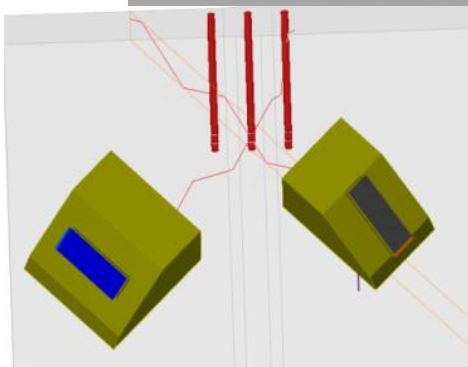
Функция $A_{sc}(x, z)$ для четырёх акустических схем

$$C_{\Sigma}(sc) = \sum_{(x, z)} A_{sc}(x, z)$$



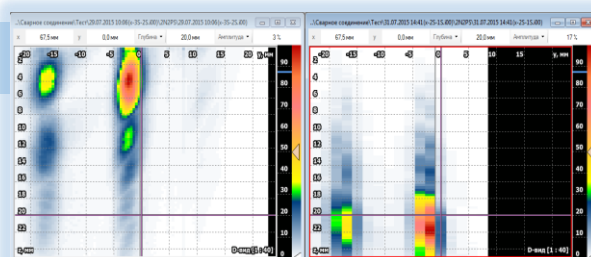
Multi-ЦФА для поперечных дефектов

MultiЦФА для поперечных дефектов

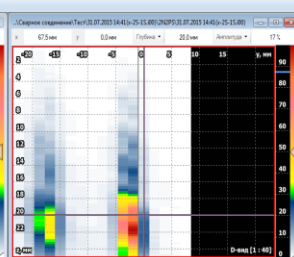


Изображения для четырёх акустических схем

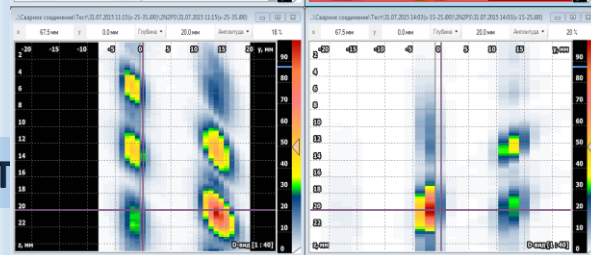
$sc_1 = 3T-2T$



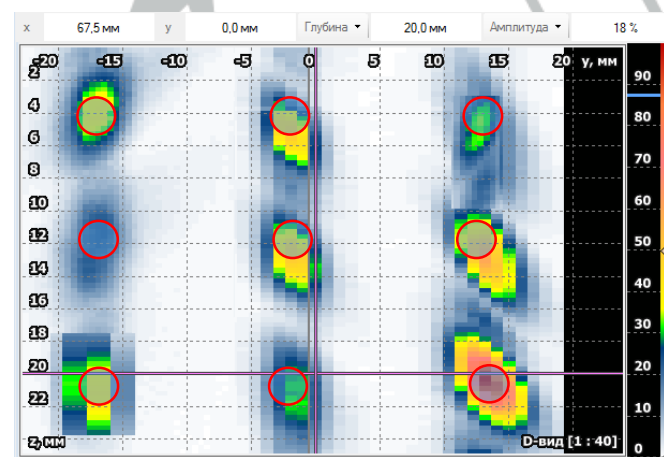
$sc_3 = 2T-1T$



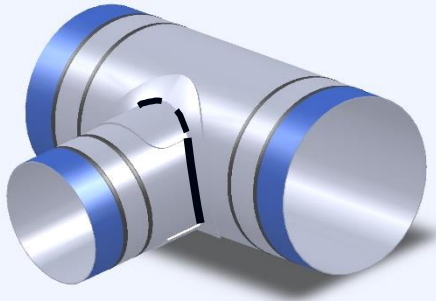
$sc_2 = 2T-3T$



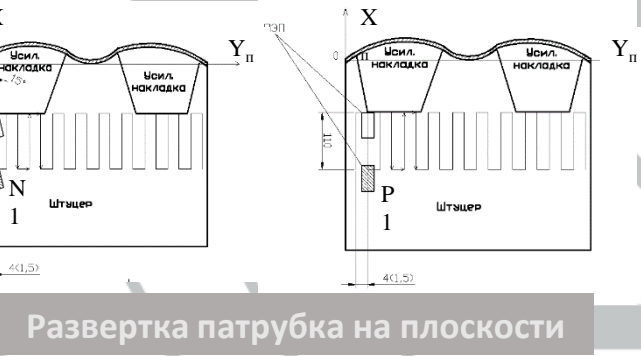
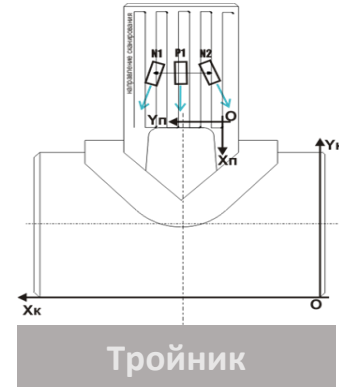
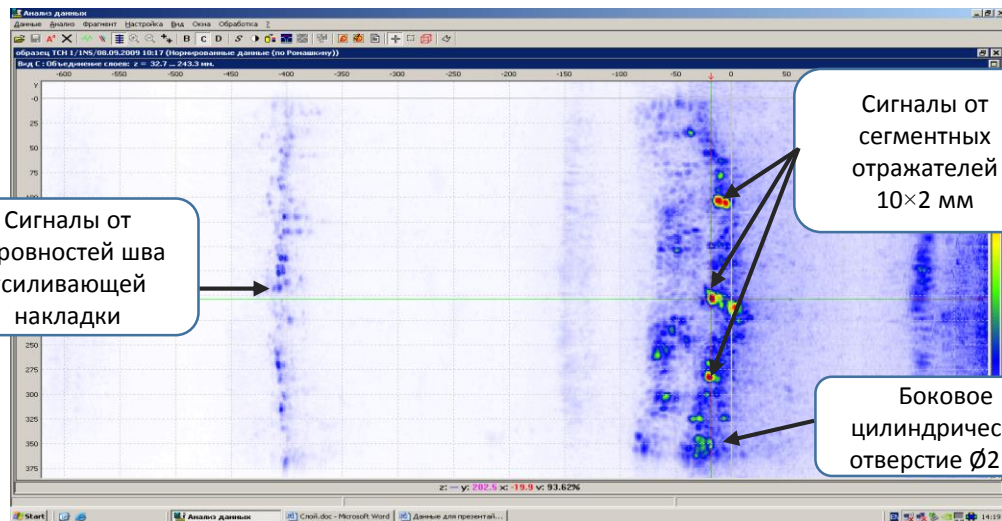
$sc_4 = 1T-2T$



