



Автоматизированный и ручной ультразвуковой
контроль сварных соединений с применением
фазированных антенных решёток: новые
возможности диагностики при эксплуатации
опасных производственных объектов

Базулин Андрей Евгеньевич

Главный конструктор, к.т.н.

ООО «НПЦ «ЭХО»

android@echoplus.ru

Содержание

- Современные средства контроля сварных швов и основного металла с применением ФР и TOFD
 - Запись данных с энкодером и последующее хранение в базе данных
 - Измерение высоты и протяженности дефектов -> нормы и применение риск-ориентированного подхода
 - Мониторинг за состоянием в процессе эксплуатации
- Практика замены РГК на УЗК
- Примеры применения

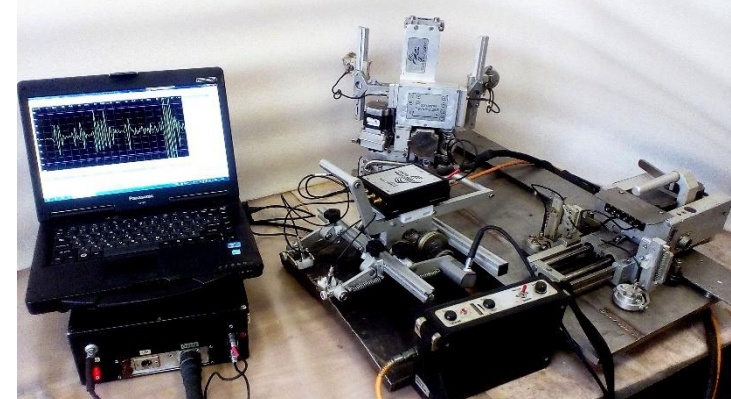
В 1996-2020 СОЗДАНЫ НЕСКОЛЬКО ПОКОЛЕНИЙ СИСТЕМ АВГУР ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В РАЗЛИЧНЫХ ОТРАСЛЯХ



АВГУР 4.2 :: 1996 :: SAFT
Росэнергоатом, Транснефть



АВГУР 5.2 :: 2002 :: SAFT
Росэнергоатом



АВГУР-Т :: 2008 :: 3D-SAFT, TOFD, контроль ОМ
Газпром, Уралхиммаш, Ижорские заводы



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

ДЕФЕКТОСКОП АВГУР-АРТ 2020

Флагманский продукт, объединивший опыт при создании «больших» систем в портативном исполнении



Самый большой и яркий экран в своем классе

До 16 схем контроля (ФР, ЦФА, TOFD, слежение за контактом)

IPEX – надежный разъем для подключения ФР от 32 до 128 элементов

SSD для записи данных, от 128 Гб

Гибкое и мощное программное обеспечение

2 пары TOFD
4 традиционных ПЭП

Работа с любыми сканерами

Multi-touch интерфейс

Управление по Wi-Fi

Горячая замена аккумуляторов

Интеграция с модулем автоматизированного визуально-измерительного контроля и видеокameraми

