

ECHOPLUS

Автоматизированный Ультразвуковой контроль как элемент цифрового контура качества сварочного производства

Андрейчиков Михаил Михайлович

Коммерческий директор ООО «НПЦ «ЭХО+»

Механизированный и автоматизированный УЗК сварных соединений: повышение достоверности и документируемости ультразвукового контроля сварных соединений.

Заседания Совета Главных сварщиков Ассоциации Промышленных предприятий Санкт-Петербурга

В 1996-2020 созданы несколько поколений систем «АВГУР» для применения в различных отраслях



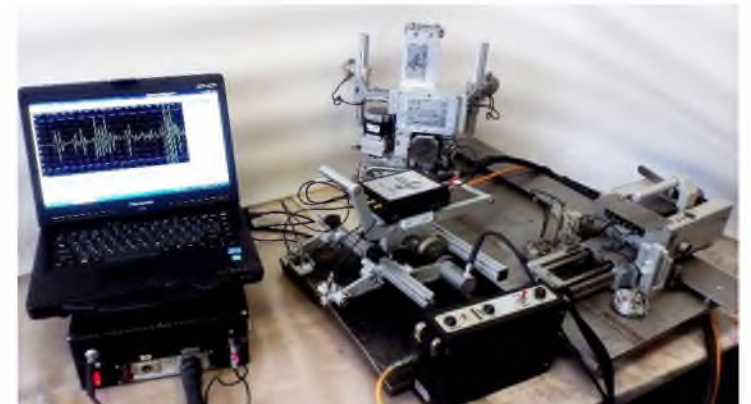
АВГУР 4.2 / 1996

SAFT Росэнергоатом,
Транснефть



АВГУР 5.2 / 2002

SAFT Росэнергоатом



АВГУР-Т / 2008

3D-SAFT, TOFD, контроль Газпром,
Уралхиммаш, Ижорские заводы

В 1996-2020 созданы несколько поколений систем «АВГУР» для применения в различных отраслях



АВГУР-АРТ / 2012

ФАР, ЦФА Росэнергоатом,
ЛМЗ, Красный котельщик



АВГУР-ТФ / 2017

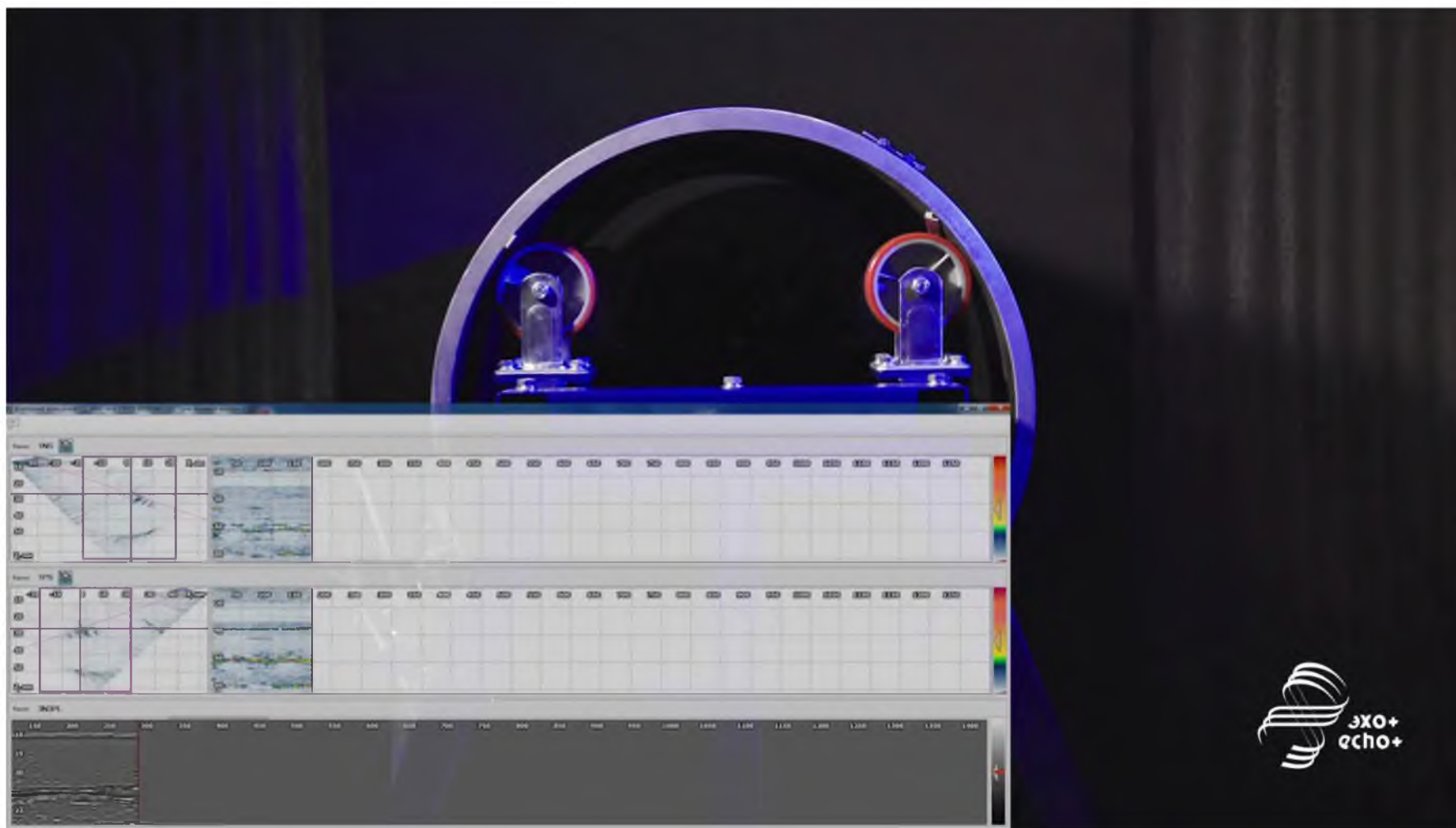
ФАР, ЦФА, TOFD, Газпром,
Северный Поток - 2



АВГУР-АРТ / 2020

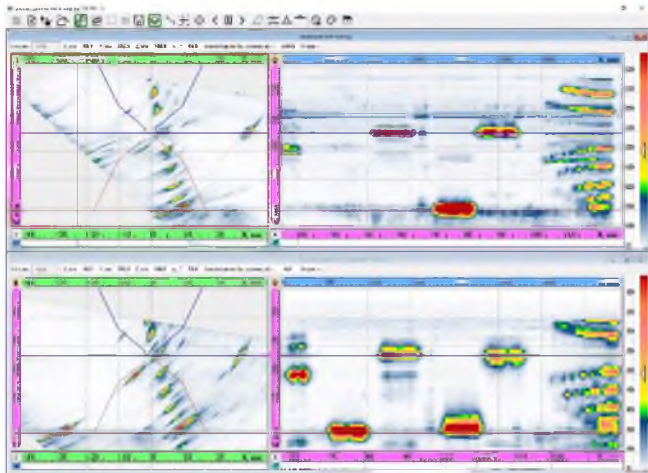
ФАР, ЦФА, TOFD, Росэнергоатом,
Газпром, Транснефть и иное

Автоматизация УЗ неразрушающего контроля

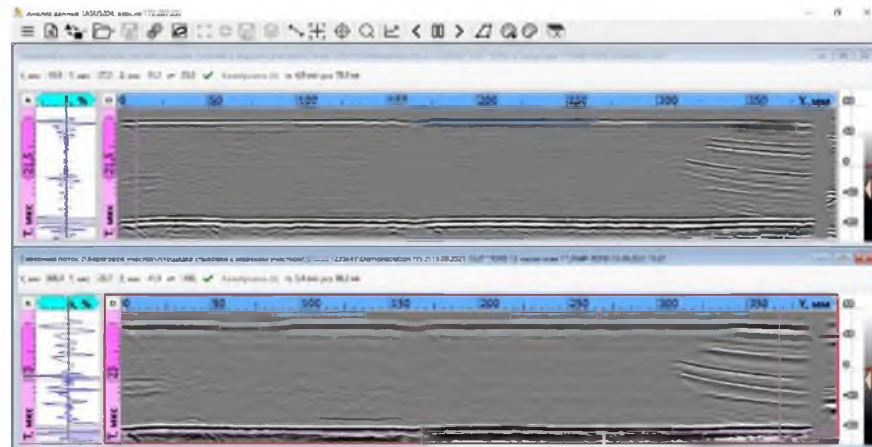


Современные требования к системам УЗК

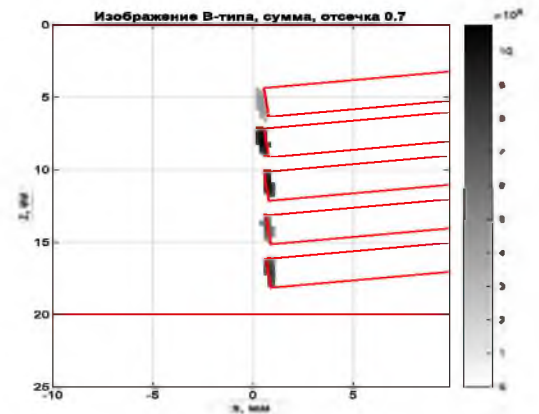
1. **Режим ФАР:** секторное прозвучивание фазированными антенными решётками (ФАР)
2. **ДВМ|ТОFD:** дифракционно-временной метод и модификации (A-TOFD, Echo-TOFD, ФАР-TOFD)
3. **Зональный контроль:** метод зональной фокусировки антенных решёток для сварных соединений с узкой разделкой
4. **Дополнительные схемы:** на поперечные и произвольно ориентированные дефекты
5. **ЦФА|TFM:** Цифровая Фокусировка Антенны (антенной решётки (АР))



ФАР



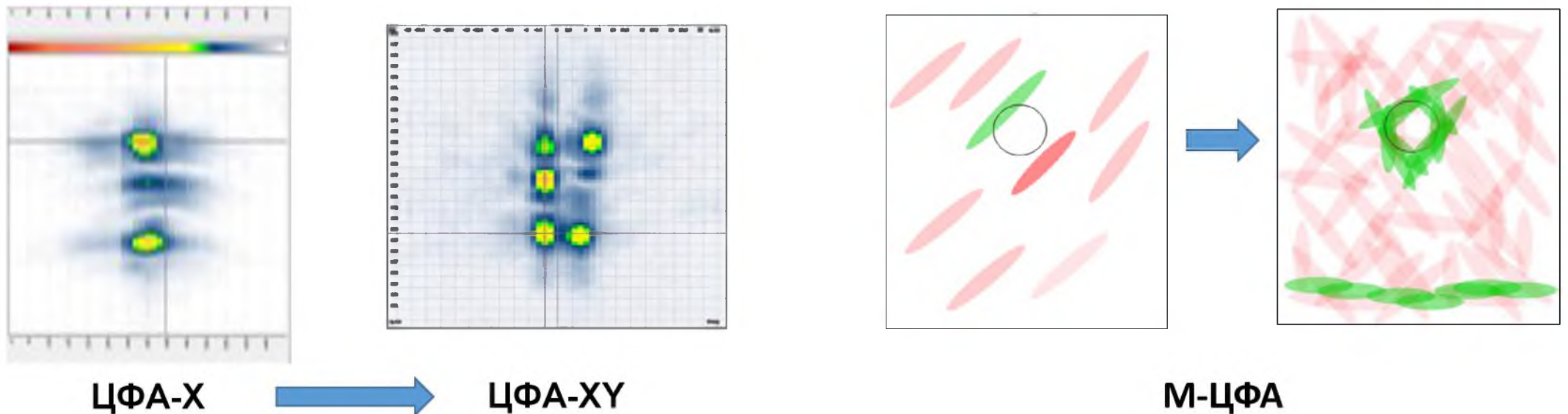
ДВМ|ТОFD



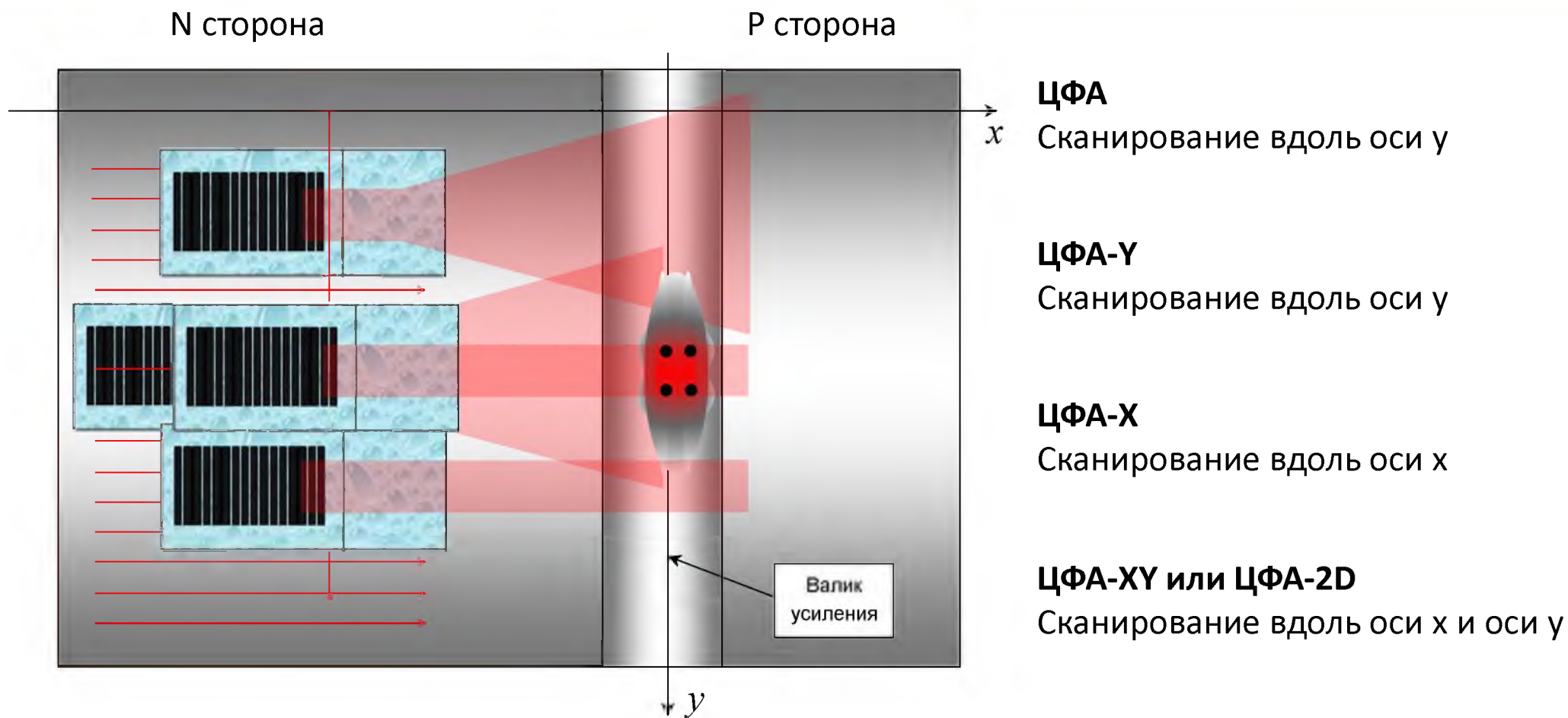
Зональный контроль

Сверх возможности систем АВГУР-АРТ

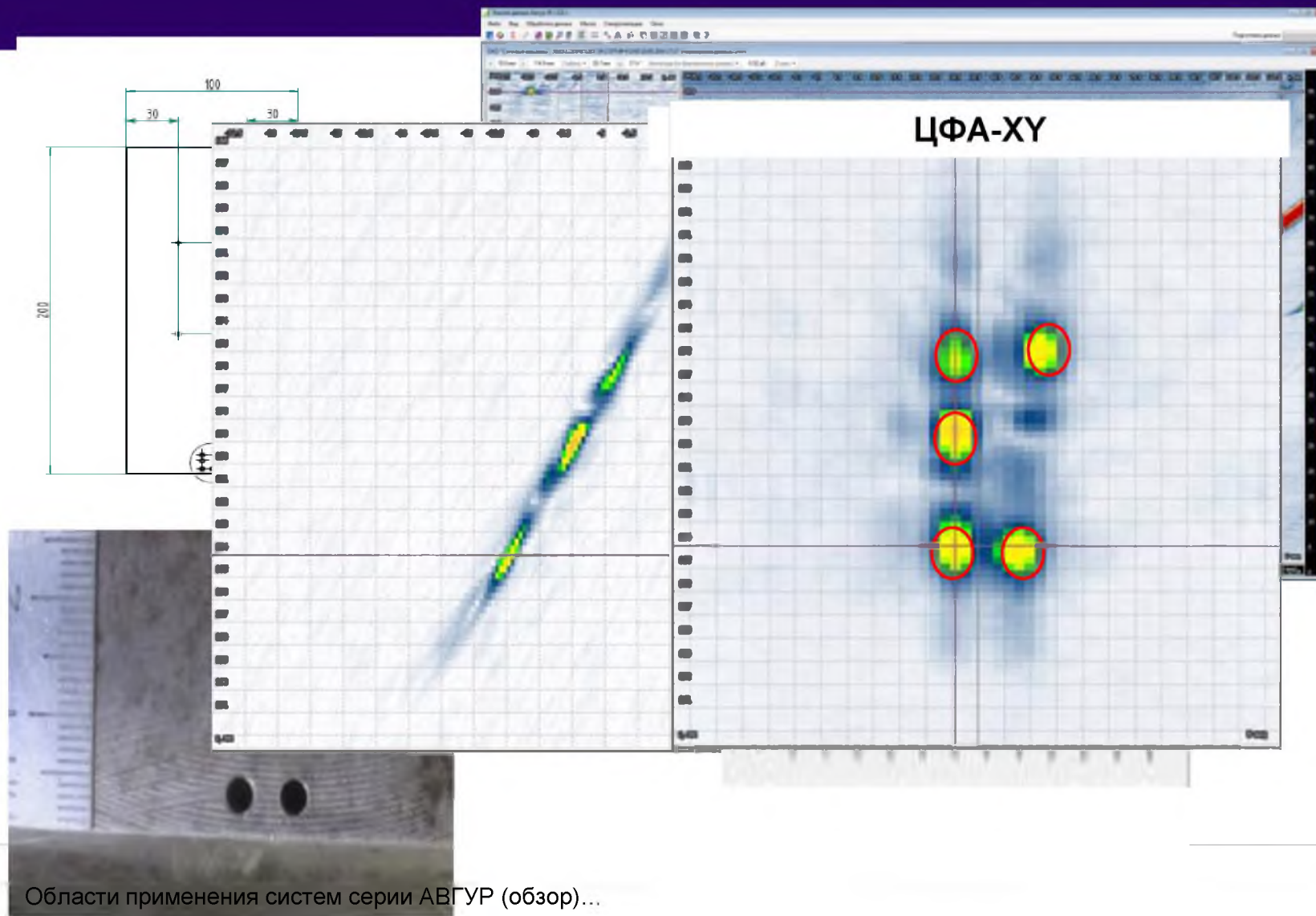
1. **Режим ЦФА-Х:** дополнительная когерентная обработка при сканировании АР по оси Х
2. **Режим ЦФА-У:** дополнительная когерентная обработка при сканировании АР по оси У
3. **Режим ЦФА-ХУ:** дополнительная когерентная обработка при 2D-сканировании АР по осям ХУ
4. **Многомодовый ЦФА (М-ЦФА):** многосхемный и многомодовый режим формирования изображения
5. **PWI, Когерентный фактор, ...**