Проведение контроля ТСН магистральных трубопроводов системой АВГУР-Т



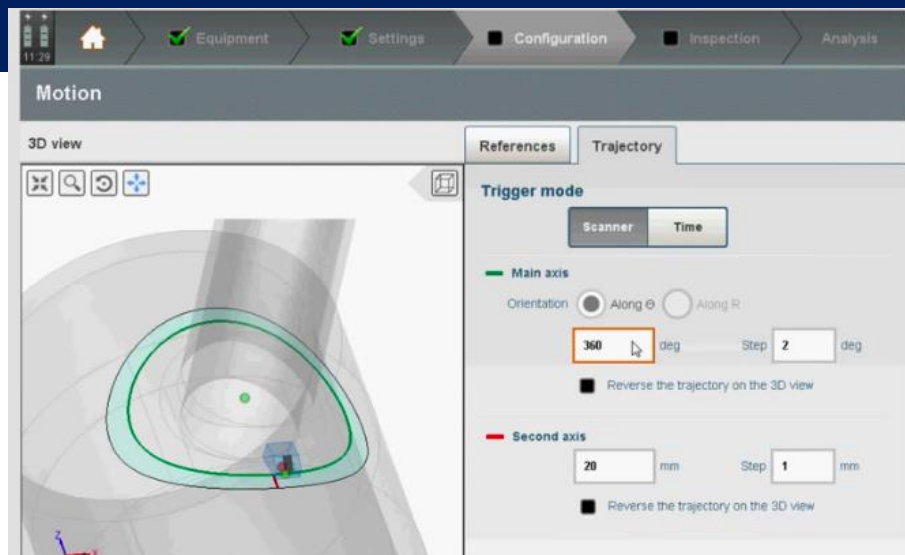
Внутреннее сварное
соединение
«патрубок-обечайка»



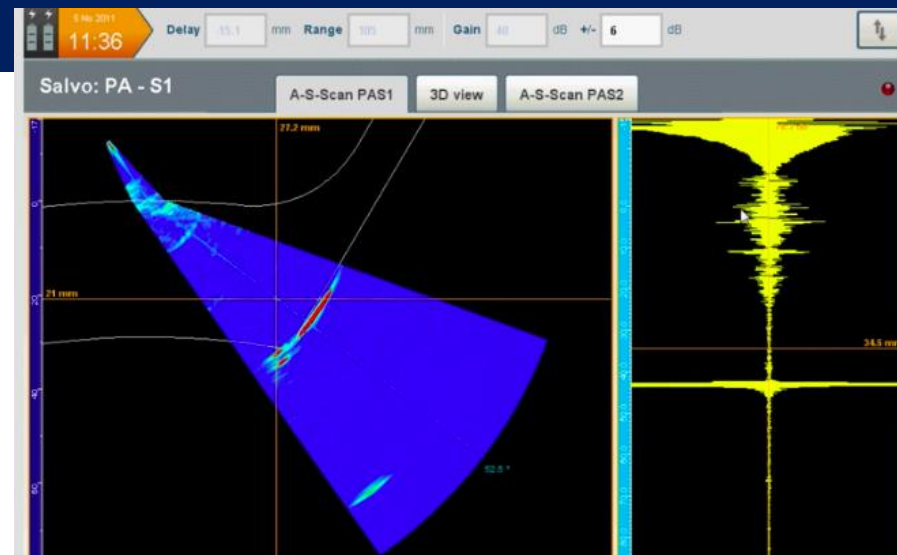
- дефекты в виде сегментных отражателей высотой 10% от толщины патрубка и протяжённостью более 15 мм надёжно выявляются при отношении сигнал/шум более 12 дБ
- возможно измерение размеров дефектов вдоль оси сварного соединения с погрешностью не более 2 мм