Технические характеристики

ХАРАКТЕРИСТИКИ МОДУЛЕЙ	
Количество каналов ФР, шт.	64; 128
Количество независимых каналов ФР, шт	32; 64
Диапазон установки амплитуд импульсов возбуждения ФР, В	от 30 до 100
Диапазон установки амплитуд импульсов возбуждения TOFD, В	от 50 до 400
Диапазон установки длительности импульсов возбуждения, нс	от 50 до 400
Допускаемое отклонение установки длительности импульсов возбуждения, %	±10
Диапазон регулировки коэффициента усиления приёмного тракта, дБ, не менее	от 0 до 80
Шаг регулировки коэффициента усиления, дБ, не более	0,1
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерения отношения амплитуд сигналов на входе приёмника, дБ	±1
Рабочая полоса частот, МГц	от 0,4 до 25
Диапазон регулировки длительности развёртки, мкс	от 1 до 600
Настраиваемые КИХ фильтры	На каждый канал
Максимальное число групп / законов фокусировки	16 / 2048
Максимальная частота посылок импульса возбуждения, кГц	20
Скорость сбора и записи данных	до 200 Мб/с
ХАРАКТЕРИСТИКИ ТОЧНОСТИ	
Диапазон измерения глубины залегания дефекта, мм	от 1 до 200
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерения глубины залегания дефекта, мм	±0,8
- при условии, что значение апертурного угла α , отнесенное к длине ультразвуковой волны λ составляет не менее 5 град/мм;	
- значение апертурного угла α , отнесенное к длине ультразвуковой волны λ составляет менее 5 град/мм	$\pm(0,3+0,03 \cdot z)$, где z - значение глубины, мм
Диапазон измерения расстояния от точки ввода ультразвуковых колебаний до проекции дефекта на поверхность, мм	от 1 до 120
Абсолютная погрешность измерения расстояния от точки ввода ультразвуковых колебаний до проекции дефекта на поверхность, мм	±1,0
- при условии, что значение апертурного угла α , отнесенное к длине ультразвуковой волны λ составляет не менее 5 град/мм;	
- значение апертурного угла α , отнесенное к длине ультразвуковой волны λ составляет менее 5 град/мм	$\pm(0,3+0,03 \cdot z)$, где z - расстояние от точки ввода до проекции дефекта, мм
Диапазон измерения пройденного расстояния датчиком пути, мм, не менее	от 1 до 20000
Относительная погрешность измерения пройденного расстояния датчиком путей	
диапазоне от 1 до 100 мм, ммв диапазоне от 100 до 20000 мм, %	
- в диапазоне от 1 до 100 мм, мм	±0,5
- в диапазоне от 100 до 20000 мм, %	±0,5
ПРОЧИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ	
Параметры дисплея	13,3", 1920x1280, контраст 1000:1, сенсорный
Габаритные размеры дефектоскопа (длина x ширина x высота), мм, не более	400 x 300 x 120
Масса блока системного, кг, не более	7
Степень защиты при подключенных разъемах	IP65
Средний срок службы, не менее, лет	10
Питание осуществляется от источника внешнего питания постоянного тока (от аккумуляторной батареи или блока питания, подключенного к сети переменного тока) с номинальным напряжением, В	12
Время работы от аккумулятора, ч	4 + горячая замена