Расширение ЦФА за счёт сканирования

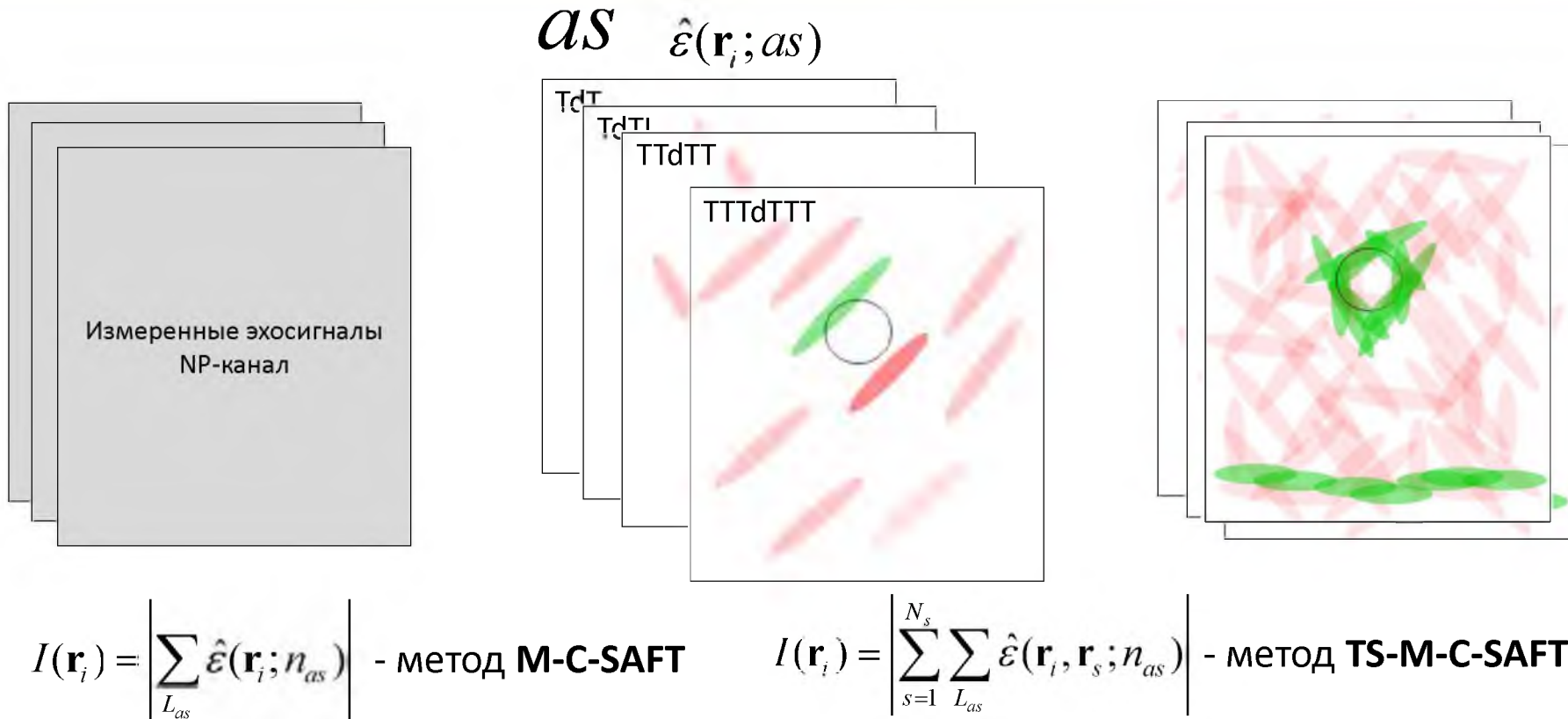


ЦФА-ХУ: тест РС на глубине 200 мм



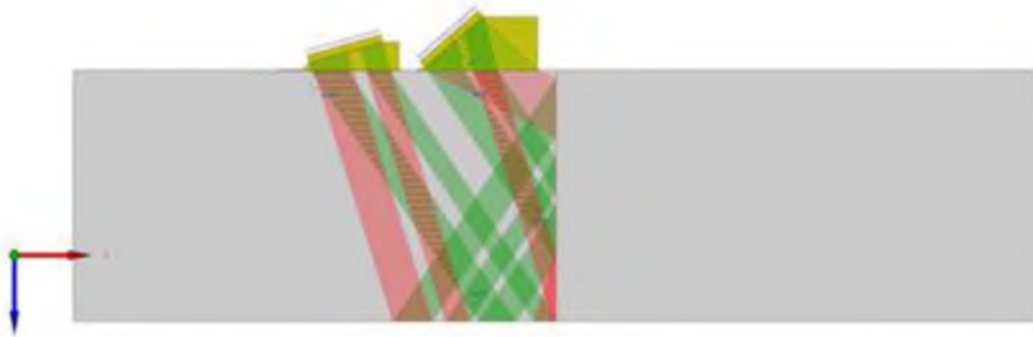
Фронтальное разрешение в основной плоскости на глубине 200 мм составляет около 1 мм, а в дополнительной плоскости - 5 мм

Расширение ЦФА за счёт многосхемности

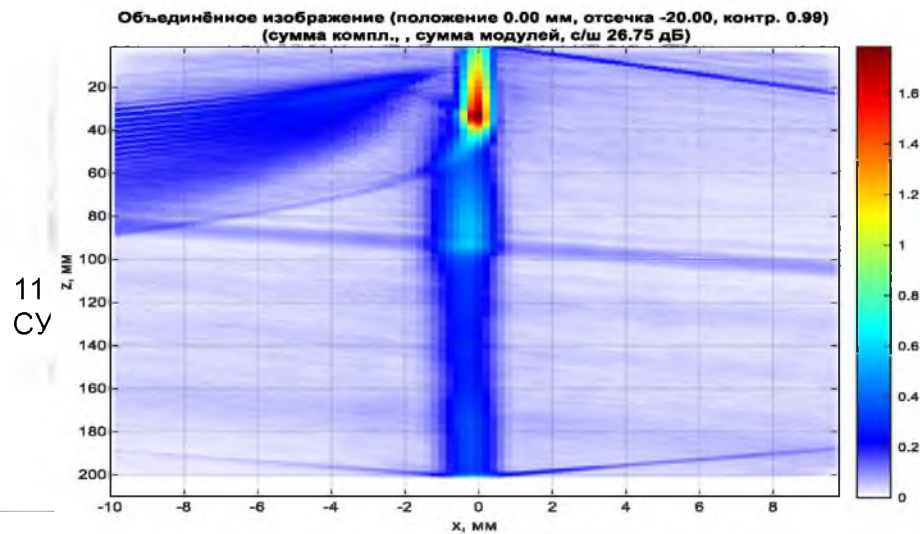


По измеренным эхосигналам корреляционным методом восстанавливаются парциальные изображения несплошностей в области восстановления изображения для акустической схемы. Методы семейства SAFT – это частный случай корреляционного метода.

Многомодовый режим ЦФА для СС корпуса реактора



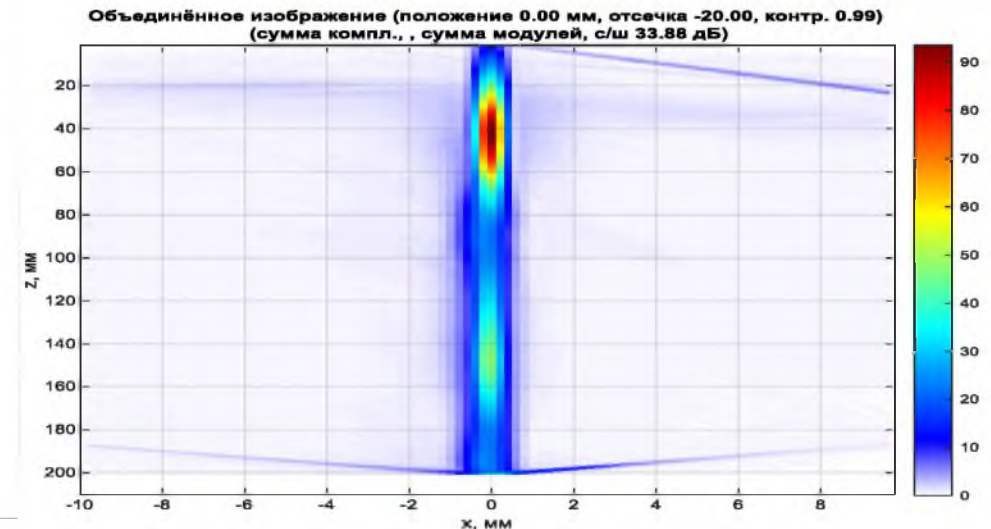
Одно положение АР



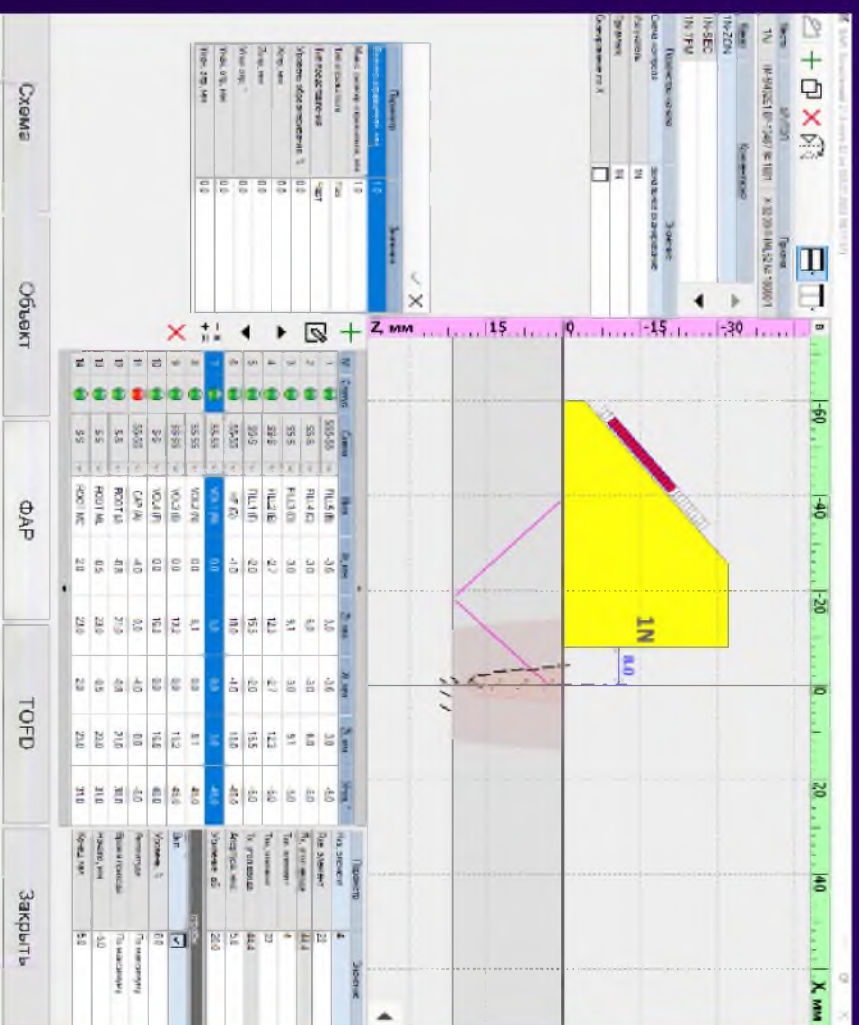
Параметры 2ух АР 32 элемента

- ❑ Частота 5 МГц
- ❑ Углы наклона 40° (ТТ) и 15° (LL)
- ❑ Длина 63 мм, шаг 2,0 мм, размер элемента 1 мм
- ❑ Длина подошвы призм 100 (ТТ) и 80 (LL) мм

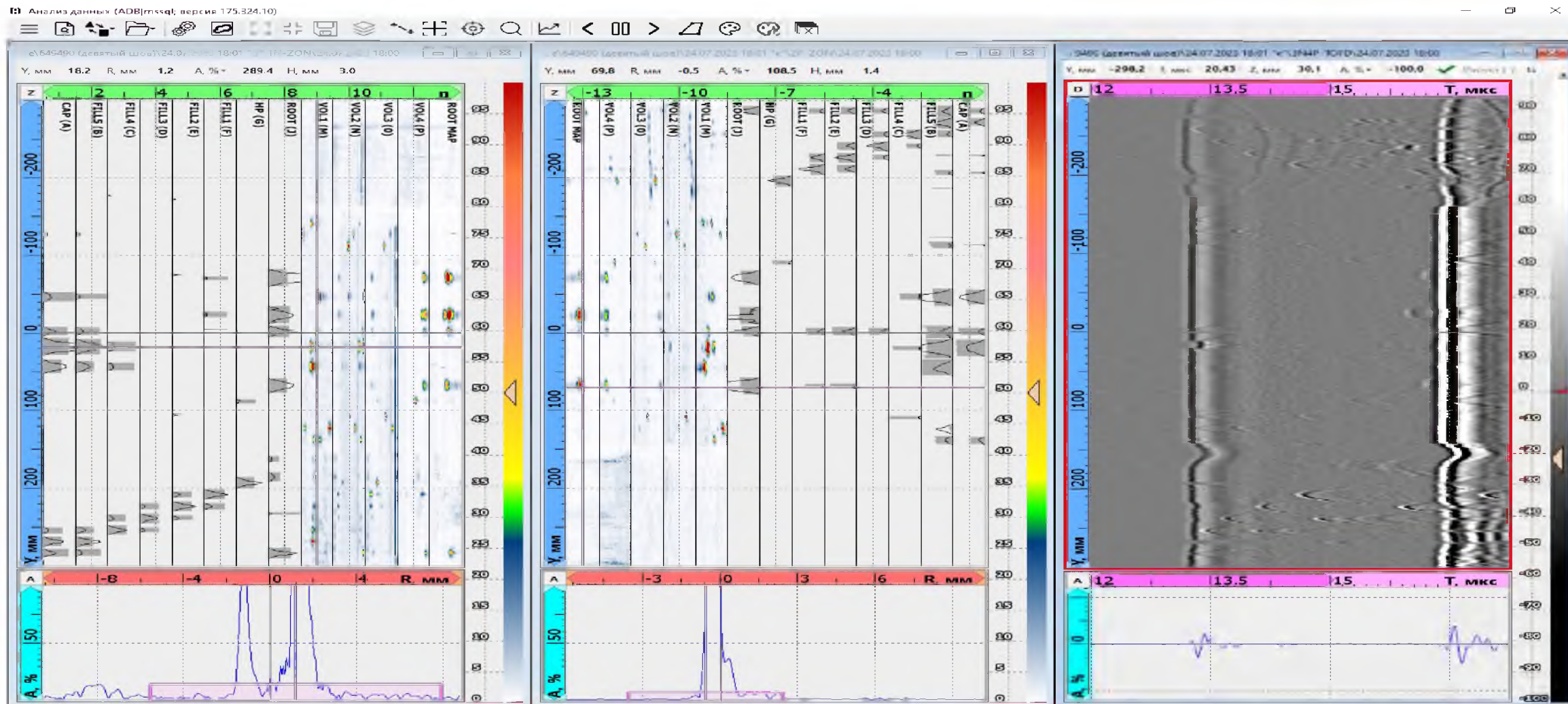
40 положений АР с шагом 2 мм



Зональный АУЗК СС с узкой раздёлкой



Представление данных - калибровка на образце



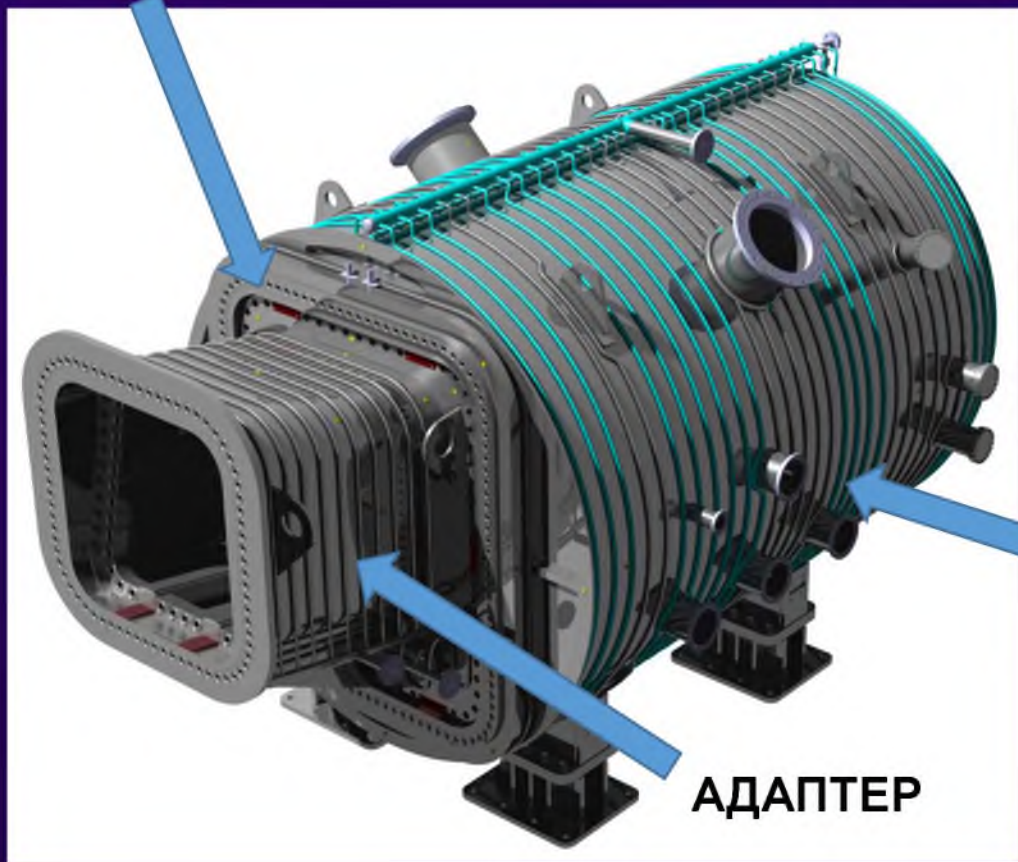
Чарты и сканы N-сторона

Чарты и сканы P-сторона

Канал ДВМ (TOFD)