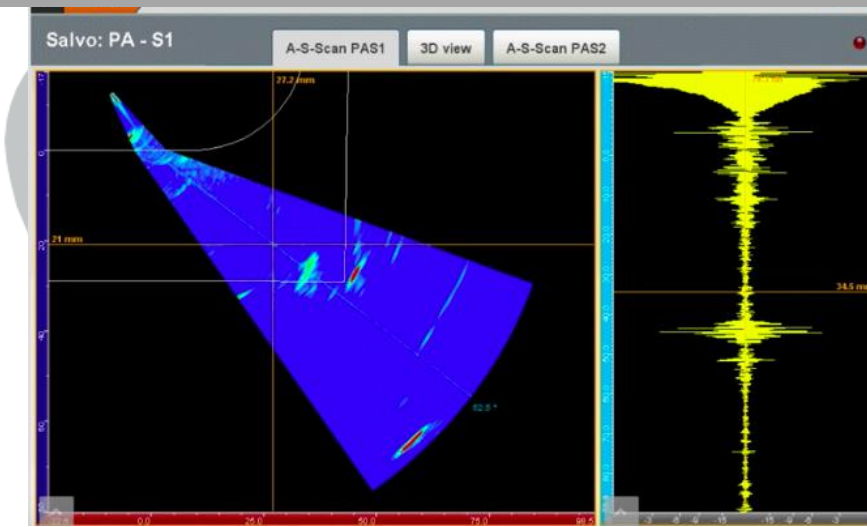
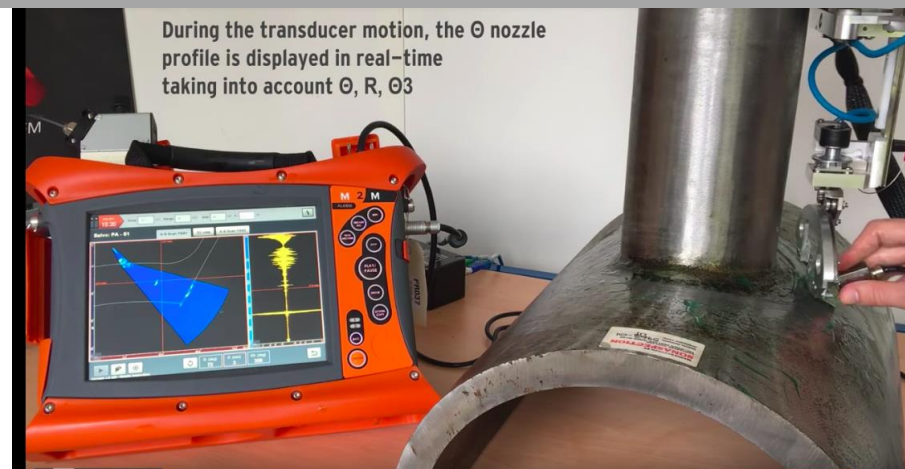
Гибкость технологии ФР и ЦФА для контроля СС патрубков