Сферы применения



**Автоматизированный
сканер**

**Автоматизированный и механизированный УЗК
сварных соединений**

2-4 фазированные решетки с 16-64 активными каналами
2 канала TOFD

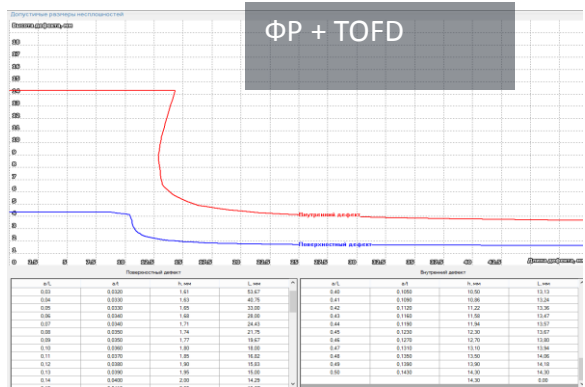
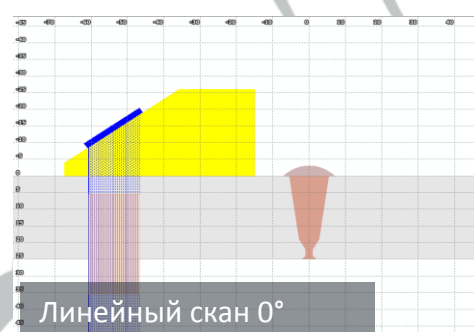
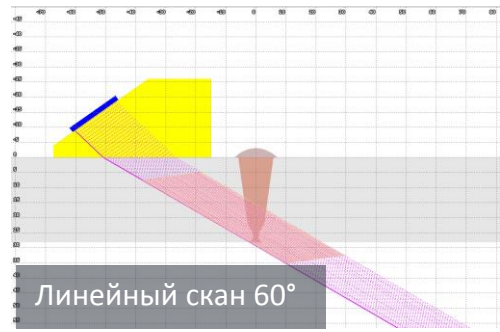
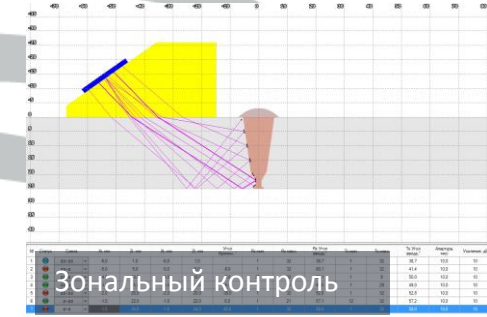
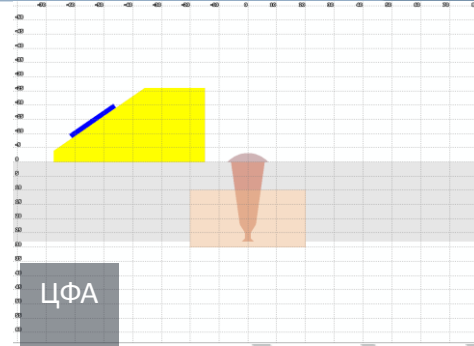
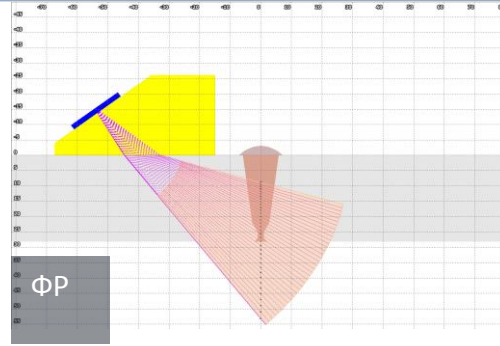
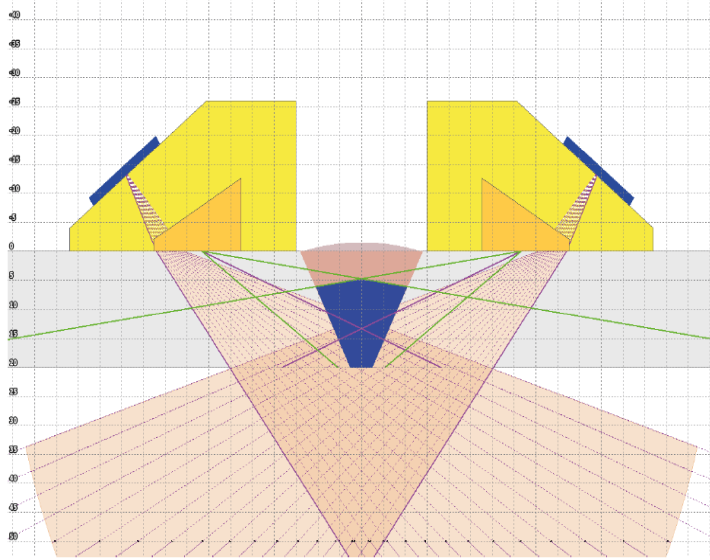