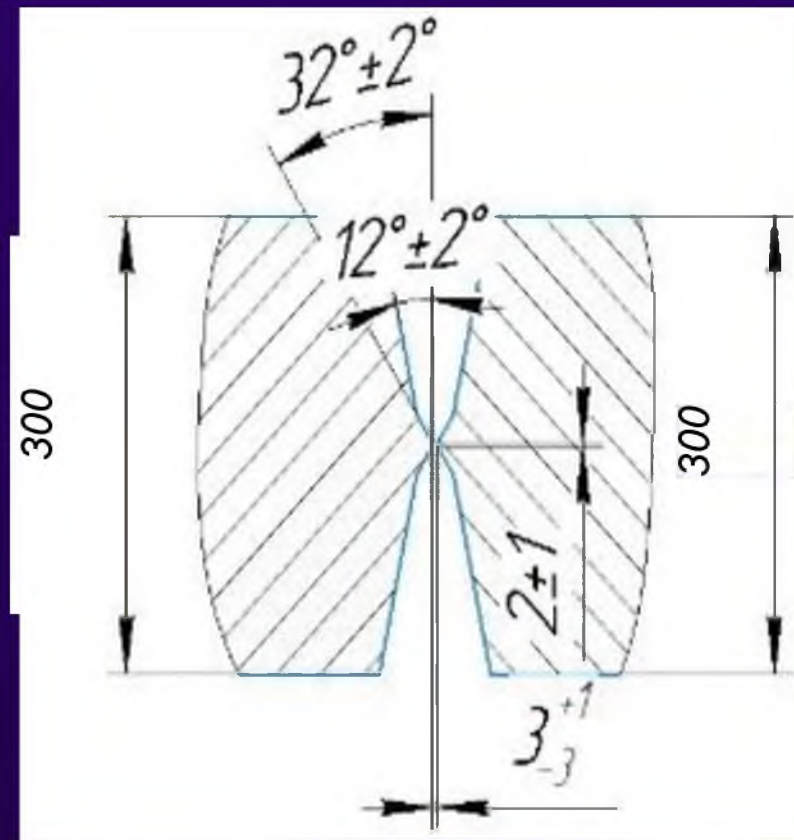
АУЗК толстостенных СС камеры ИТЕР

ФЛАНЕЦ



ОБЕЧАЙКИ

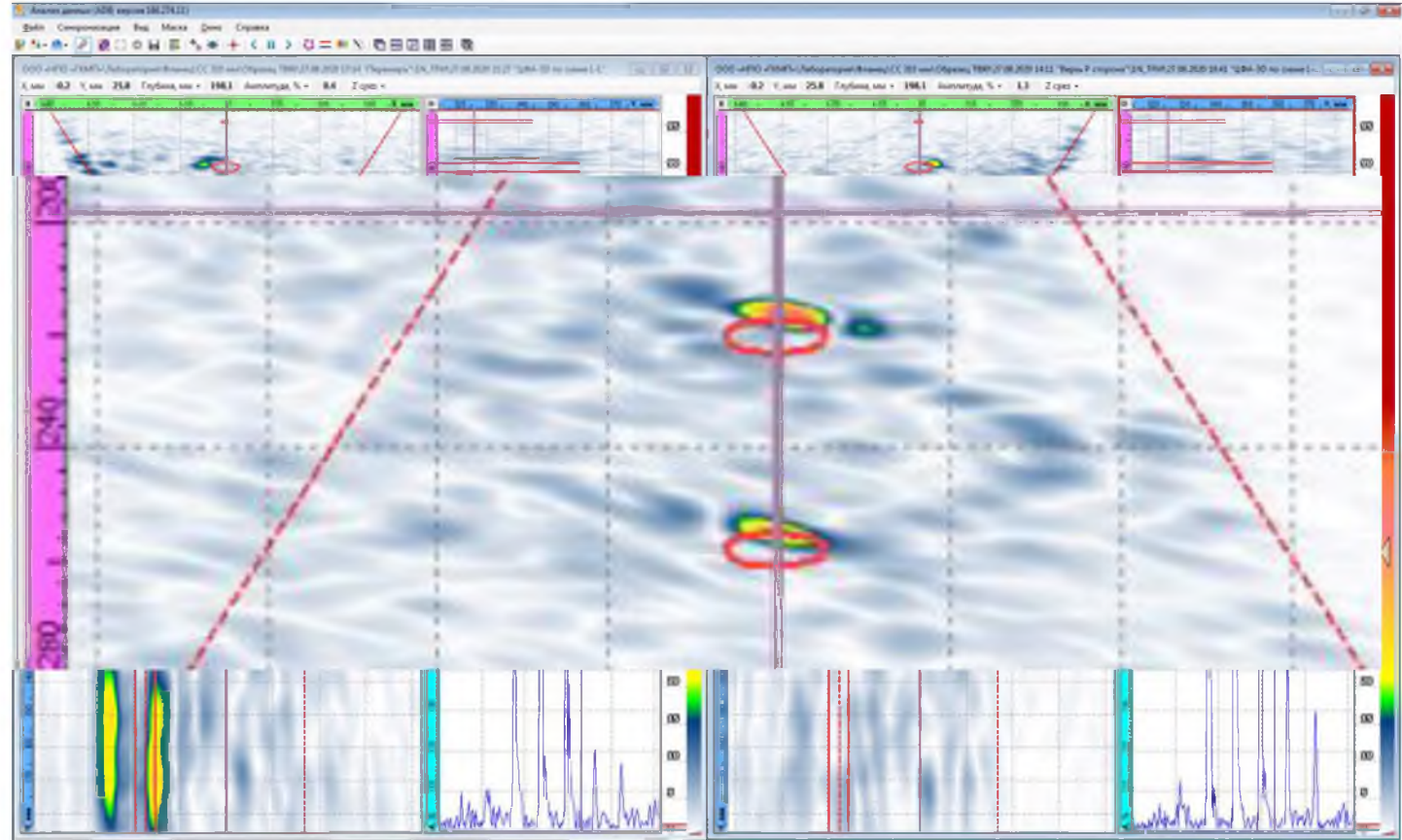
АДАПТЕР



АУЗК толстостенных СС камеры ИТЕР: настройка

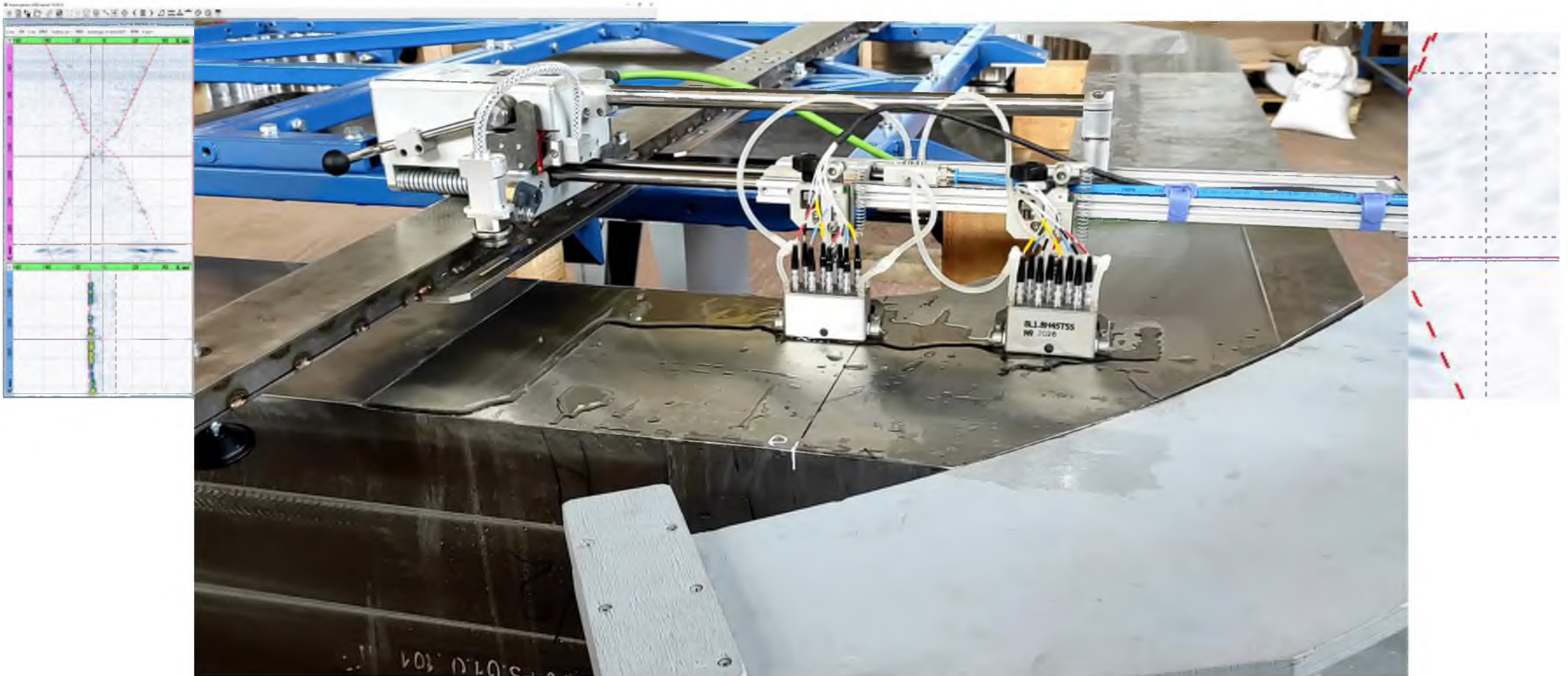


Настроечный образец для
СС толщиной 300 мм



Суммарные проекции В- и D- изображений

АУЗК толстостенных СС камеры ИТЕР

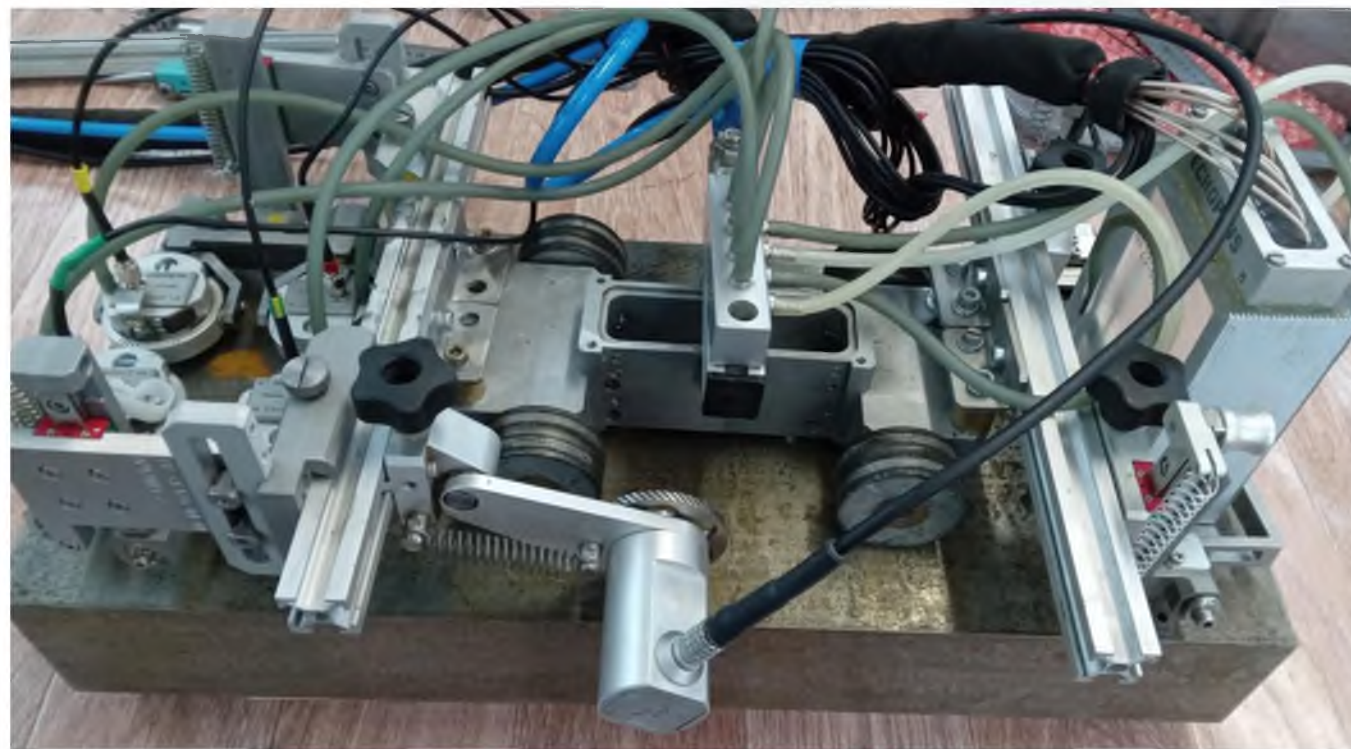
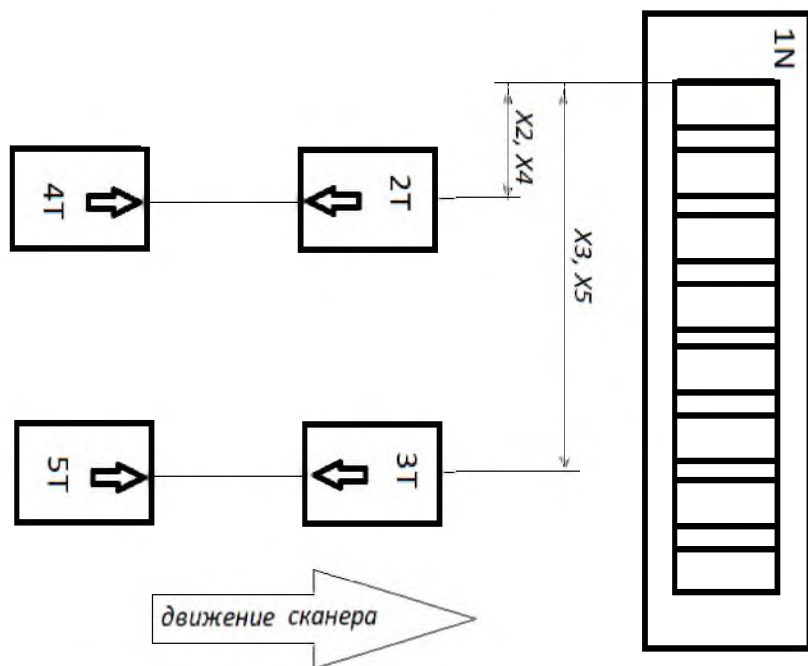


УЗК бандажей вращающихся печей

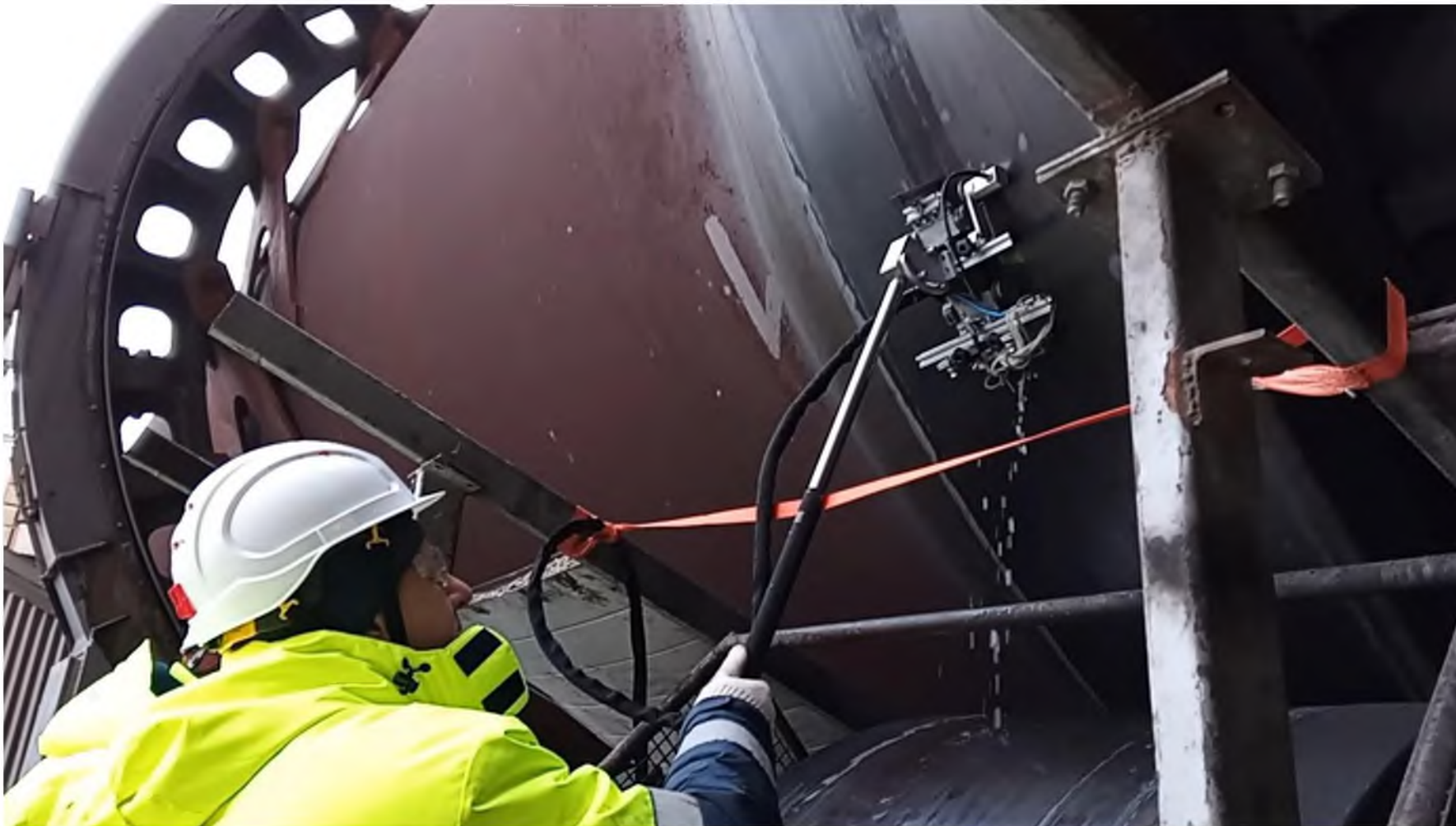


Типичное разрушение бандажа вращающейся печи в результате образования сквозной поперечной трещины