3D-модель и расчет зоны сканирования

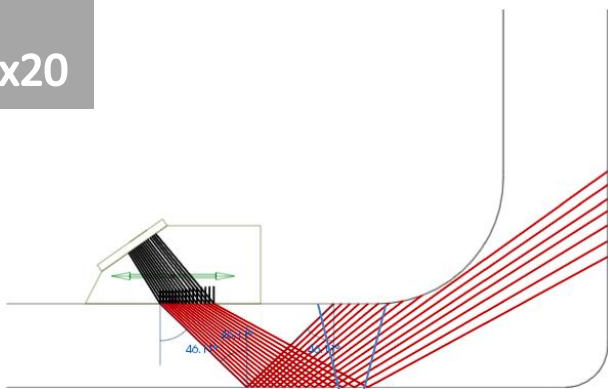


Наложение 3D - модели на данные контроля



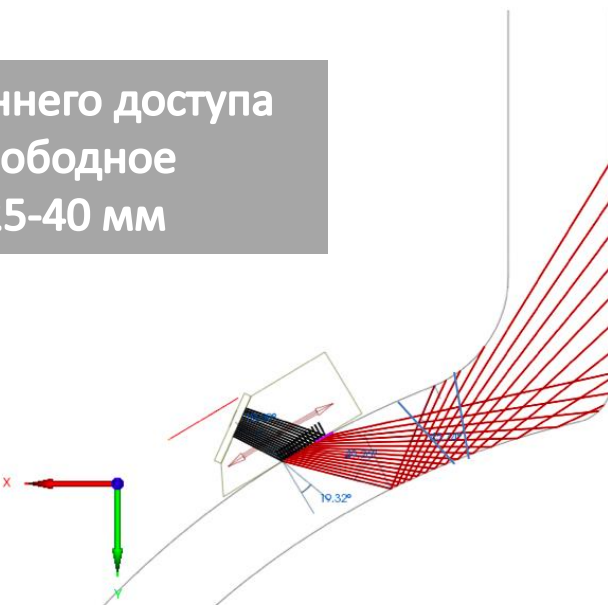
SWEEP-O-LET на трубе диаметром 426 мм

Труба: 426x20
Sweep-o-let: 89x20

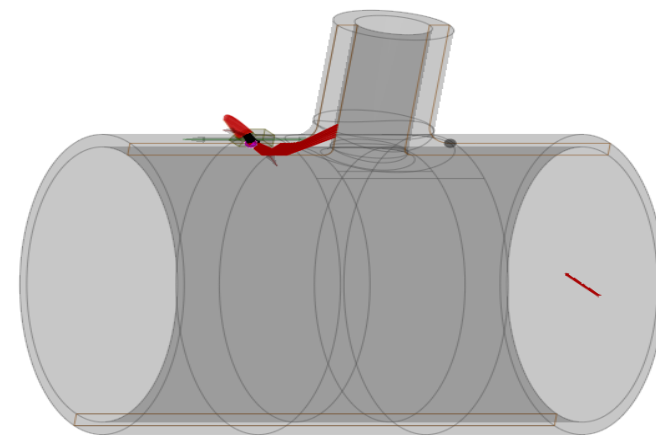


Сечение 0 градусов

Для двухстороннего доступа
необходимо свободное
пространство 25-40 мм



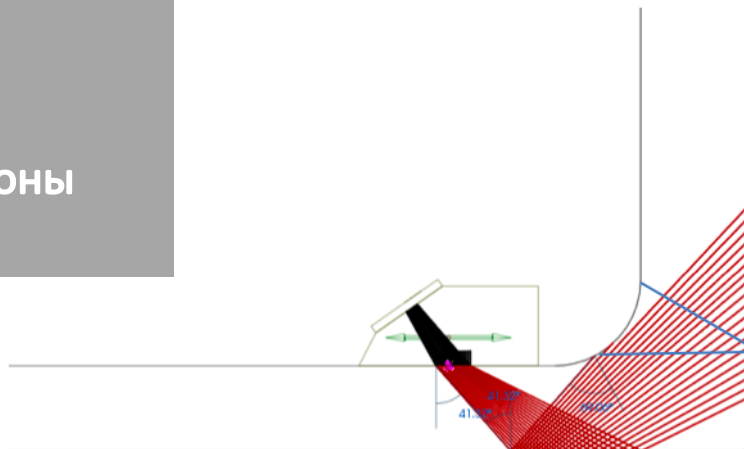
Сечение 90 градусов



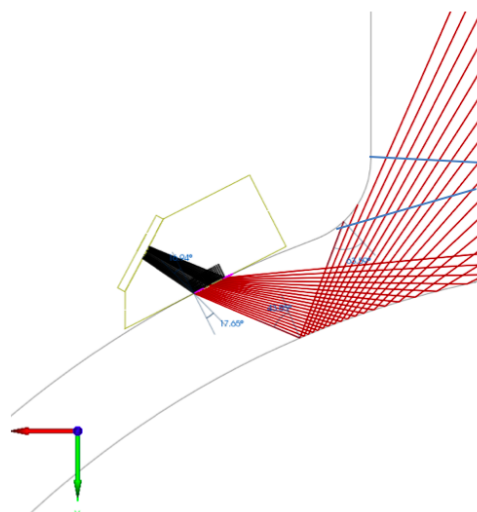
WELD-O-LET на трубе диаметром 426 мм (со стороны трубы)

Труба: 426x20
Weld-o-let: 89x20

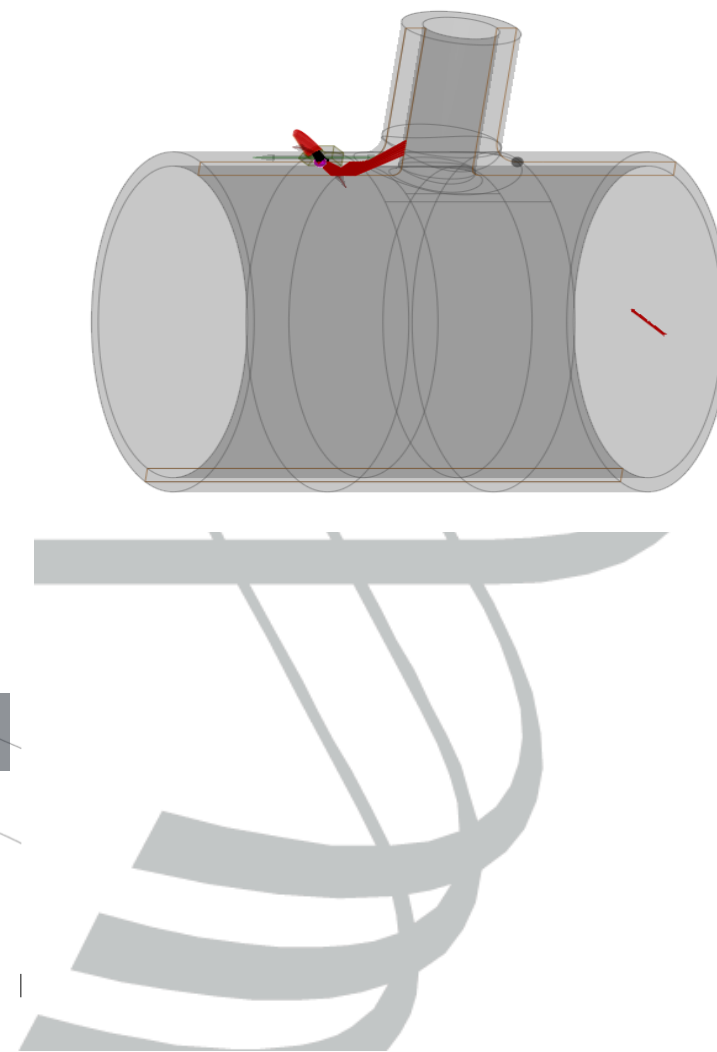
Контроль со стороны
трубы



Сечение 0 градусов



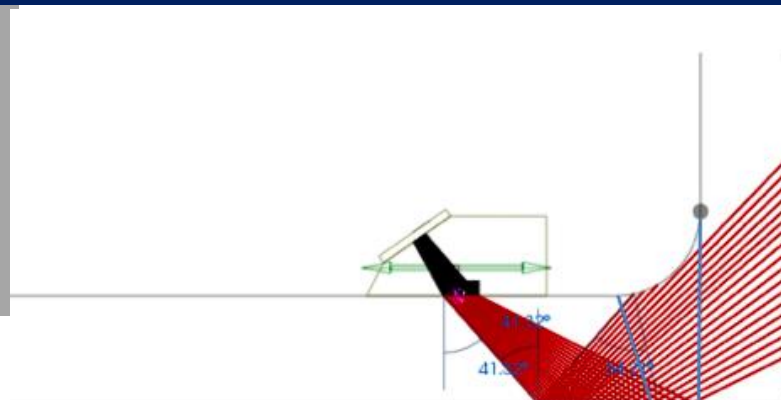
Сечение 90 градусов



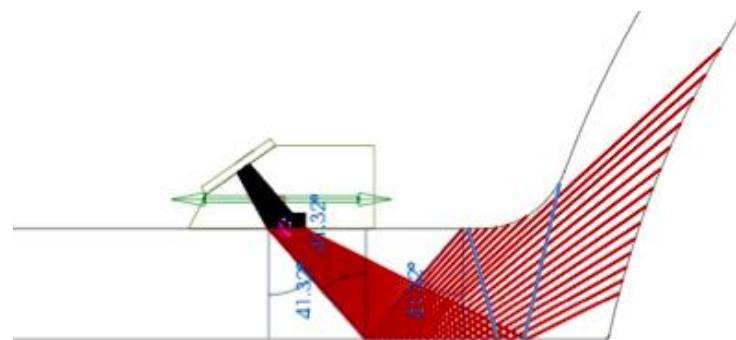
WELD-O-LET на трубе диаметром 426 мм (со стороны патрубка)