Ручной сканер

**Автоматизированная и механизированная
толщинометрия**

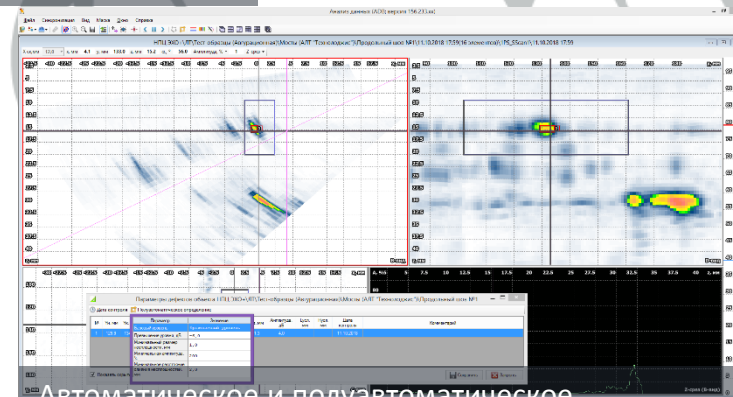
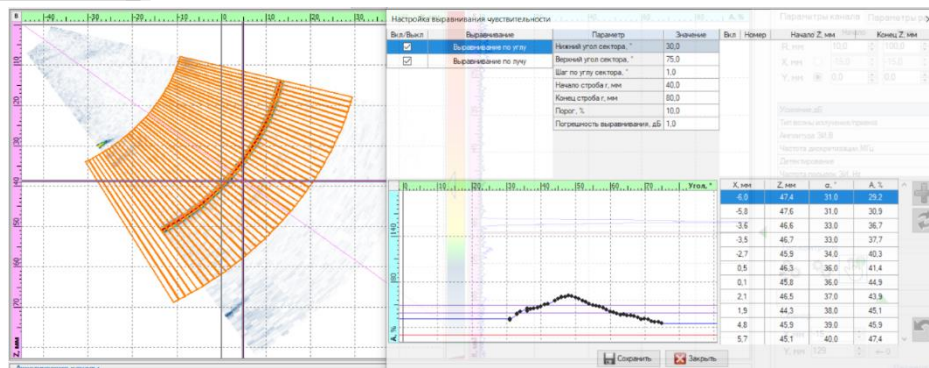
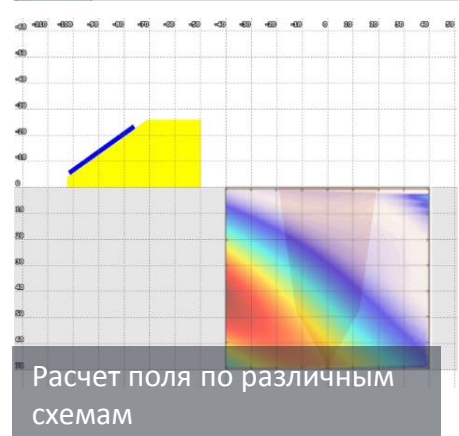
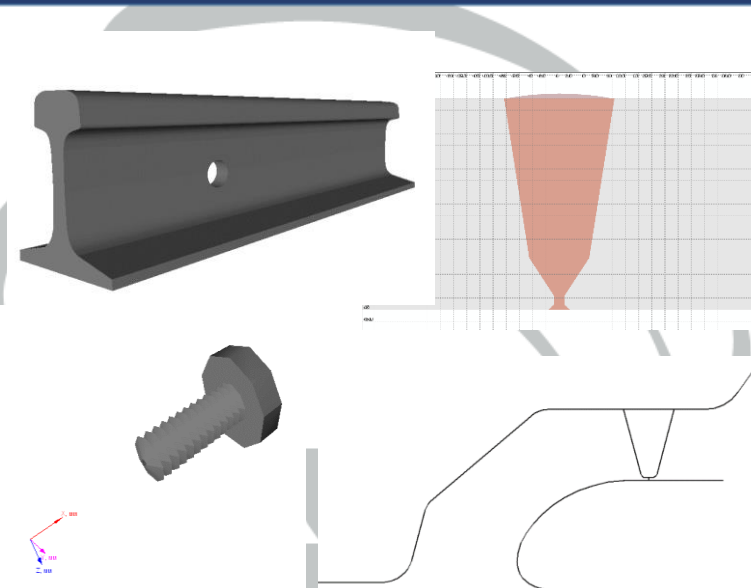