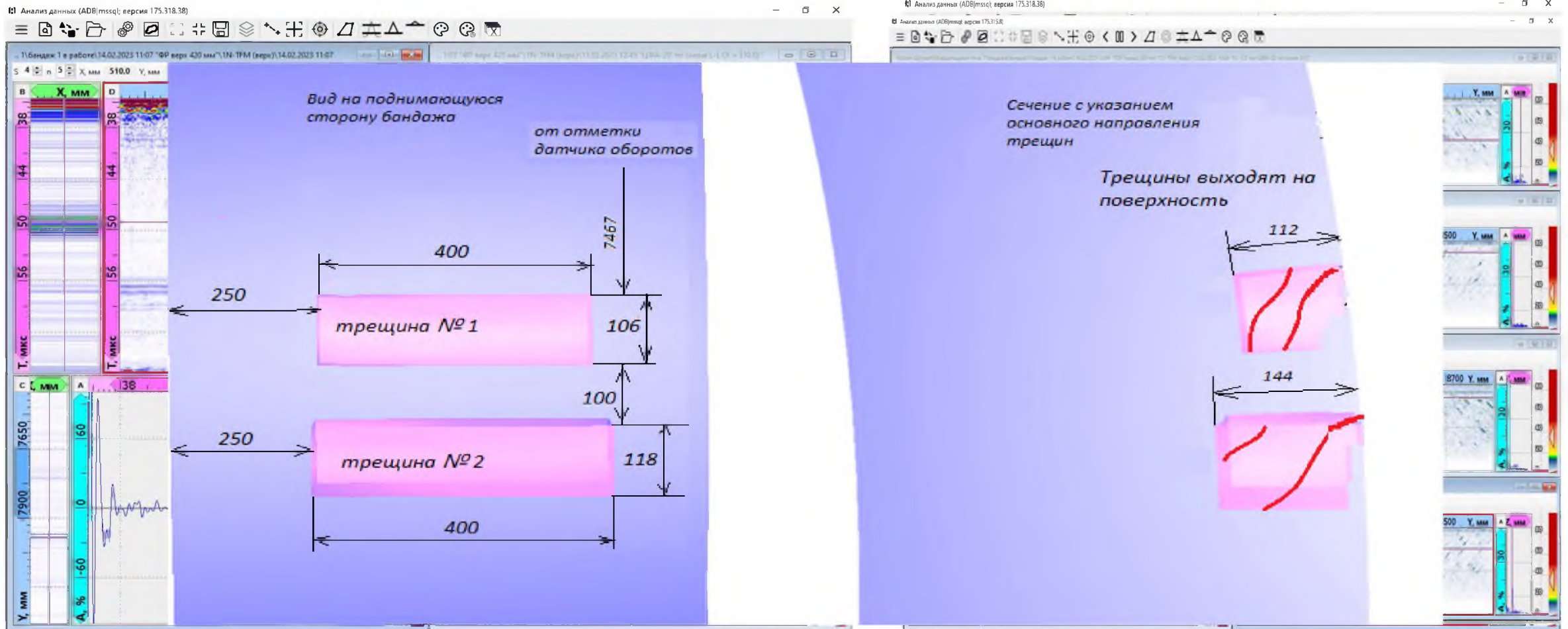
Размещение ПрАР и ПЭП на сканере



Сканирование по наружной поверхности

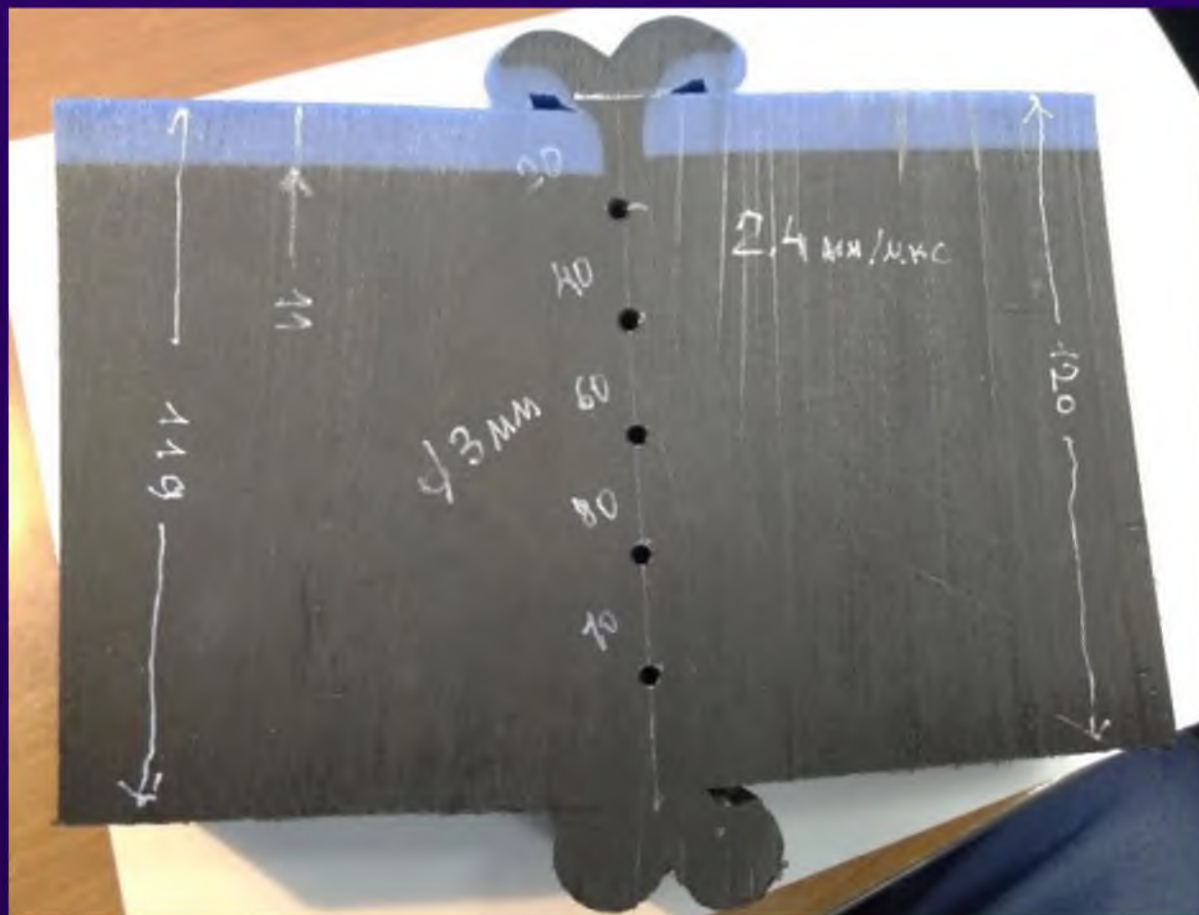


Результаты контроля

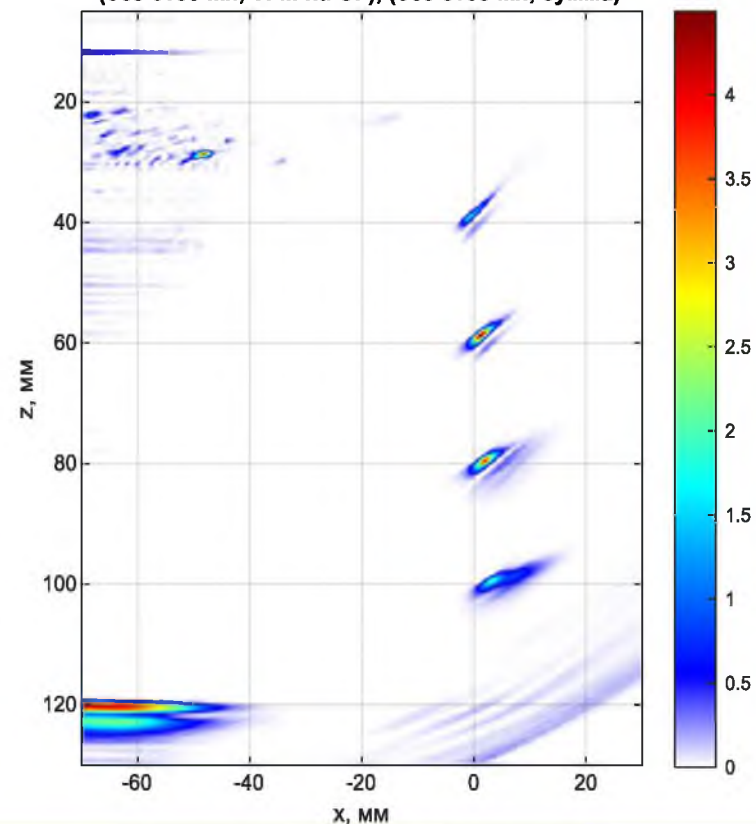


Обнаружены более 50 трещин, которые привели к замене на новый бандаж вращающейся печи

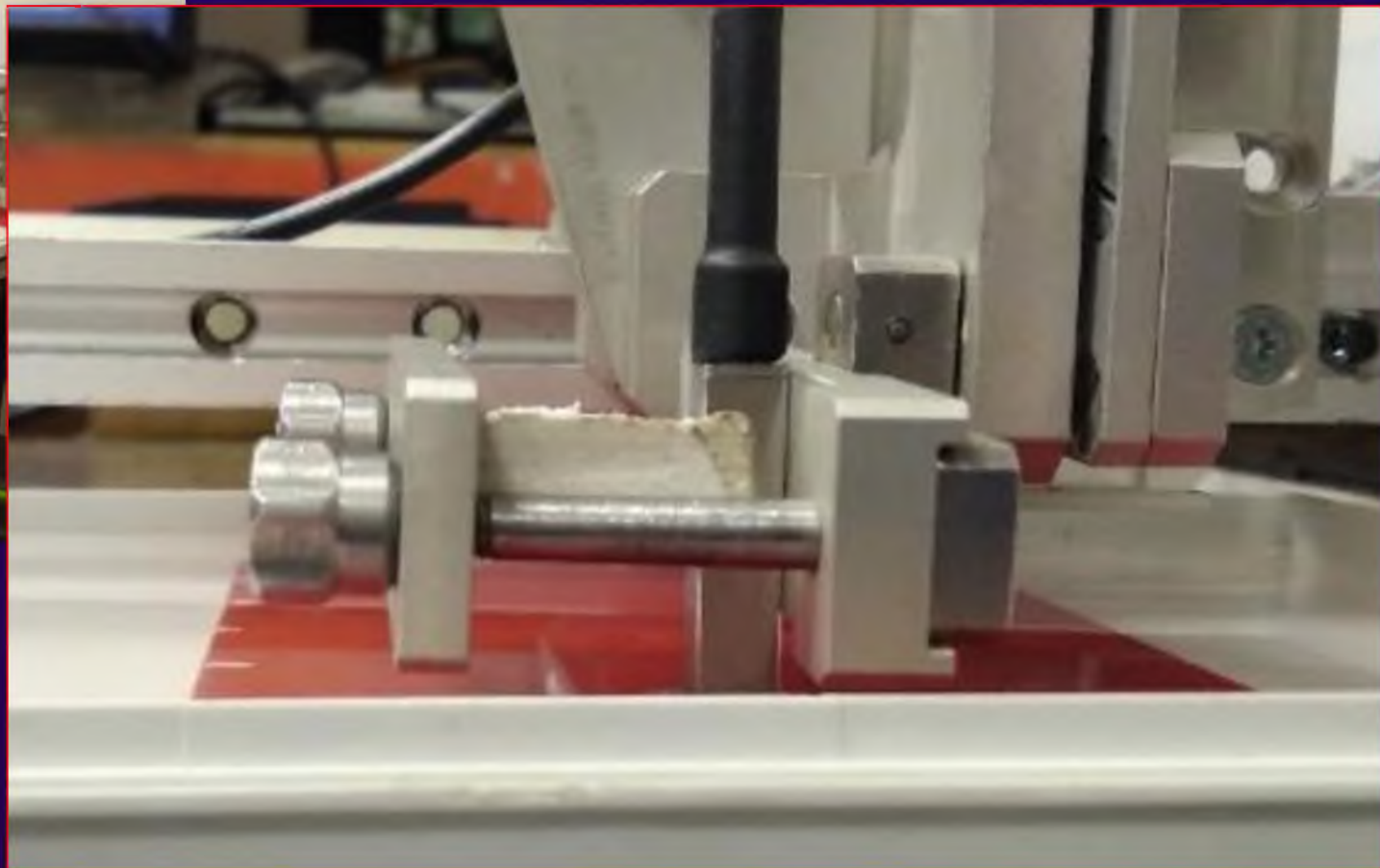
УЗК труб из полиэтилена



Изображение В-типа (контр. 1.00, в один выстр. 1, гистогр. 0, с/ш 43.6 дБ, контр. 0.99)
(без отсечки, TFM на CF), (без отсечки, сумма) $\times 10^5$



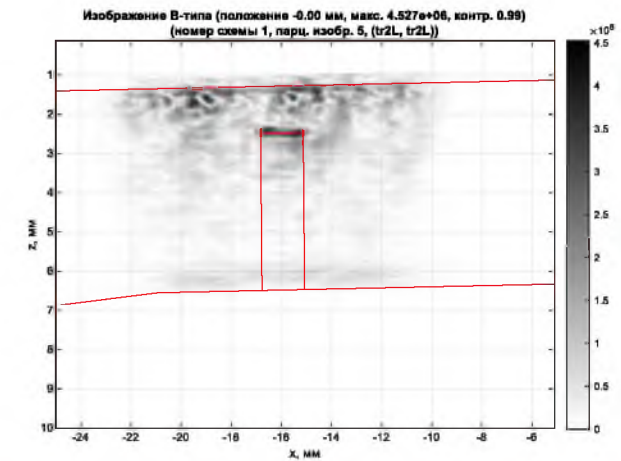
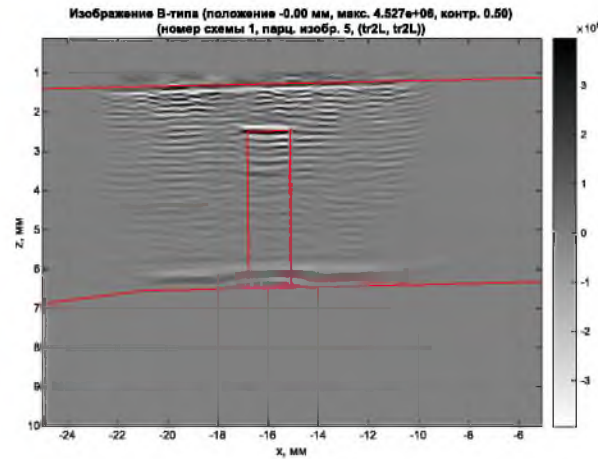
УЗК полимерно-композитных материалов



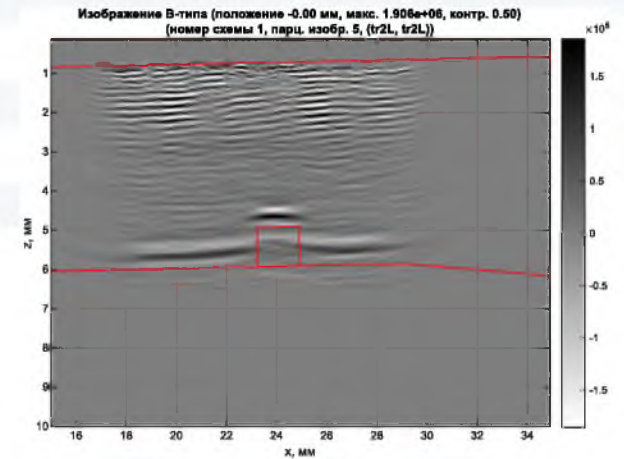
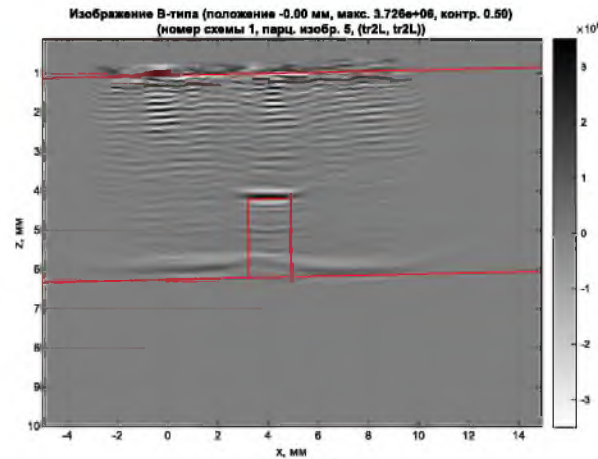
Выявление несплошностей типа непоклей (ЦФА-Х)



Диаметры от 1 до 8 мм
Глубина от 1 до 4 мм

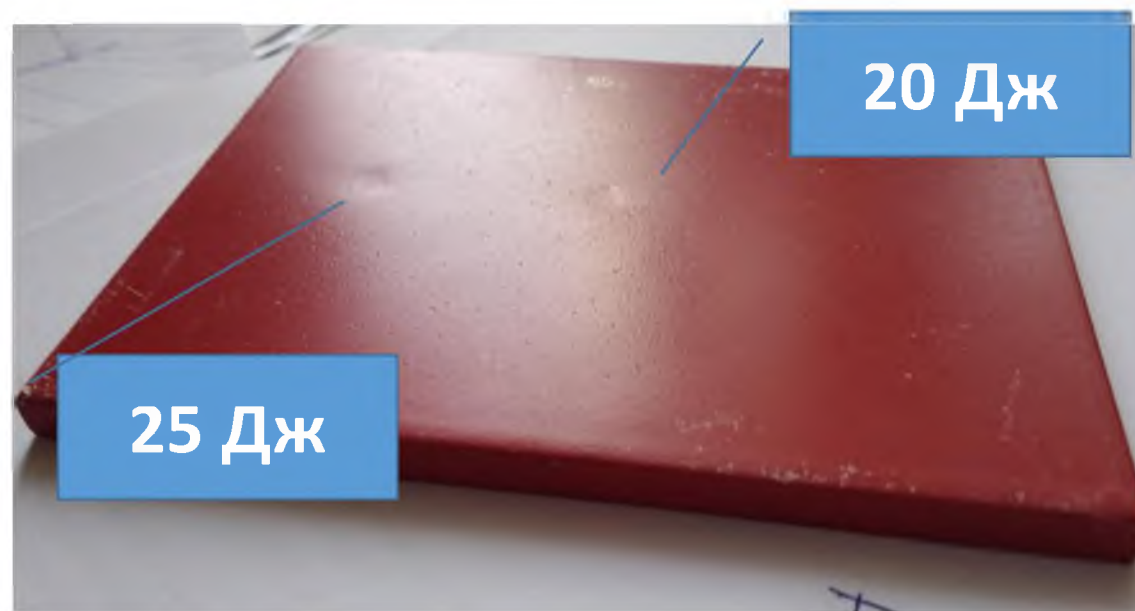


Ø 1 мм с засверловкой на глубину 2 мм

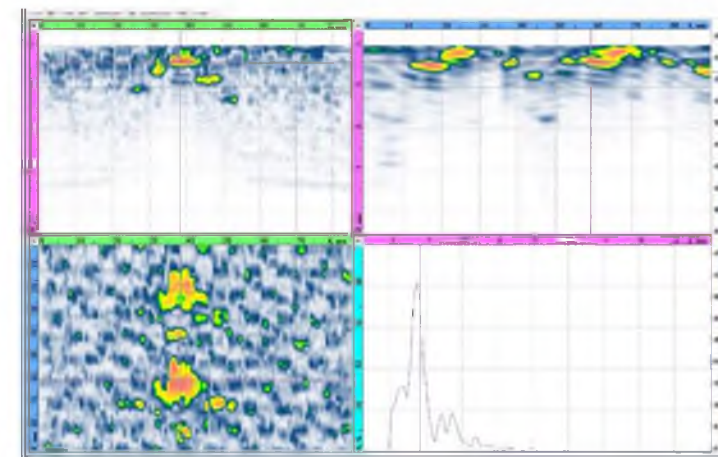


Ø 2 мм с засверловкой на глубинах 2 и 1 мм

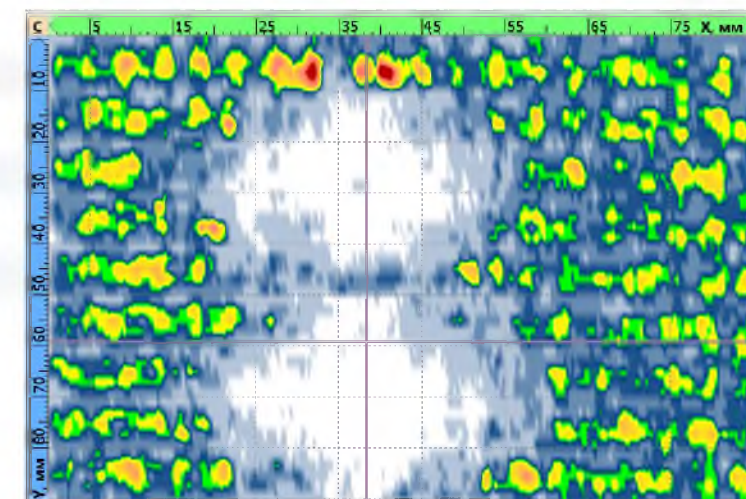
Выявление несплошностей типа непроклей (ЦФА-Х)