Труба: 426x20
Weld-o-let: 89x20

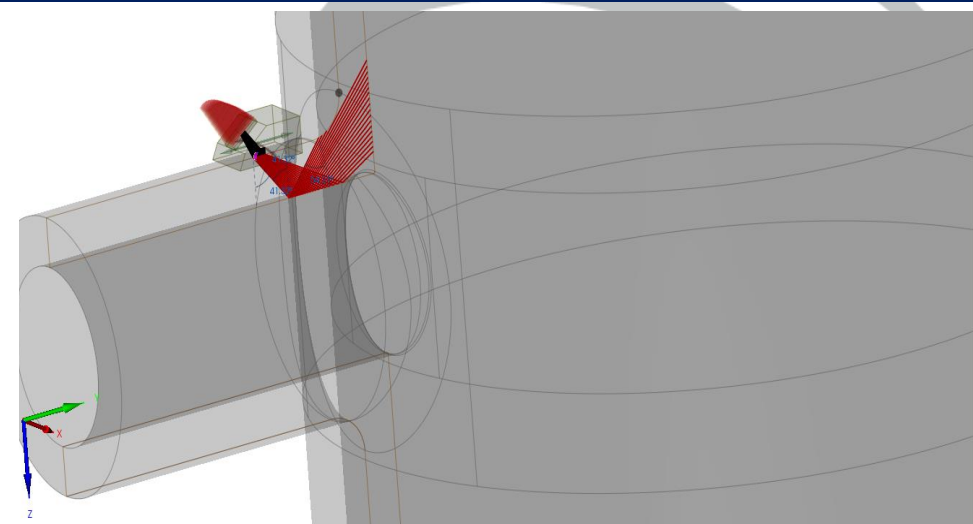
Контроль со стороны
патрубка



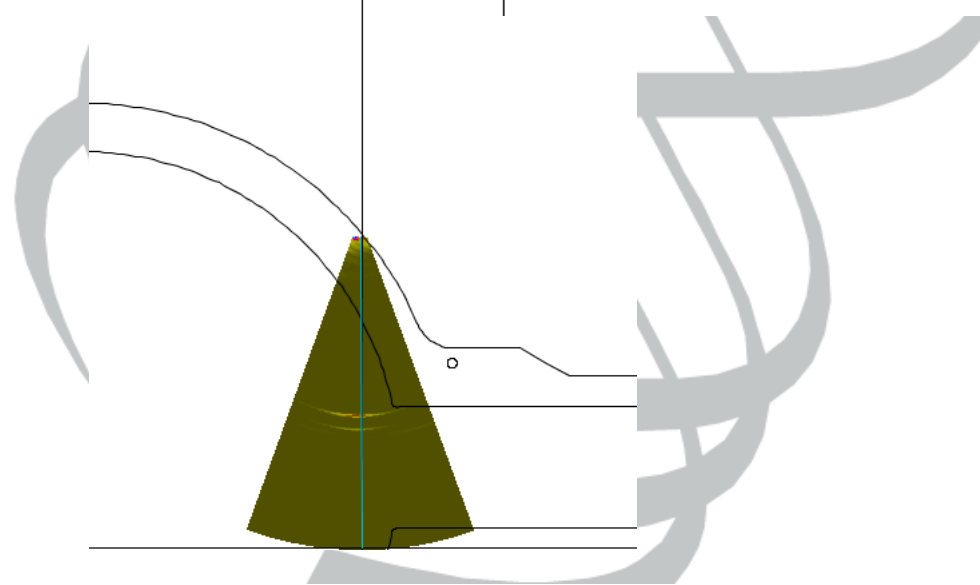
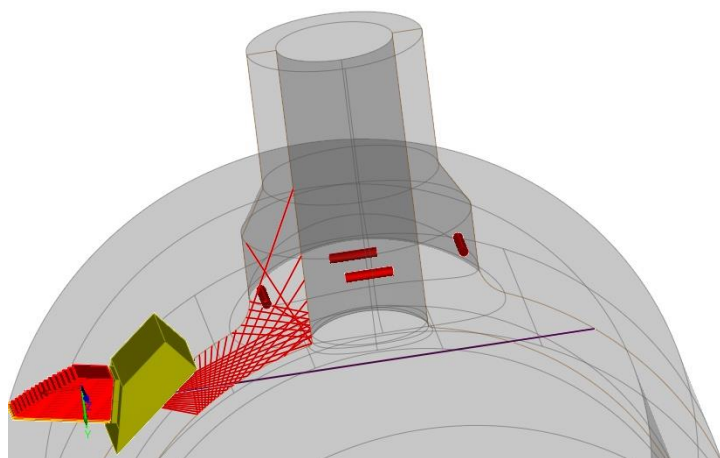
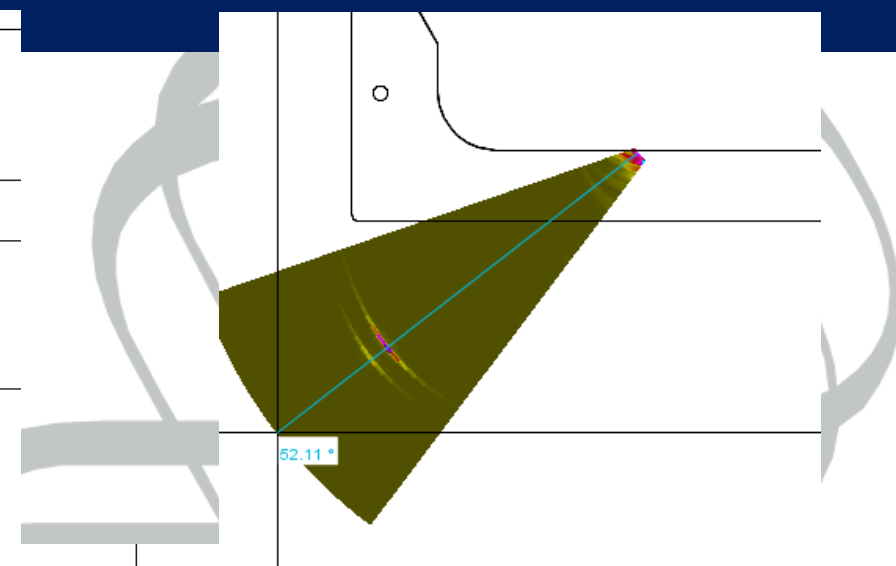
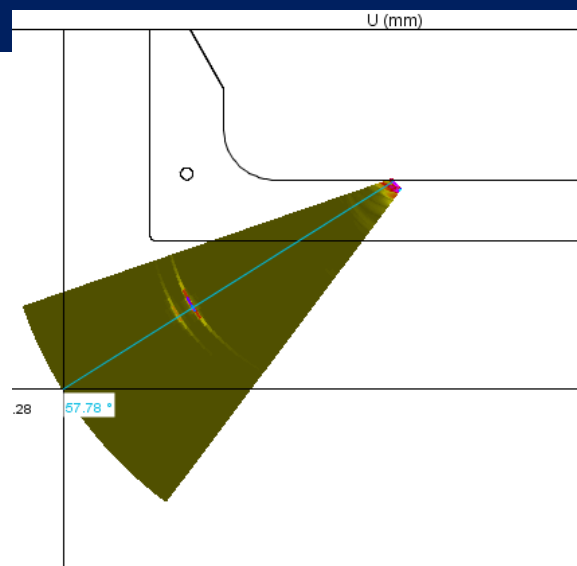
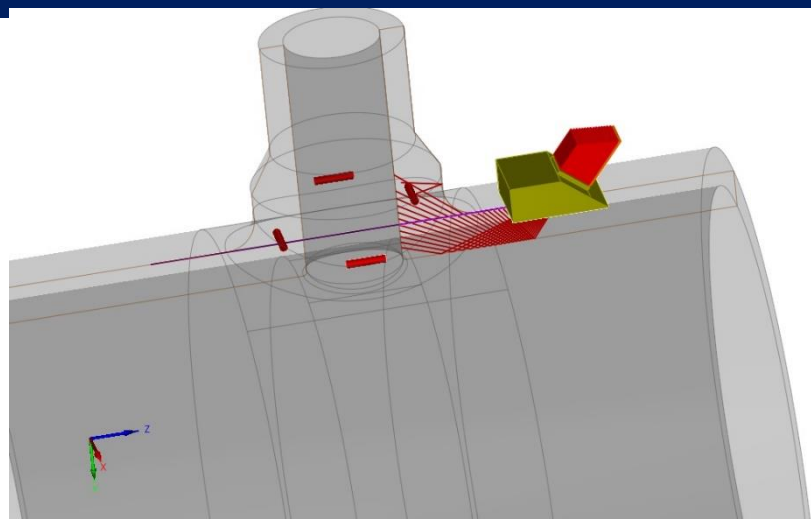
Сечение 0 градусов