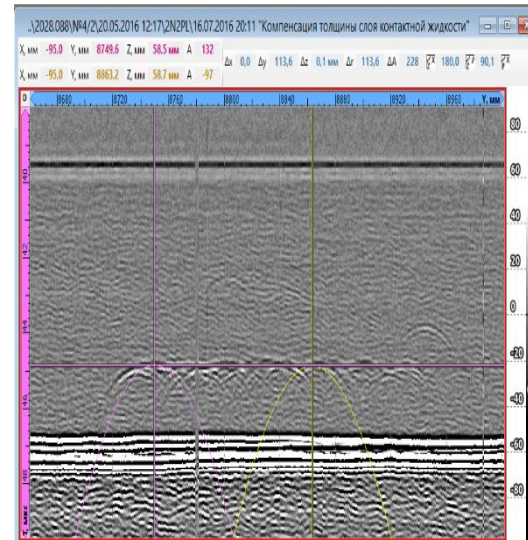
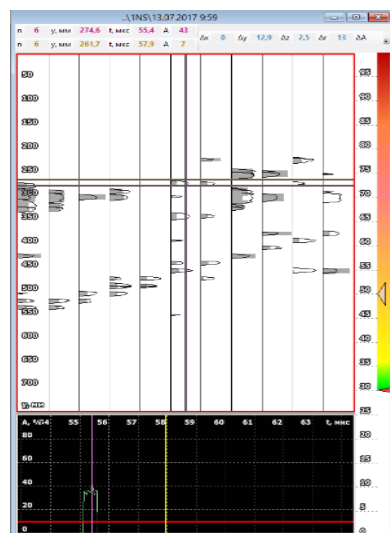
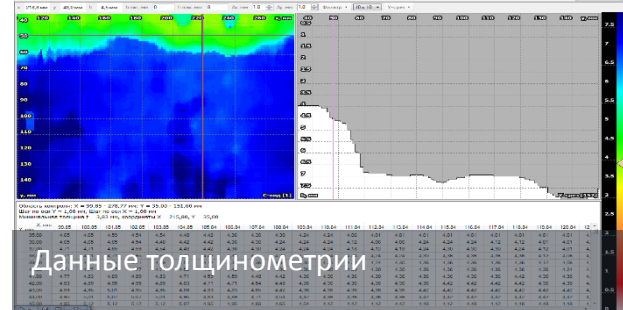
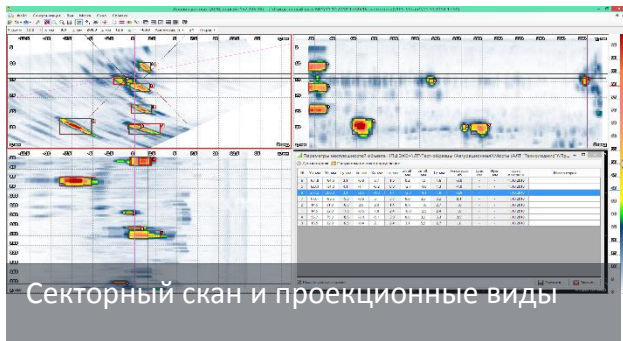
Фазированные решетки с 64-128 активными каналами
Трехосевой энкодер