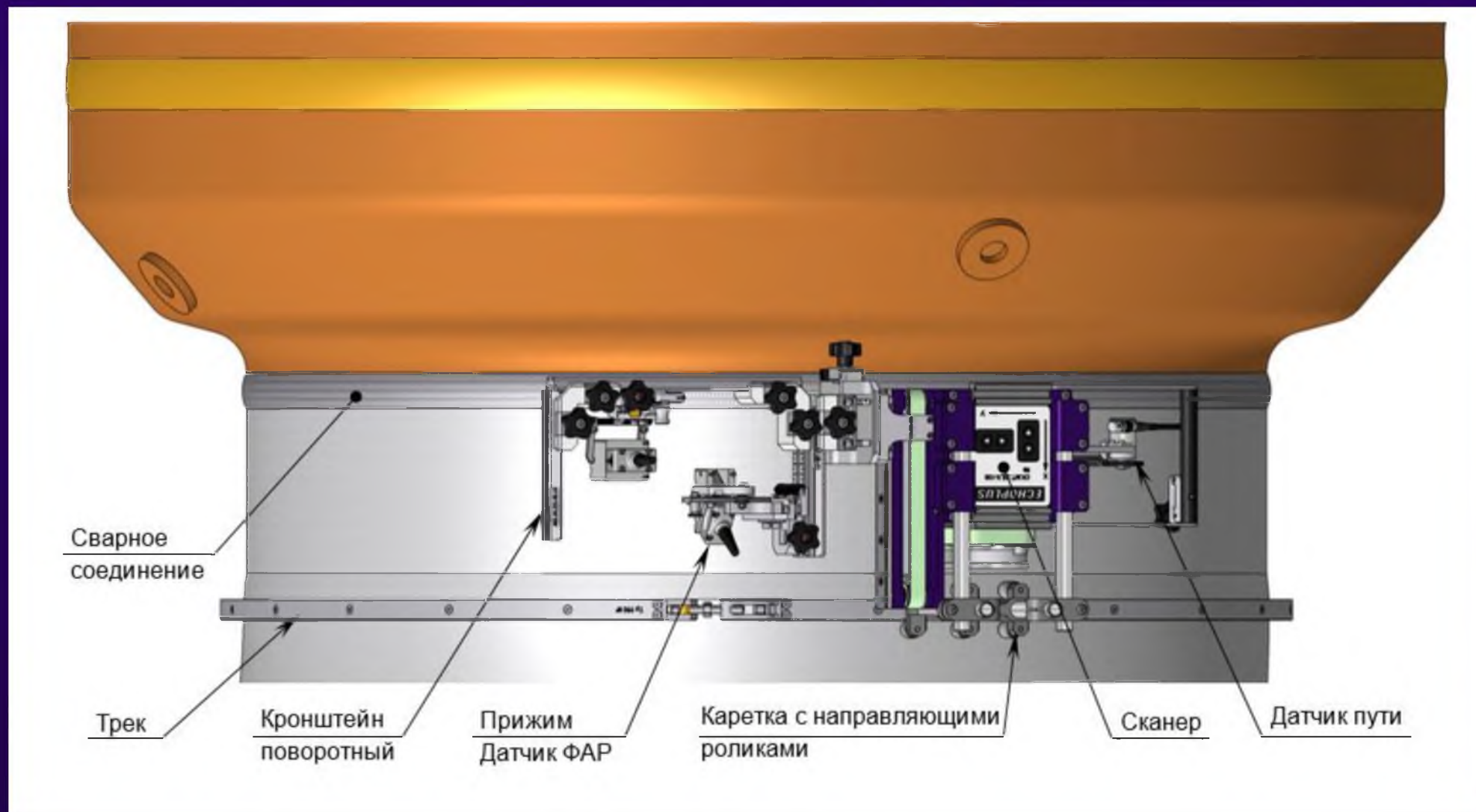
Вмятины от ударных воздействий



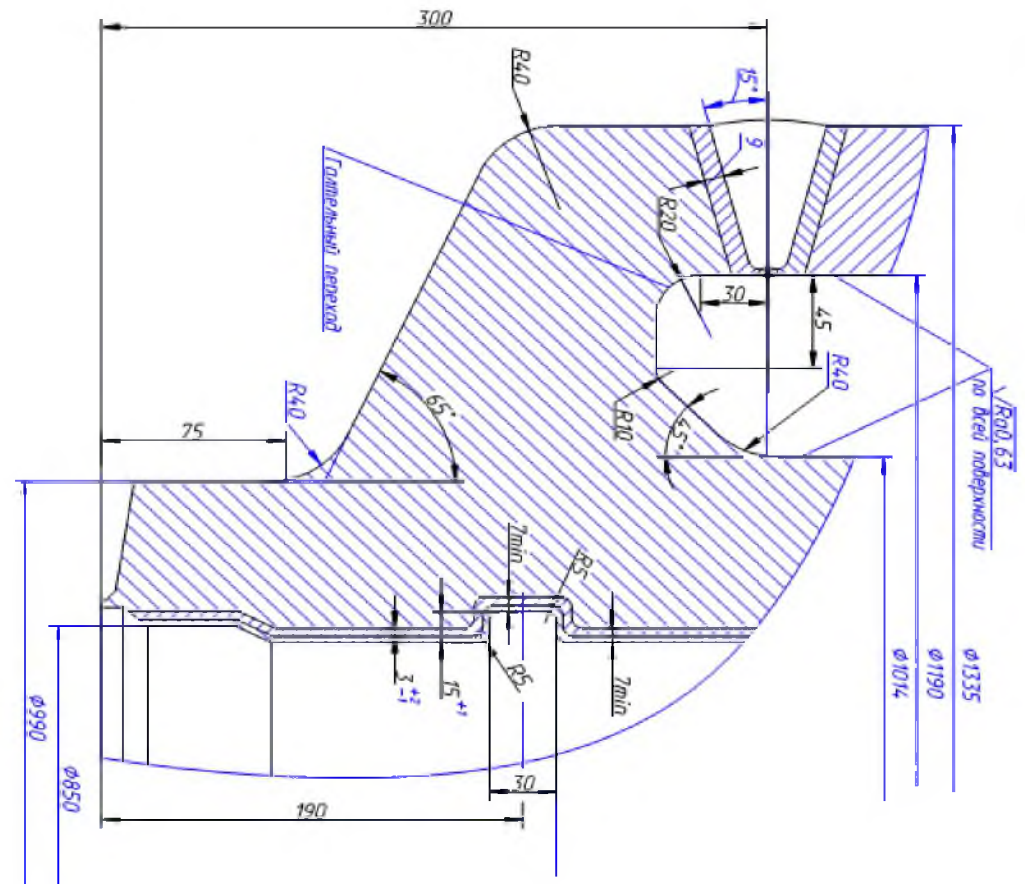
ЦФА-Х изображение
С-типа объединённое по
максимуму



Система АУЗК СС приварки к патрубкам ПГ Ду1200

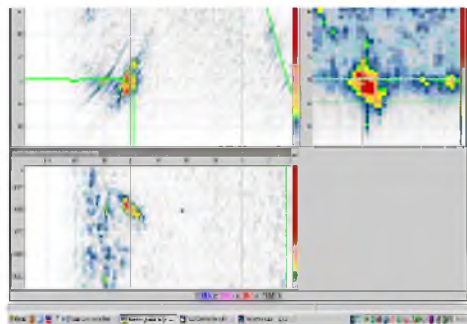


Technical drawing of a mechanical part, likely a valve or fitting, showing a cross-section. The drawing includes various dimensions and tolerances. Key features include a central bore with a diameter of 100 ± 5 , a shoulder with a diameter of $30-50$, and a flange with a diameter of 107 . The drawing also shows a 45° chamfer, a 1.5 ± 0.5 thickness, and a $2.5_{\max}$ depth. A note "Q/R02.5" is present. The drawing is labeled "1.34.35" in a circle.



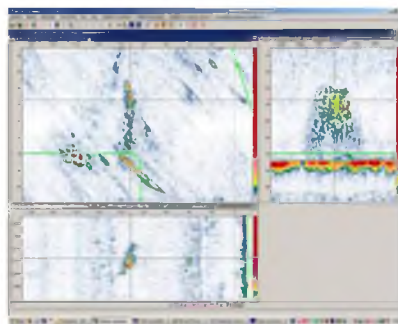
Размеры реальных трещин СС Ду1200 ПГ

Реальные дефекты: 13 недопустимых за период с 2004 г.



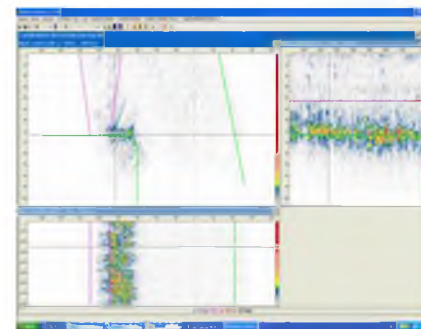
Трещина

длина × высота = 40 × 16,5 мм

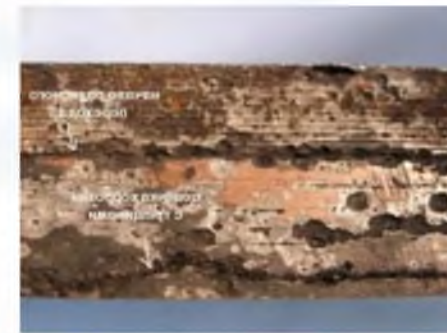


Трещина

181 × 49,0 мм

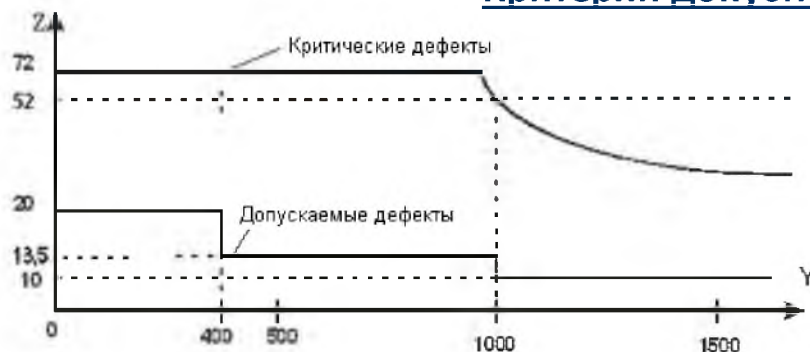


Коррозия высотой до 5 мм



По результатам исследований подтверждены значения погрешностей,
установленные в процессе аттестационных испытаний

Критерии допустимости и критичности

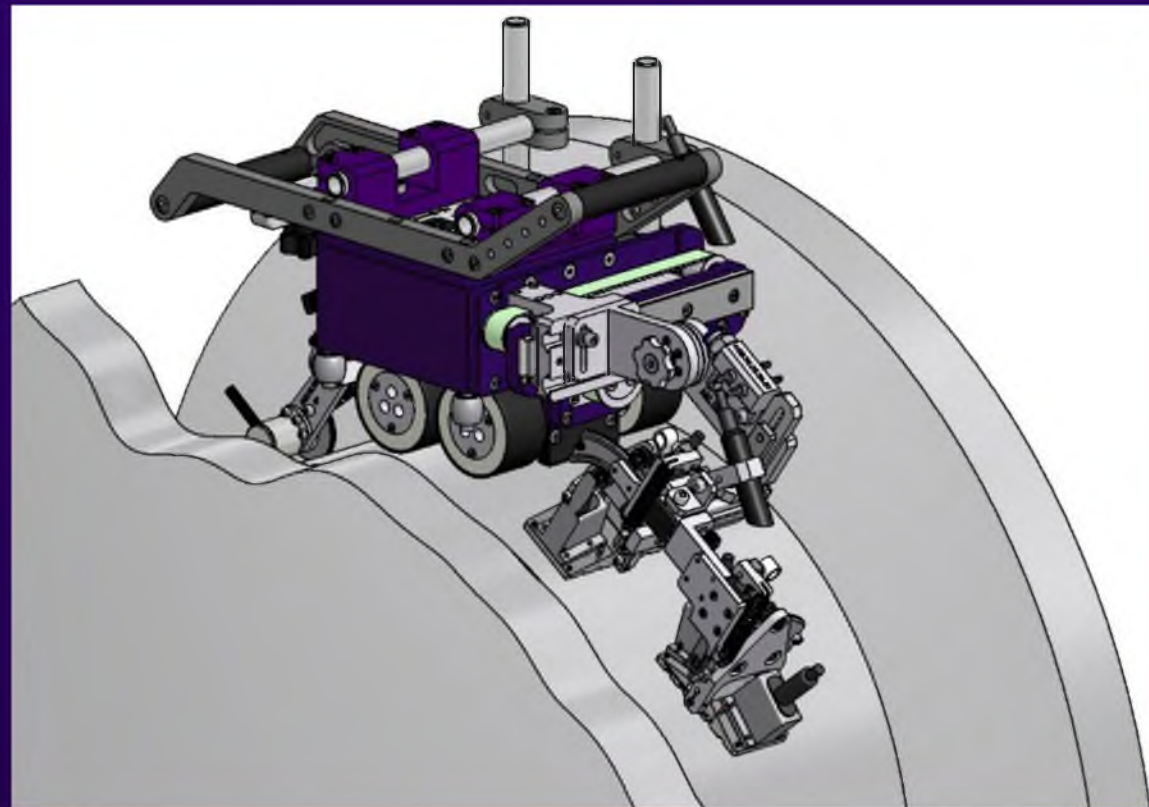
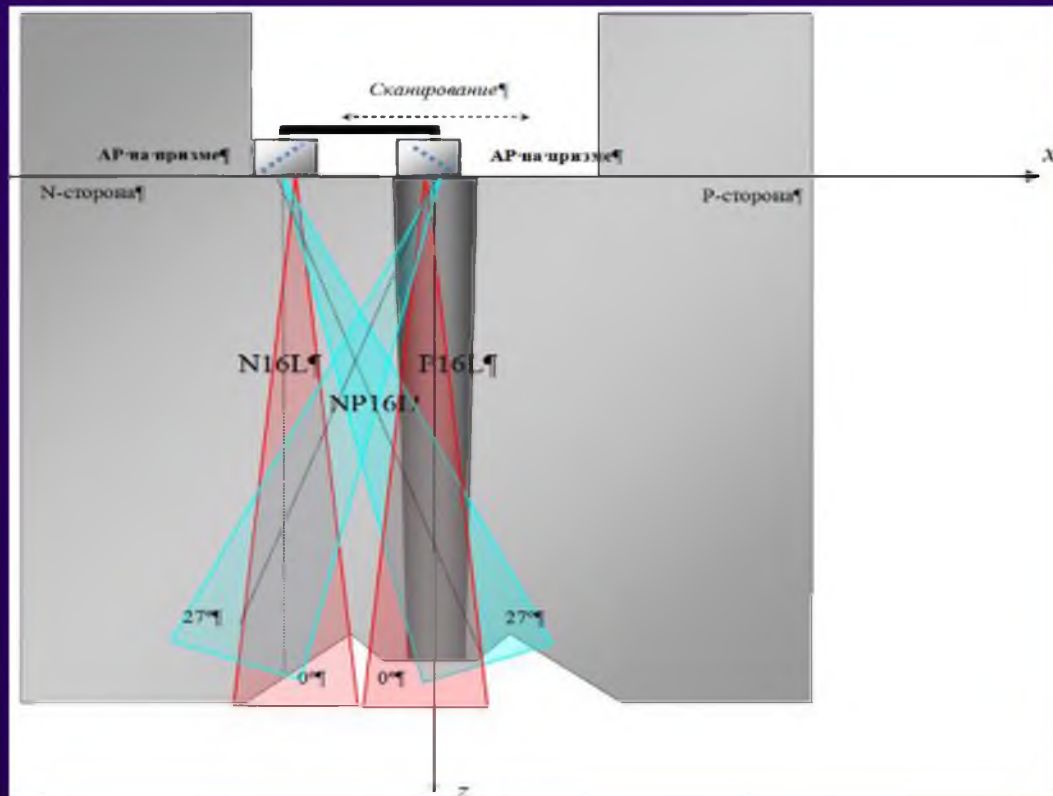


Продольные дефекты

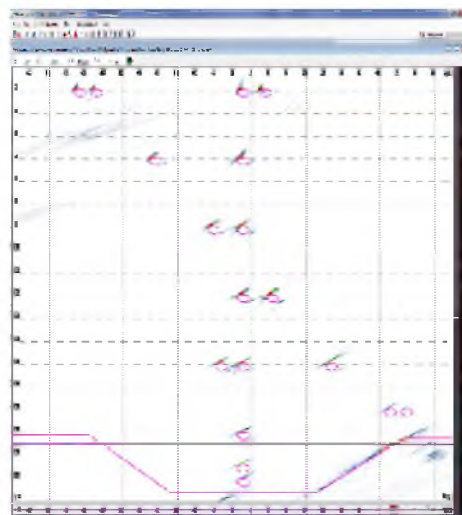
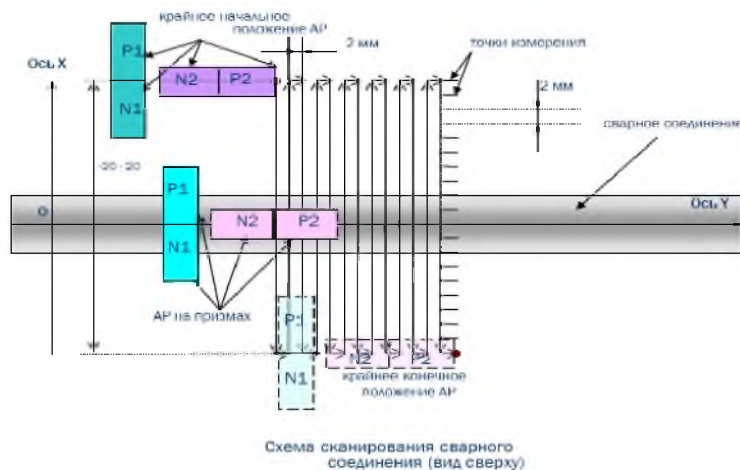