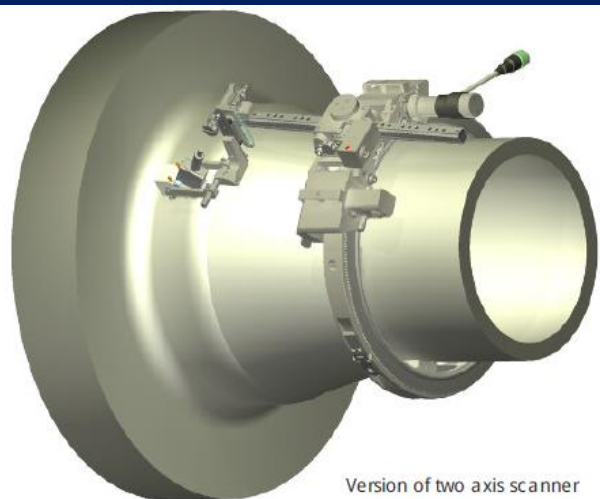
Сечение 90 градусов



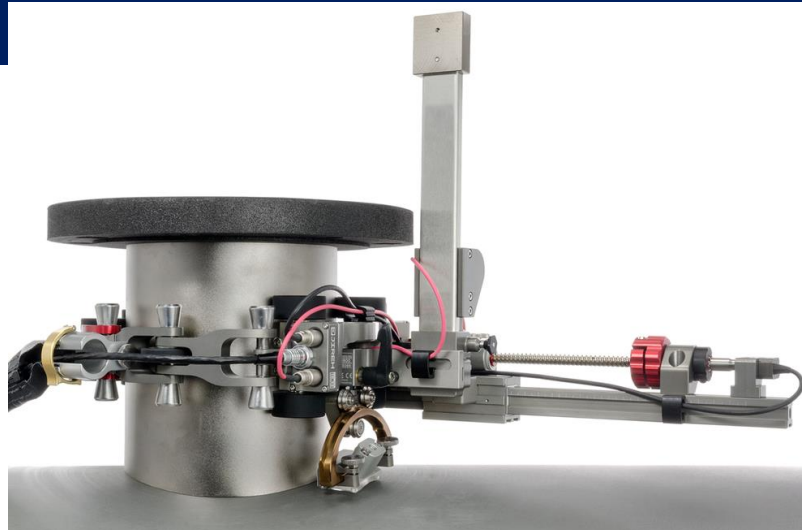
WELD-O-LET 1" на трубе диаметром 6" (150 мм)



Сканеры



Сканер патрубков
моторизованный



Низкопрофильный трехкоординатный
сканер для контроля под фланцами



Миниатюрный ручной энкодер



Трёхкоординатный ручной сканер

Обеспечение контакта на изменяющейся поверхности

1. Применение густой смазки
2. Добавление канала для слежением за акустическим контактом