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АВГУР



РАЗМЕРНЫЕ КРИТЕРИИ

Программное обеспечение АВГУР

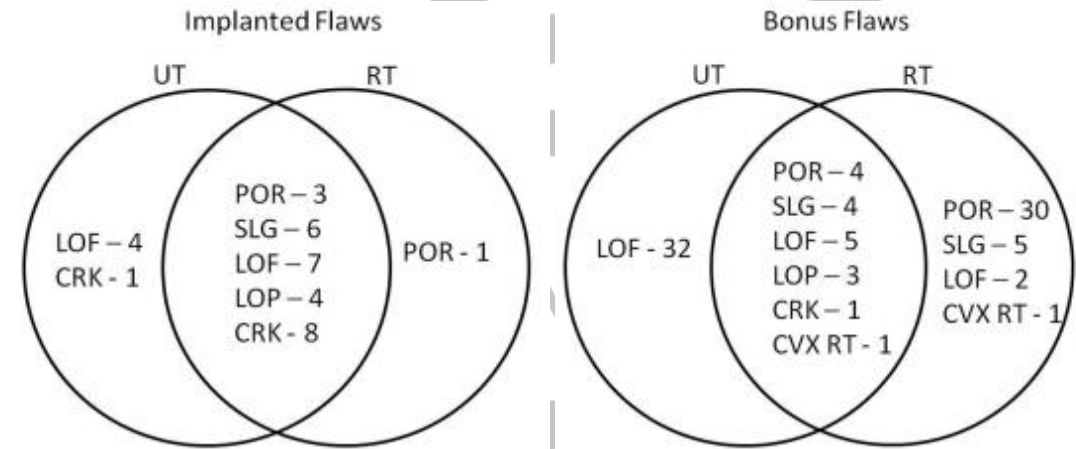


ЗАМЕНА РГК НА УЗК

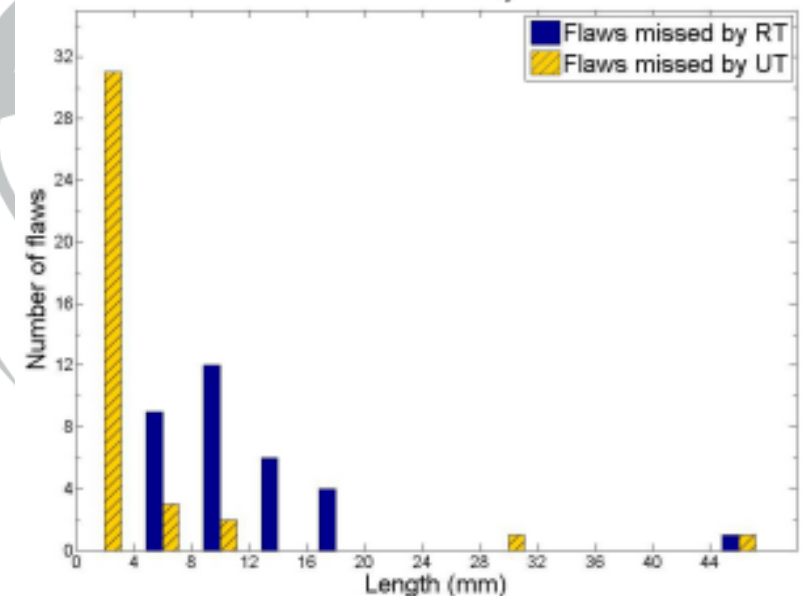
- Аустенитные и разнородные сварные соединения трубопроводов на АЭС (сокращение сроков СМР, контроль при эксплуатации)
- Нижнекамск (ТАИФ-НК) – 2015-2016 (сокращение сроков СМР)
- ПАО «Орскнефтеоргсинтез» 2017 (сокращение сроков СМР)
- МНПЗ 2018 (сокращение сроков СМР)
- Замыкающий шов сосуда реактора гидрокрекинга - Ижорские заводы (требование ASME)

AN EMPIRICAL STUDY ON ULTRASONIC TESTING IN LIEU OF RADIOGRAPHY FOR NUCLEAR POWER PLANTS

TL Moran, AF Pardini, P Ramuhalli, MS Prowant, and RA Mathews
Pacific Northwest National Laboratory¹, Richland, WA, USA



Bonus flaws missed by UT or RT



КОНТРОЛЬ ТРУБОПРОВОДОВ И ОБОРУДОВАНИЯ АЭС

Разработаны более 10 методик контроля сварных соединений с применением технологий фазированных решеток