Поперечные дефекты

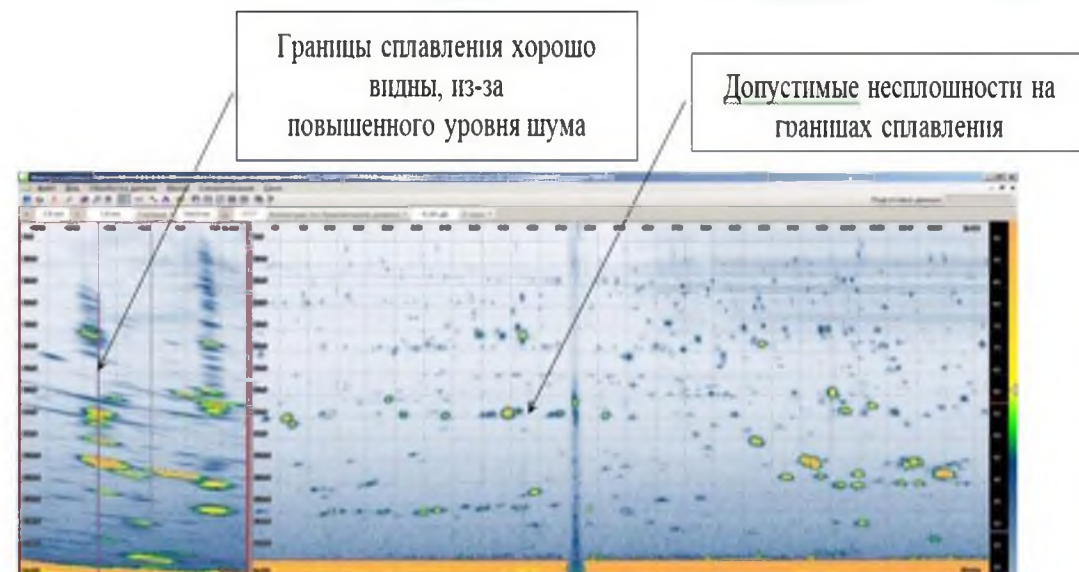
Система АУЗК СС роторов турбин



Система АУЗК СС роторов турбин

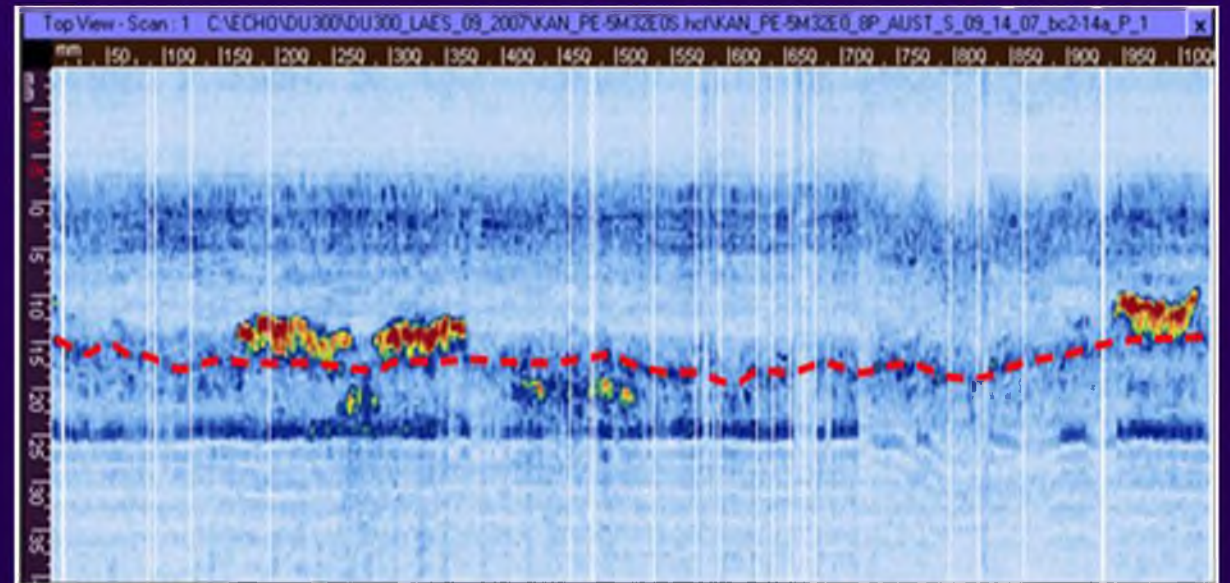
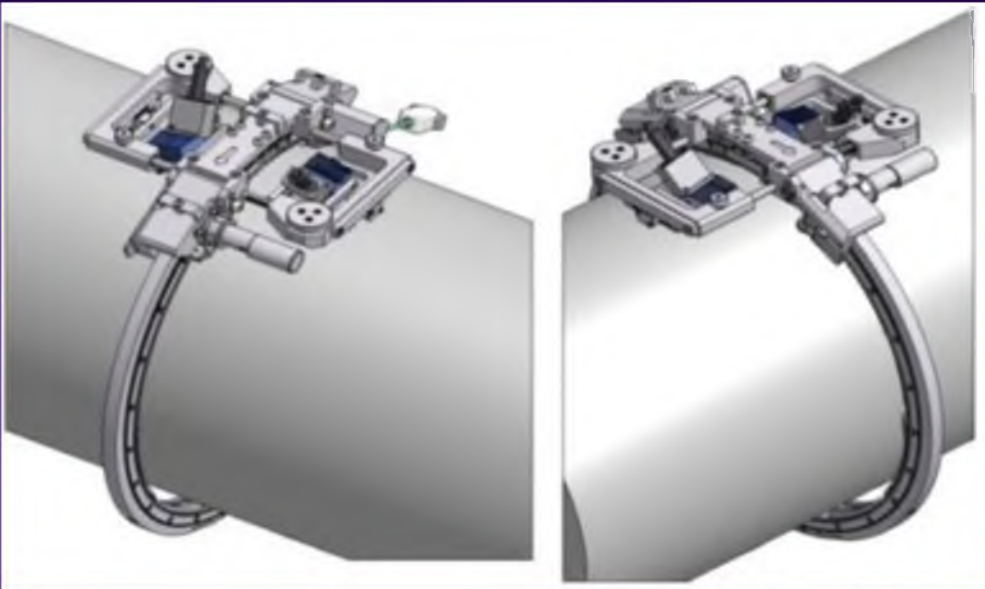


Изображение дефектного шва



Суммарные В- и D-изображения области сварного соединения с дефектами

Методика ФАР СС аустенитных труб Ду300



Первый слой ЭА-395/9
второй слой ЭА-400/10Т

$\varnothing 1085$

$R5$

$3^{+0.5}$

2 ± 0.5

48^{+6}

$15^{\circ} \pm 2^{\circ}$

$10^{\circ} \pm 2^{\circ}$

$\varnothing 1078$

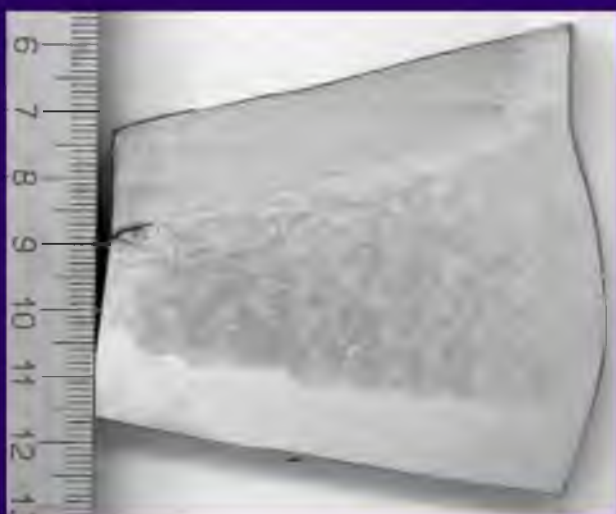
$R5$

$3A-400/10Y$

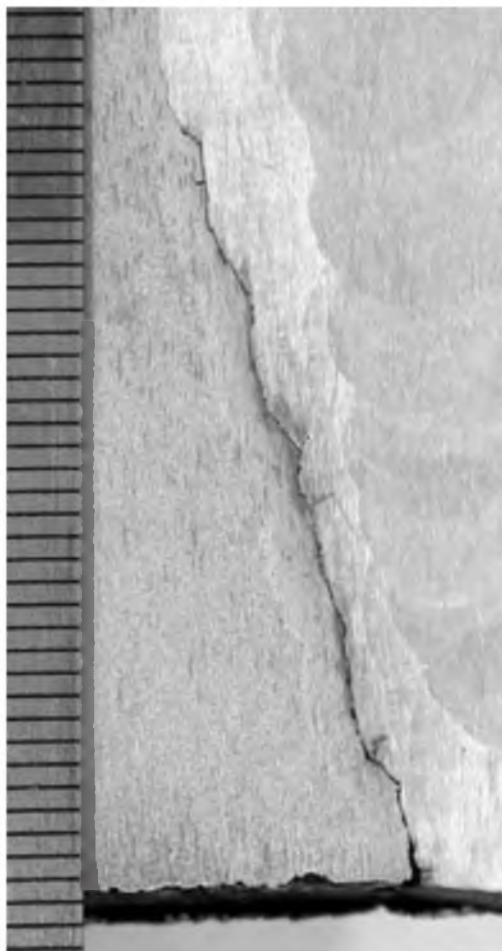
$\varnothing 1125$

$OX18H10T$

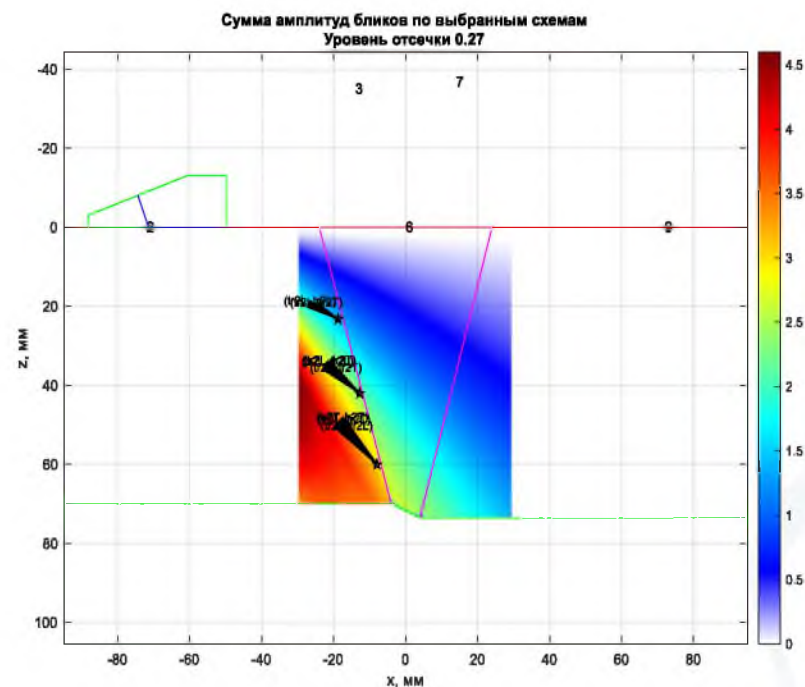
Аргоно-дуговая сварка
под надувом аргона изнутри
парогенератора
(св. проволока св-04X19Н11МЗ)



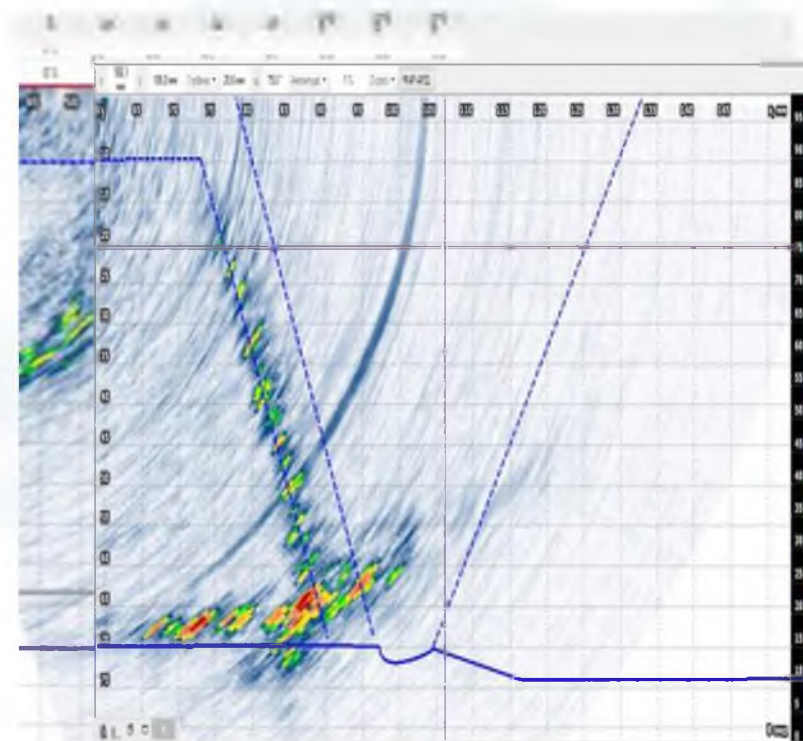
М-ЦФА для АУЗК СС Ду1100



Сумма по схемам L-L, L-S,
S-S



Изображение трещин различной высоты



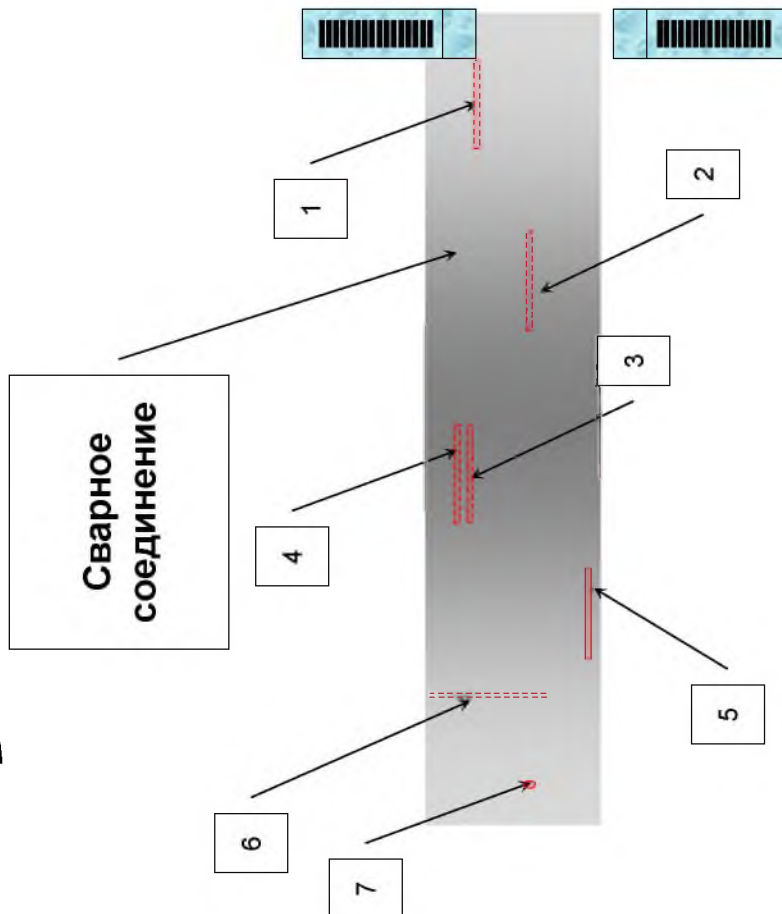
H = 62 мм

АУЗК СС плакированных труб КМПЦ Ду800

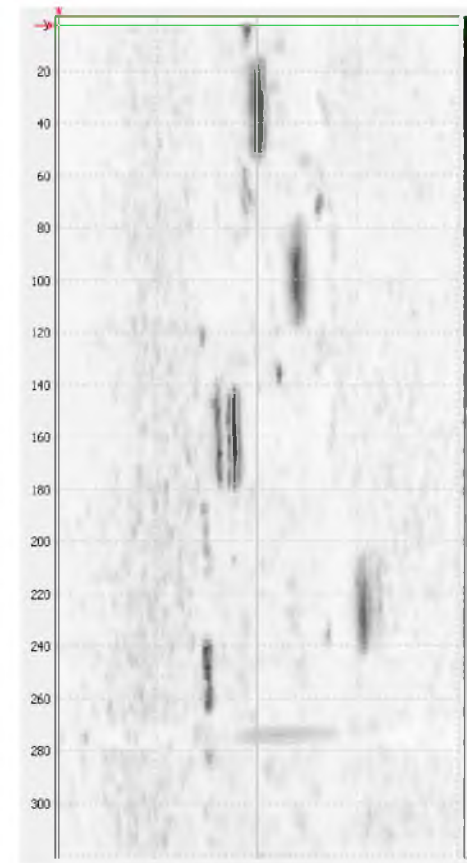
АУЗК СС плакированных труб Ду800 толщина 38 мм

Дефекты:

- **1-5** – модели трещин высотой 5-7 мм
- **6** – поперечная трещина длиной 20 мм
- **7** – вертикальное сверление $\varnothing 3$ на глубину 7 мм



Рентгенограмма



С-изображение
ЦФА-Х

ЭХОПЛЮС

Контактная сварка оплавлением (КСО)



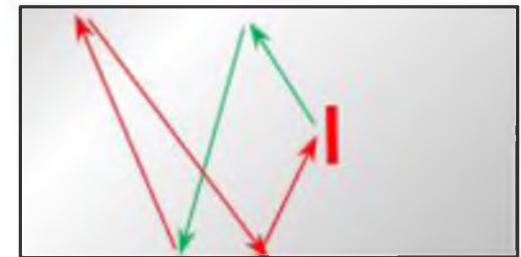
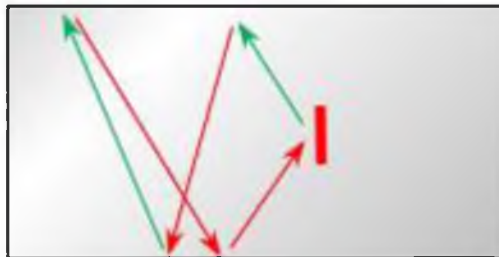
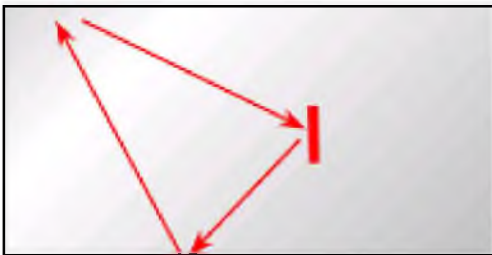
Дальнейшее развитие технологии зональной фокусировки

Проблемы возникающие при ФАР-зональном контроле

- Должна быть высокая стабильность геометрических размеров соединения
- Должна быть высокая стабильность расстояния от оси шва для обеспечения работы тандемных схем