AR для патрубков

- Задача контроля сварных соединений приварных бобышек и фланцев с полным проплавлением, вварки горловин стыковым швом решается с применением технологии фазированных решеток (цифровой фокусировки антенны): для диаметра трубы (обечайки) 219 мм и более и толщины привариваемой детали не менее 10-12 мм при диаметре не менее 30-50 мм
- Высокая достоверность контроля с применением фазированных решеток обеспечивается за счет:
 - Визуализации сечений объекта контроля сложной формы с применением нескольких схем прозвучивания одновременно
 - Записи результатов контроля
 - Построения 3D модели контролируемого объекта с привязкой к результатам контроля, что облегчает идентификацию выявленных отражателей

ФАР и ЦФА-дефектоскоп АВГУР-АРТ

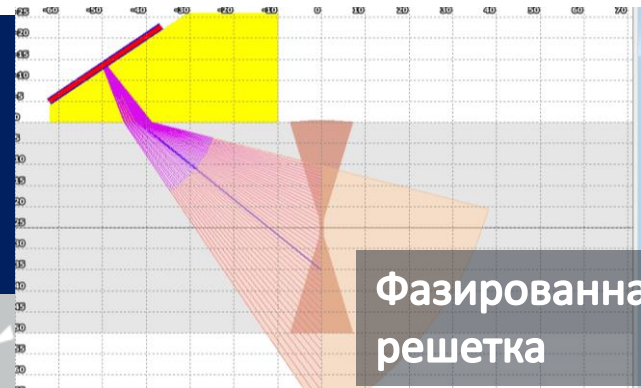


УПРАВЛЯЮЩИЙ КОМПЬЮТЕР

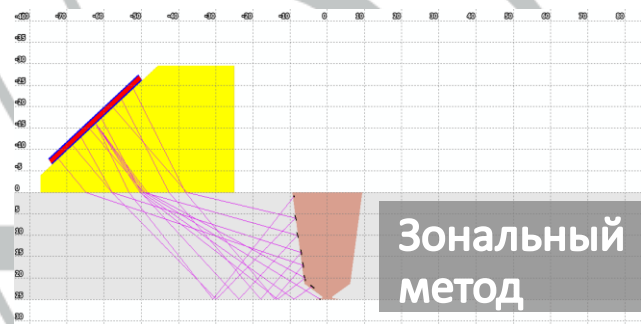
ДЕФЕКТОСКОП
64x64 канала или
64x128 каналов

ФАЗИРОВАН
НЫЕ
РЕШЕТКИ

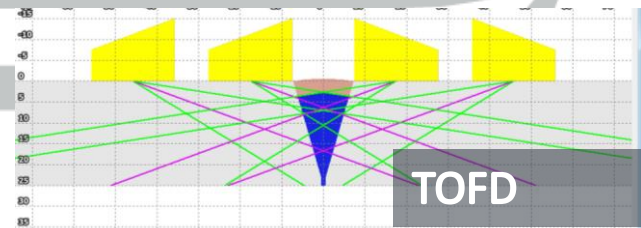
1. Метод фазирования антенной решетки (секторное, линейное сканирование) **ФАР**
2. Метод зональной фокусировки АР
3. Дифракционно-временной метод **ΔВМ (TOFD)**
4. Метод цифровой фокусировки АР **ЦФА (TFM)**
5. Модуль АВИК



Фазированная решетка



Зональный метод



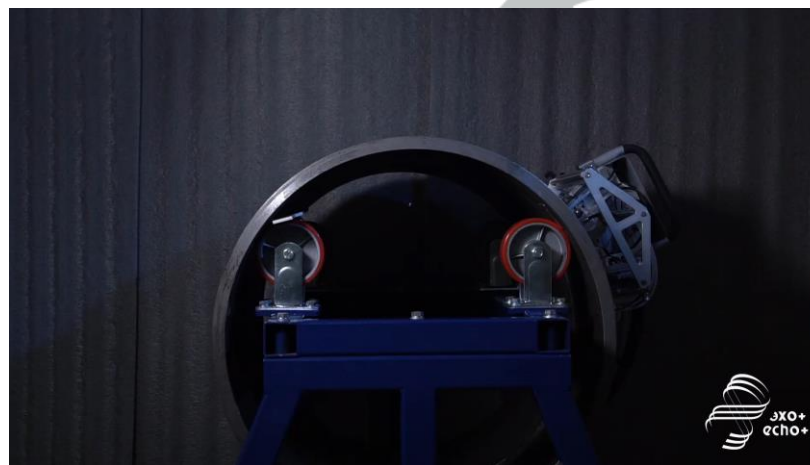
TOFD



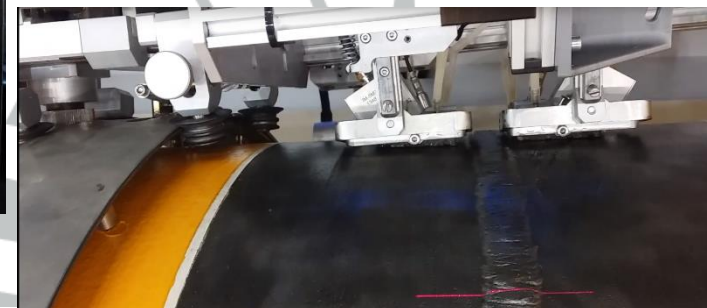
Блок системный



Блок системный в сборе со сканером



Сканер на настраежном образце Ду720



Труднодоступные СС и методики их УЗ контроля

- Приварка трубопровода ГЦТ главной запорной задвижке ВВЭР-440
- СС роторов НД
- Поковки для роторов
- СС приварки к патрубкам парогенераторов Ду1100 (разнородный шов) и Ду1200
- СС приварки к опоре реактора ИТЭР
- Измерение профиля внутренней поверхности шва под валиком усиления