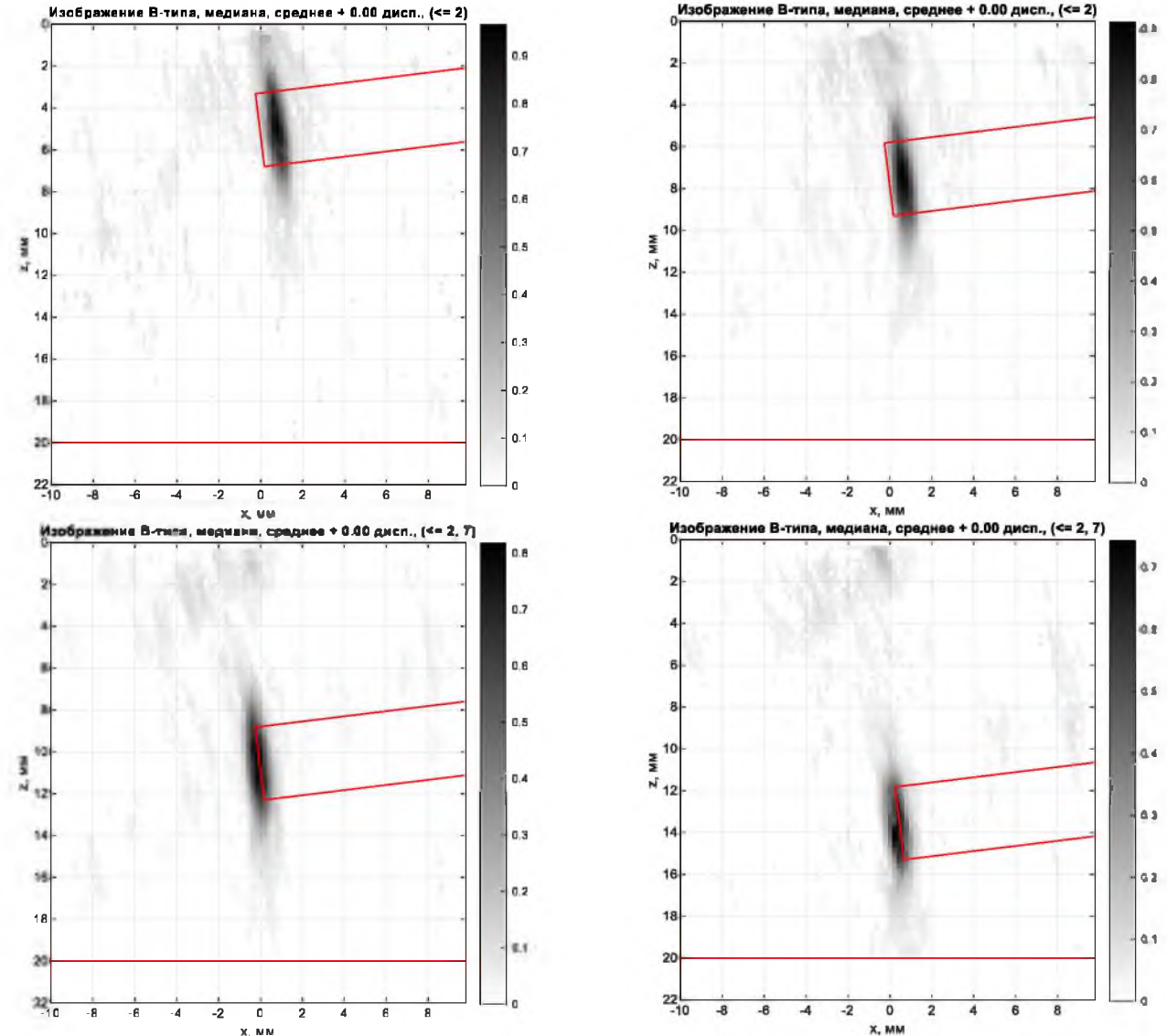
Как с этим бороться?

- Применение технологии цифровой фокусировки антенной решётки (ЦАФ) в многомодовом варианте с восстановлением изображения отражателей. Такой подход позволит повысить точность определения размеров трещин.



Изображения четырёх ПДО диаметром 3 мм

Изображения четырёх
ПДО диаметром 3 мм,
полученных 32
элементной антенной
решёткой на 5 МГц.



ЦФА-зональный контроль сварного соединения КСО

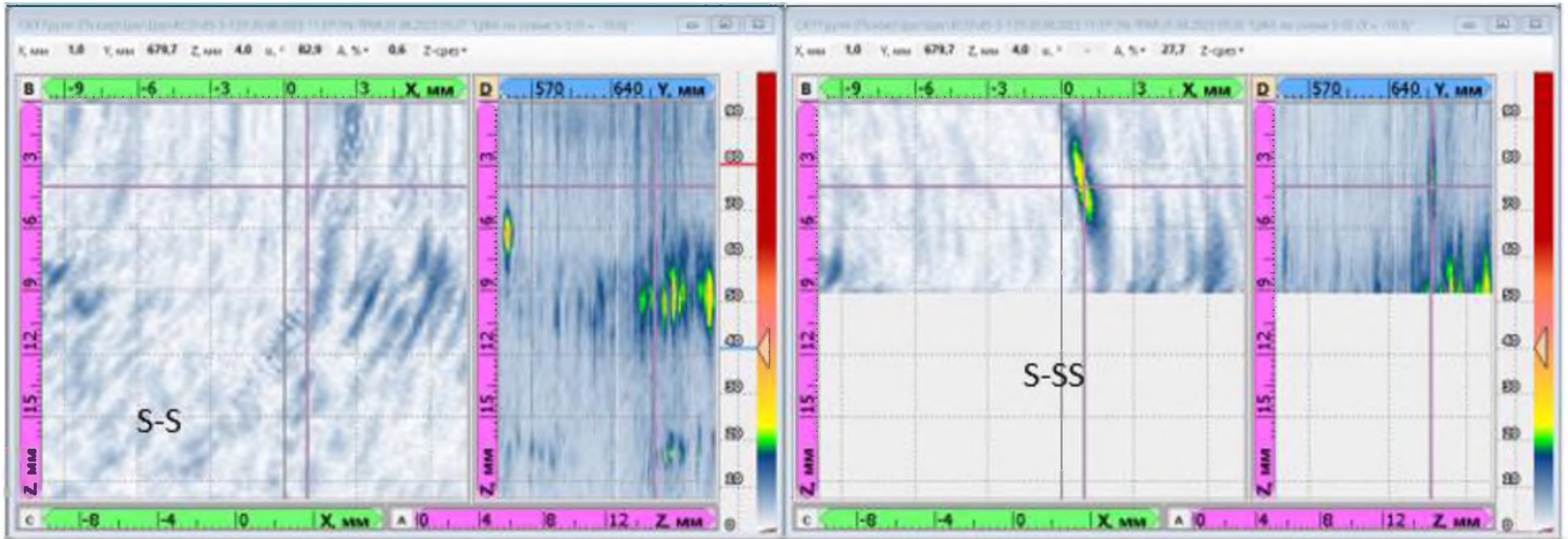


Схема TdT



Схема TdTT



ЦФА-зональный контроль: преимущества

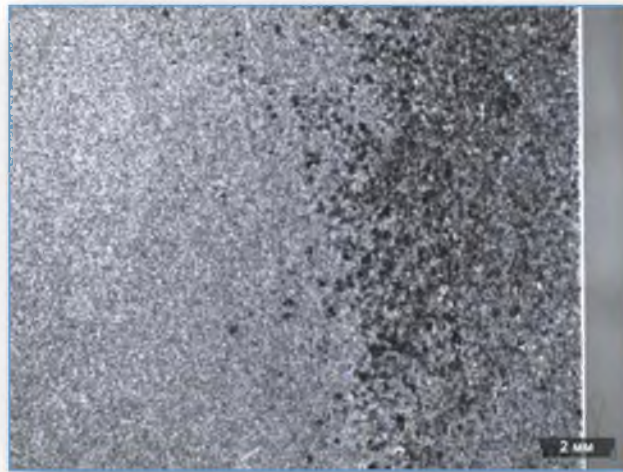
Предложено использовать ЦФА-технологии для зонального контроля:

- ЦФА обработка устойчива к смещениям антенной решётки поперёк шва при сканировании вдоль шва, в то время как ФАР-зональная фокусировка может «потерять» импульс, так как время его прихода изменится.
- ЦФА зональная фокусировка более устойчиво работает и при изменении толщины объекта контроля.
- Точность оценки размеров ПДО можно оценить как $\pm 0,2$ мм.
- Можно выбрать набор акустических схем при котором амплитуды бликов на разных глубинах отличаются менее чем на 1 дБ без процедур калибровки.

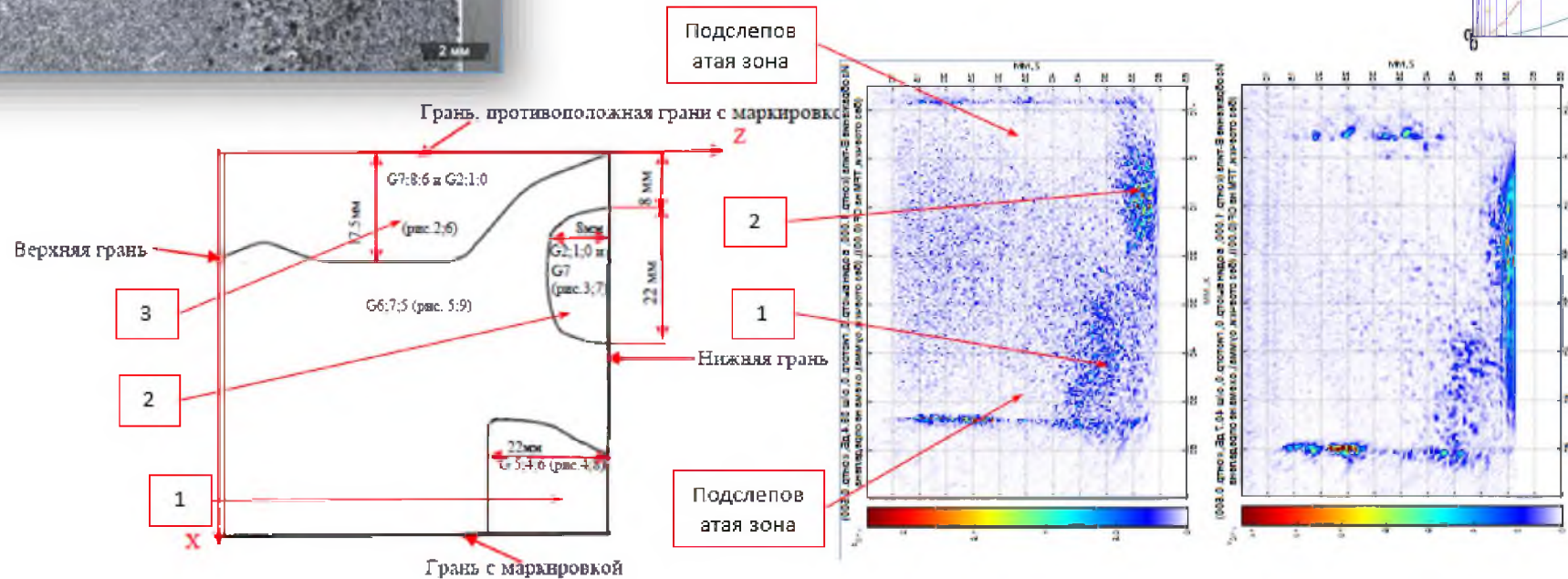
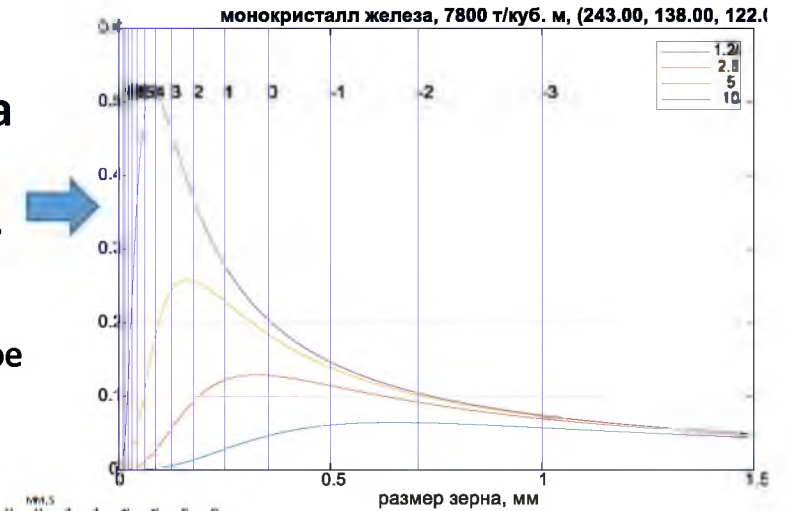
Новые разработки

1. Контроль и визуализация структуры металла
2. Эксплуатационный контроль ФАР хвостовиков лопаток турбин АЭС
3. Методика выявления поперечных дефектов в АСС Ду300 РУ РБМК-100
4. Иммерсионный контроль лопаток авиационных турбин
5. Система АУЗК бандажей ж.д. колёс
6. Система АУЗК лазерной сварки обсадных труб
7. Учёт анизотропии при АУЗК СС
8. Автоматический анализ ФАР и TOFD изображений
9. Применение роботов для АУЗК сложных изделий

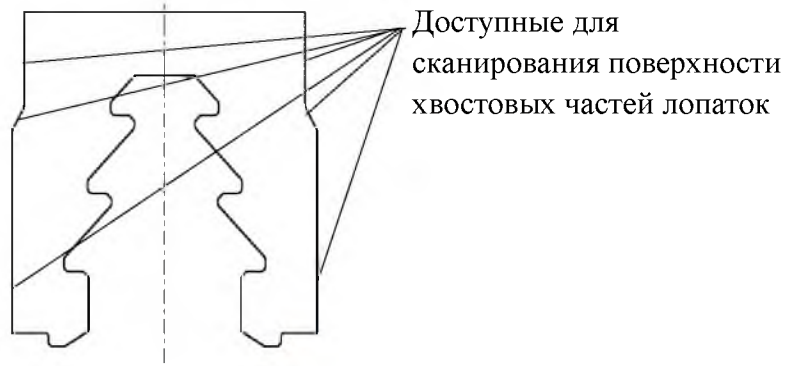
Визуализация структуры металла (метод Роуза+ЦФА)



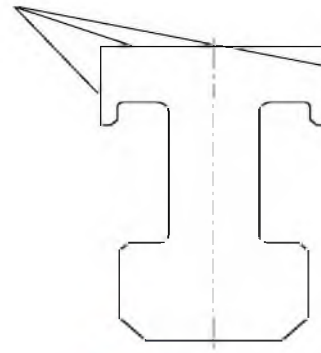
Зависимость коэффициента
обратного рассеяния от
размеров зерна для частот
1,25, 2,5, 5 и 10 МГц
(Стохастическое, Рэлеевское, Зеркальное
рассеивание)



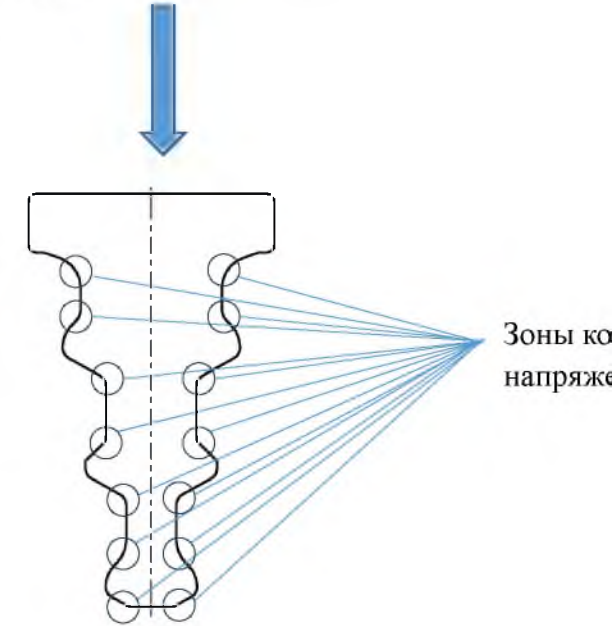
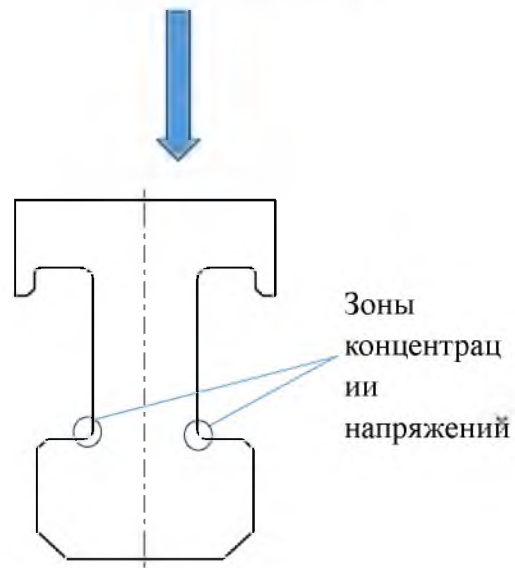
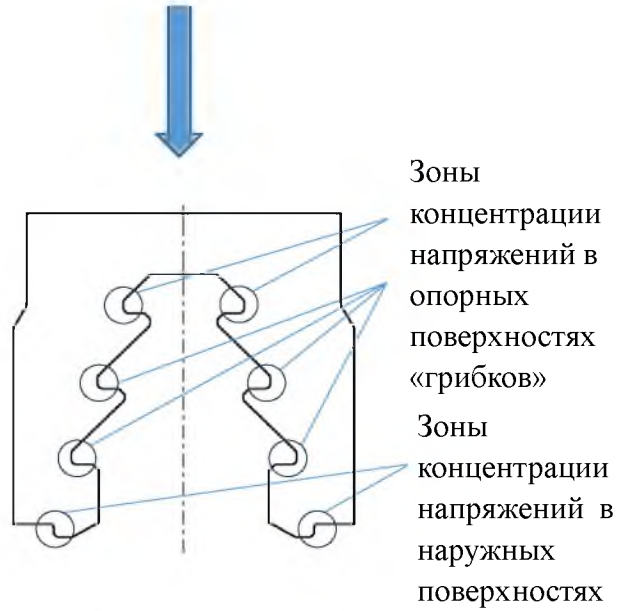
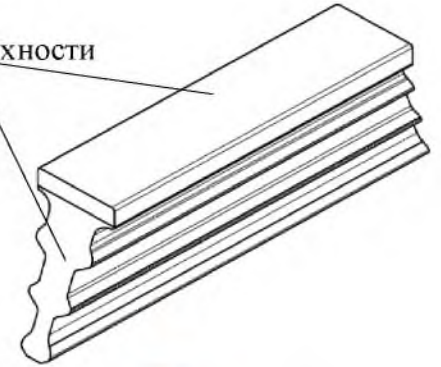
ФАР-контроль хвостовиков лопаток



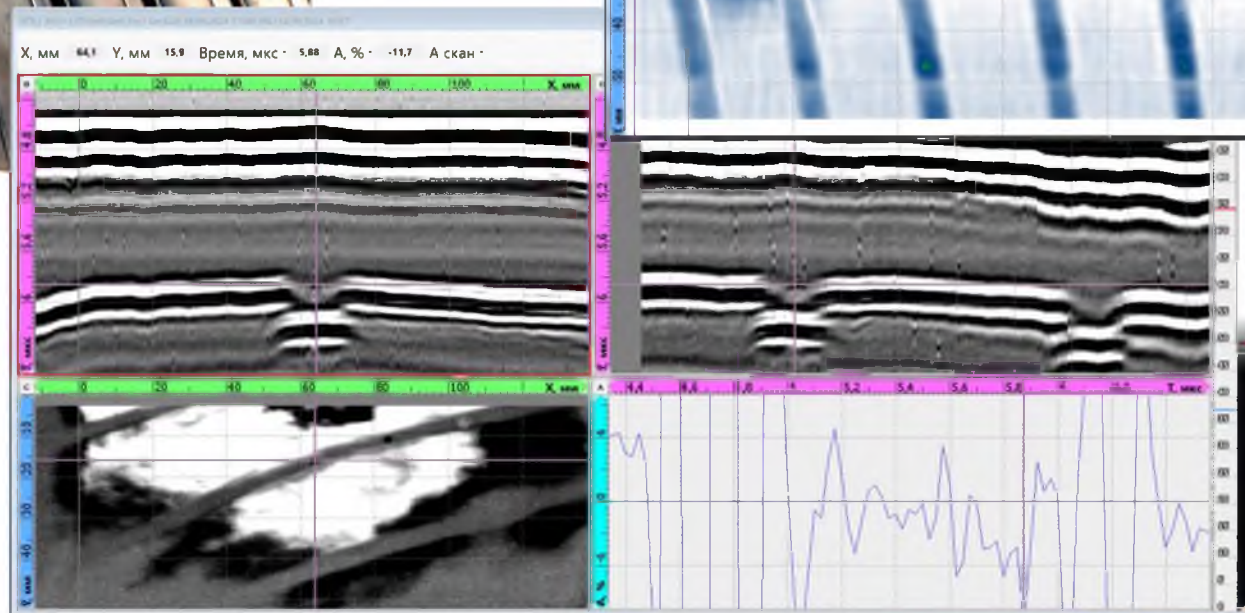
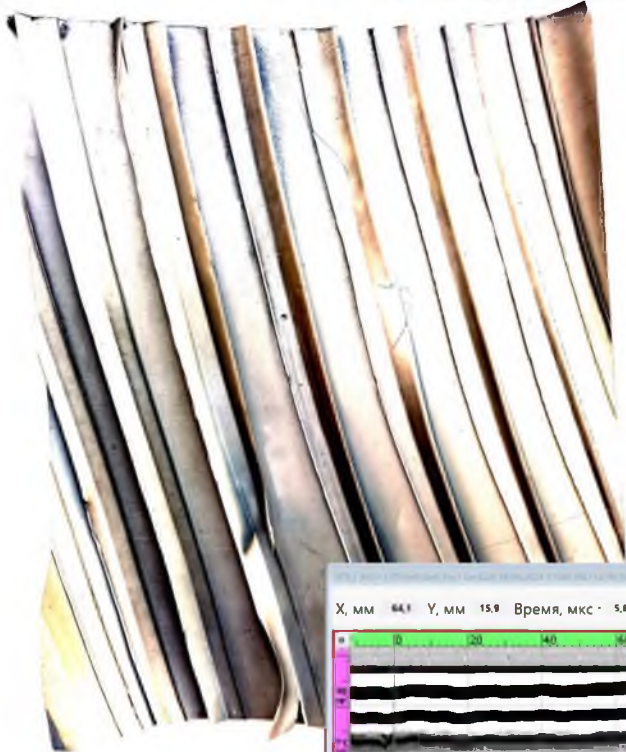
Доступные для сканирования поверхности хвостовых частей лопаток



Доступные для сканирования поверхности



АУЗК лопаток авиационных турбин



Бездефектный
участок



Изображение
ПДО $\varnothing 0,4$ мм



АУЗК лазерной сварки обсадных труб

Технология ИРЭ-Полюс



Традиционное резьбовое соединение Лазерная сварка обсадных труб

Дорогая муфта
с резьбой

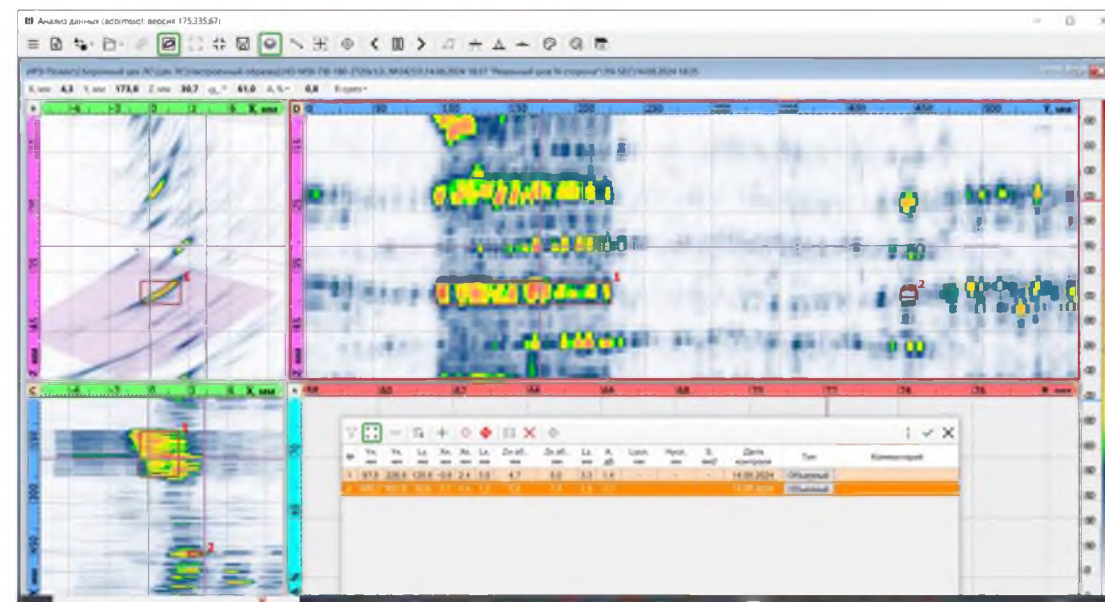
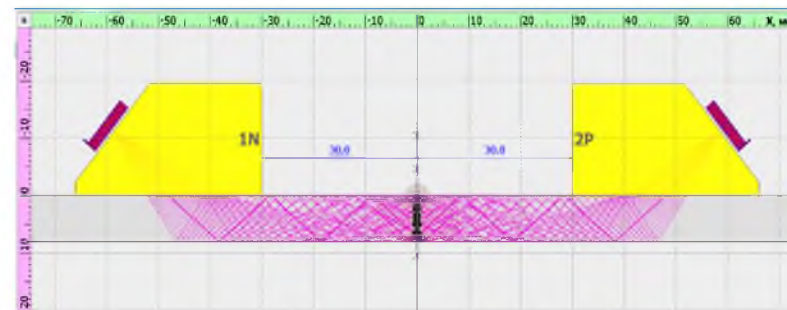


Слабые резьбовые соединения

Стандартная труба
без муфты

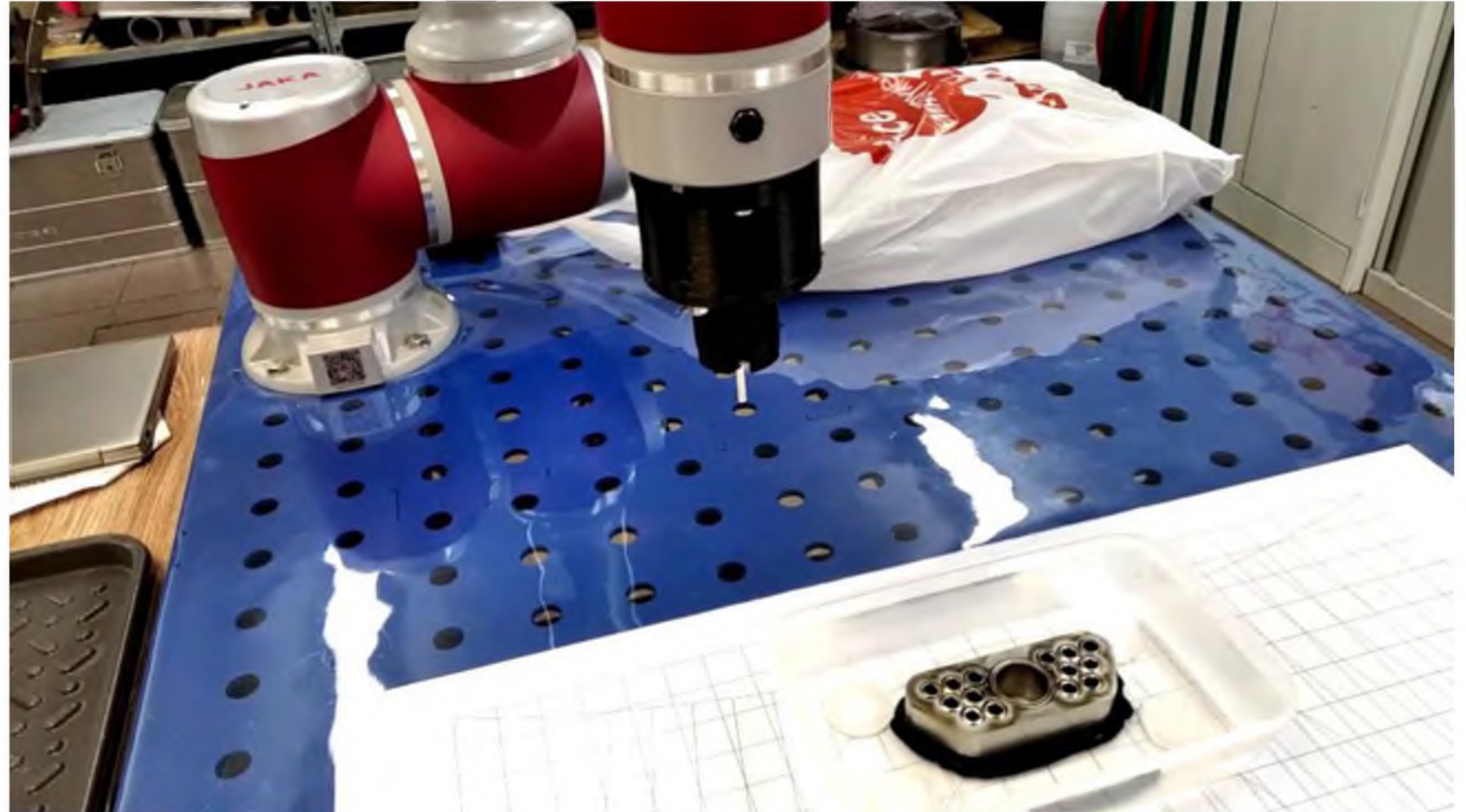
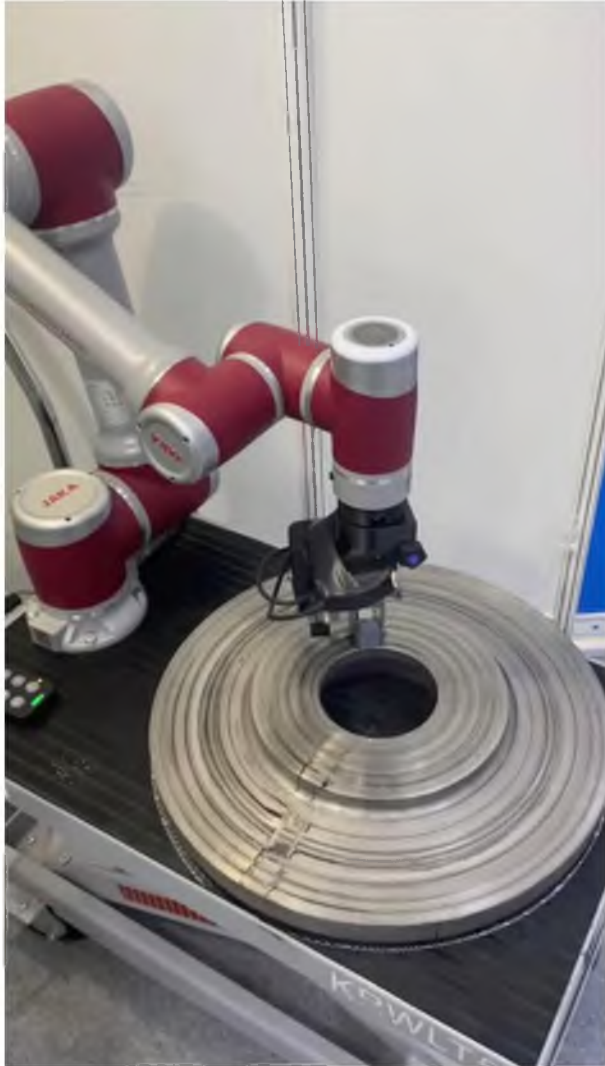


Более прочное сварное
соединение

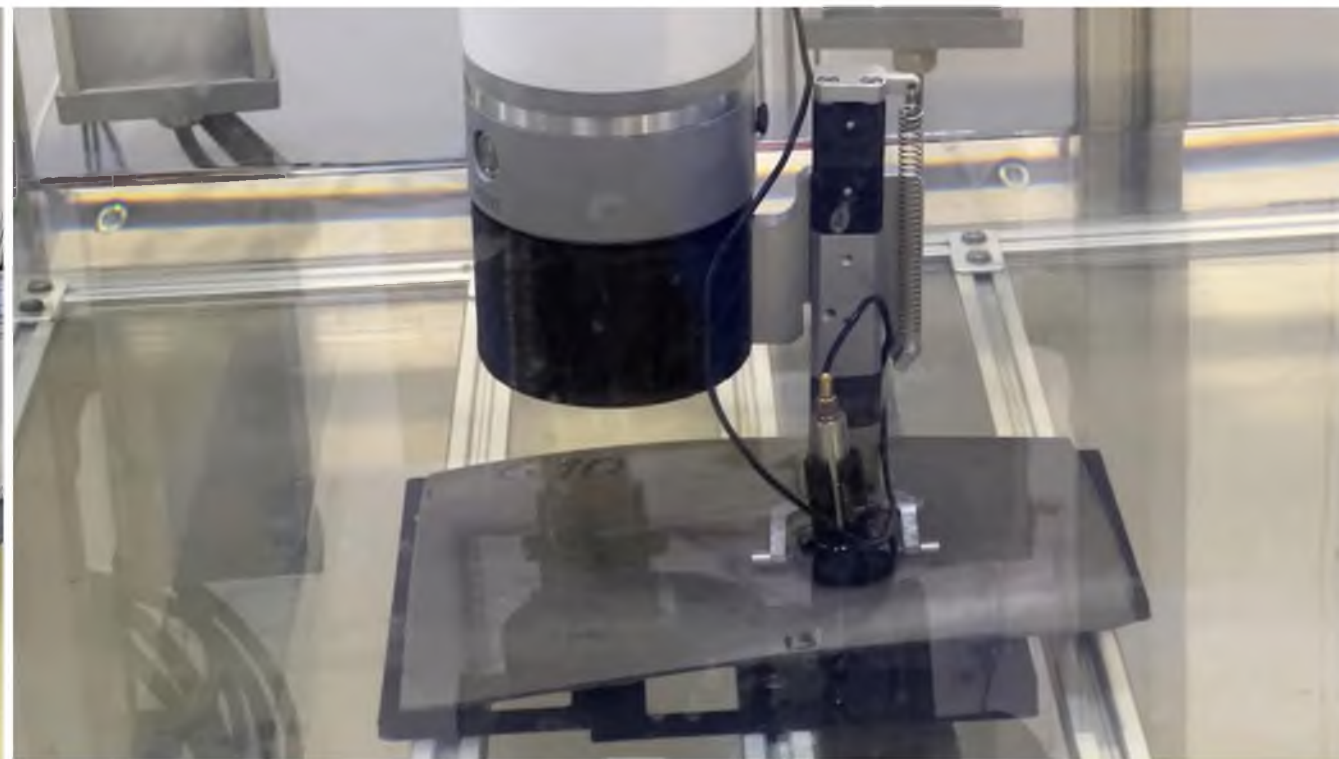
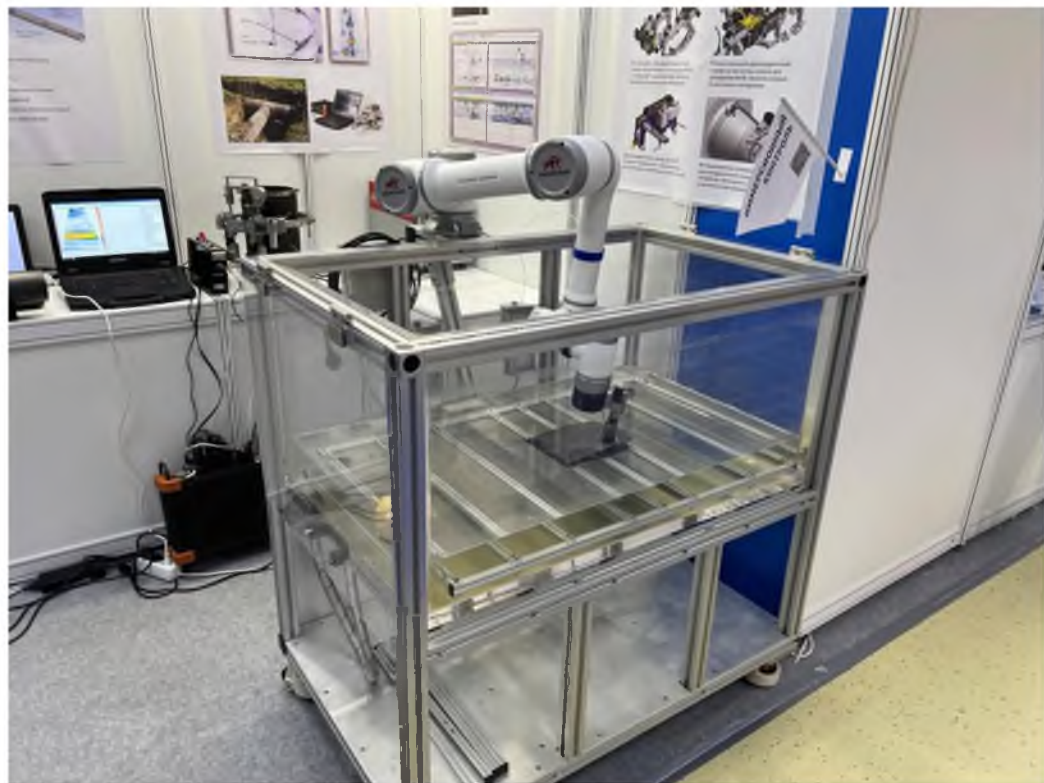


Непровар высотой 1 мм в испытательном образце

Автоматизация УЗК с использованием роботизированного сканирования



Автоматизация УЗК с использованием роботизированного сканирования



Контакты

ООО «НПЦ «ЭХО+»

Создание и применение систем неразрушающего контроля с 1990 года

Россия, 123458, г. Москва, ул. Твардовского, д. 8. Технопарк «СТРОГИНО»

Телефон и факс: +7 (495) 780-92-67

echo@echoplus.ru | www.echoplus.ru