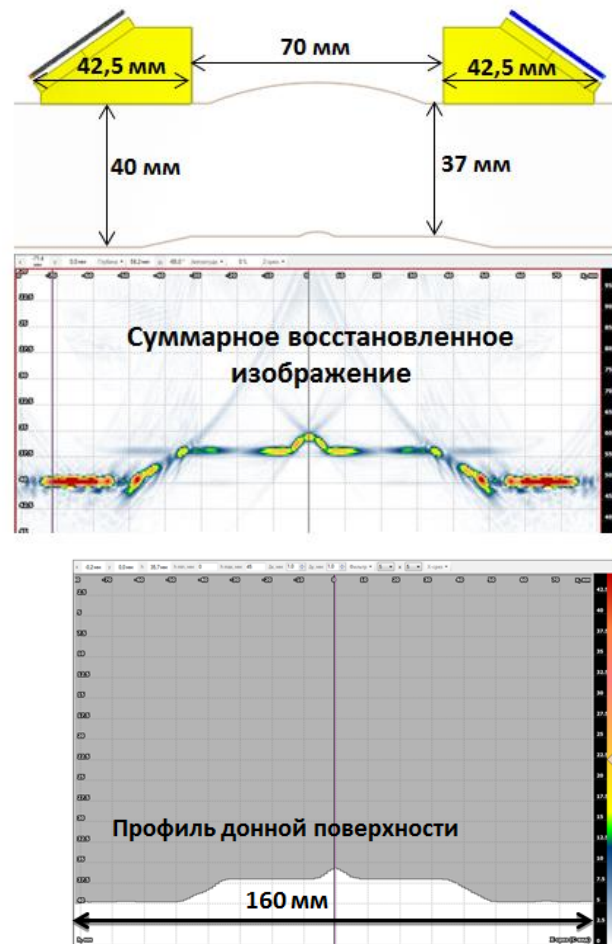


Рис. 25 – Профиль донной поверхности сварного соединения с вогнутым внутренним валиком

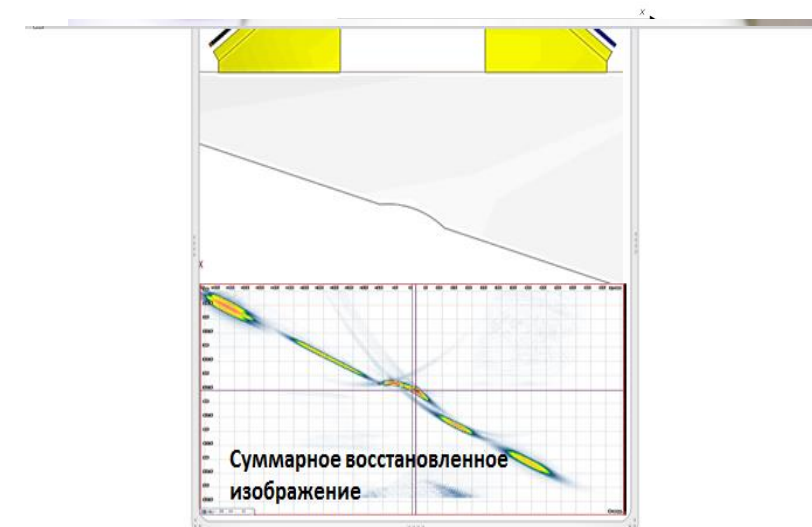


Рис. 26 – Суммарное восстановленное изображение внутренней наклонной поверхности

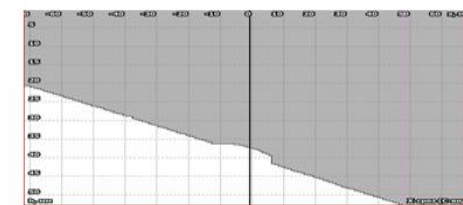


Рис. 27 – Профиль донной поверхности с внутренней наклонной поверхностью

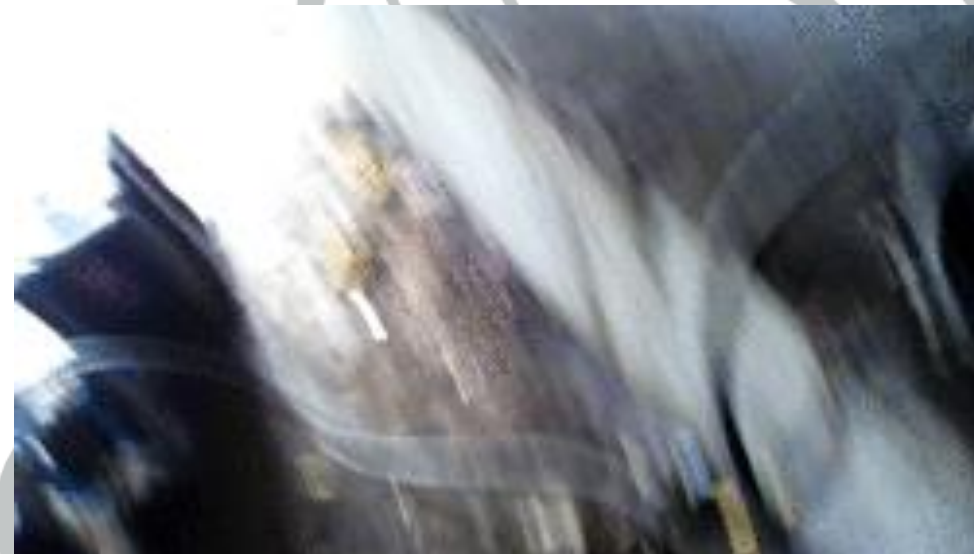
Спасибо за внимание!



ООО «НПЦ «ЭХО+»

www.echoplus.ru echo@echoplus.ru

dtikh@echoplus.ru



Спасибо за внимание!



ООО «НПЦ «ЭХО+»

www.echoplus.ru echo@echoplus.ru

dtikh@echoplus.ru