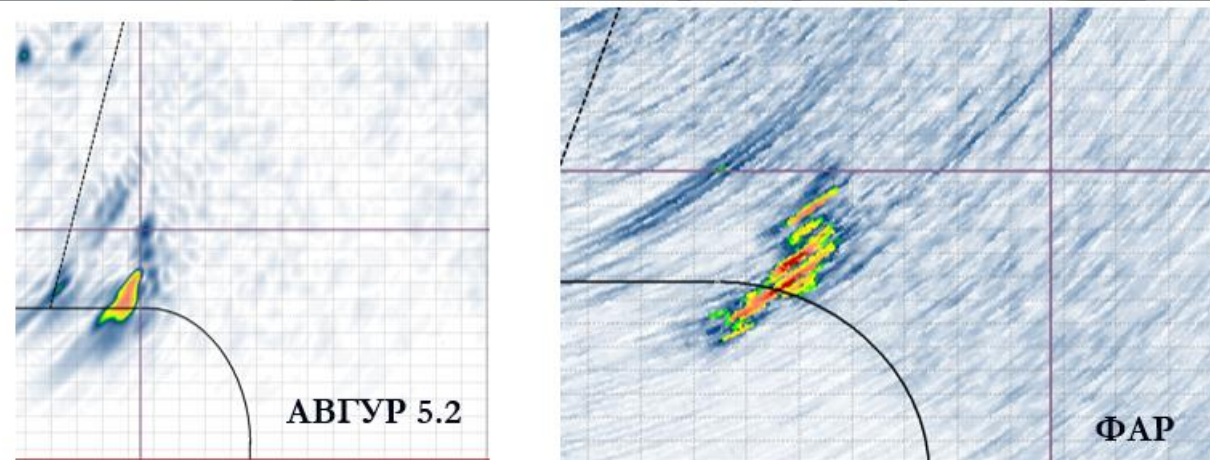
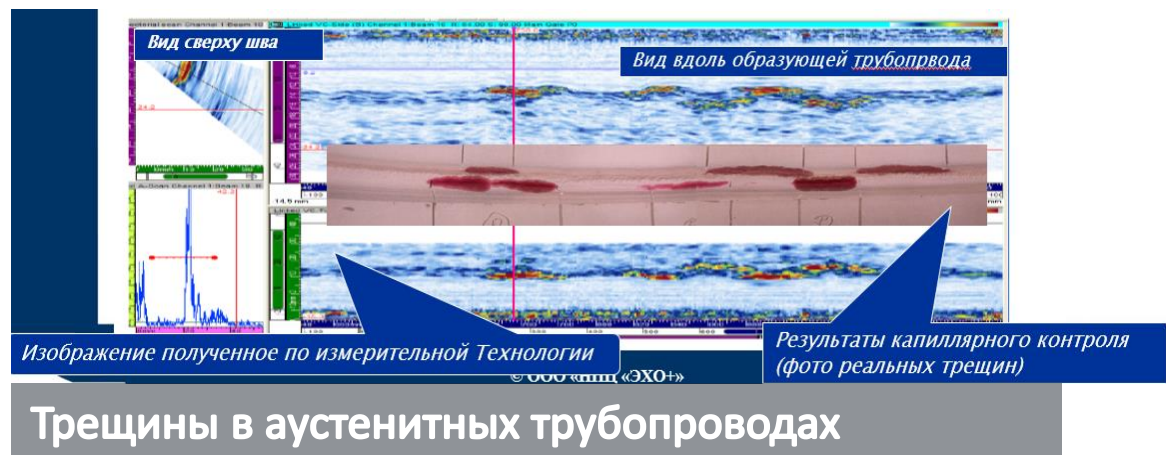
Толщины: от 5 до 90 мм

Диаметры: от 89 до 5 000 мм

Материалы: перлитные, аустенитные, разнородные

ЭФФЕКТ

- Обеспечение замены РГК на АУЗК для широкого диапазона типоразмеров
- Введение размерных критериев эксплуатационных дефектов
- Переход к технологии полной автоматизации



Трещина в сварном соединении толщиной 70 мм

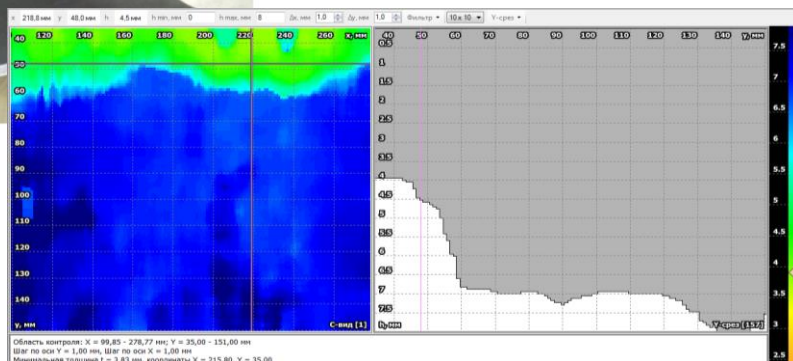
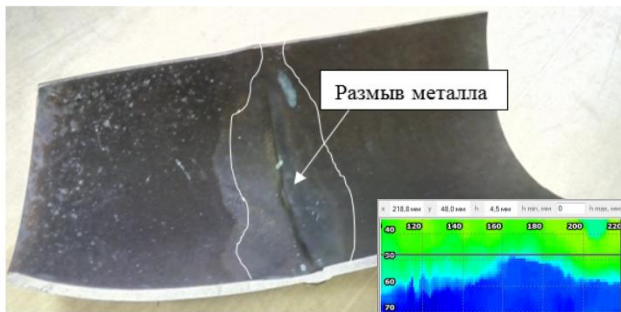
Сплошная толщинометрия

Разработаны методики сплошной толщинометрии с применением ФР

Толщины: от 2 до 80 мм

Диаметры: от 89 и более

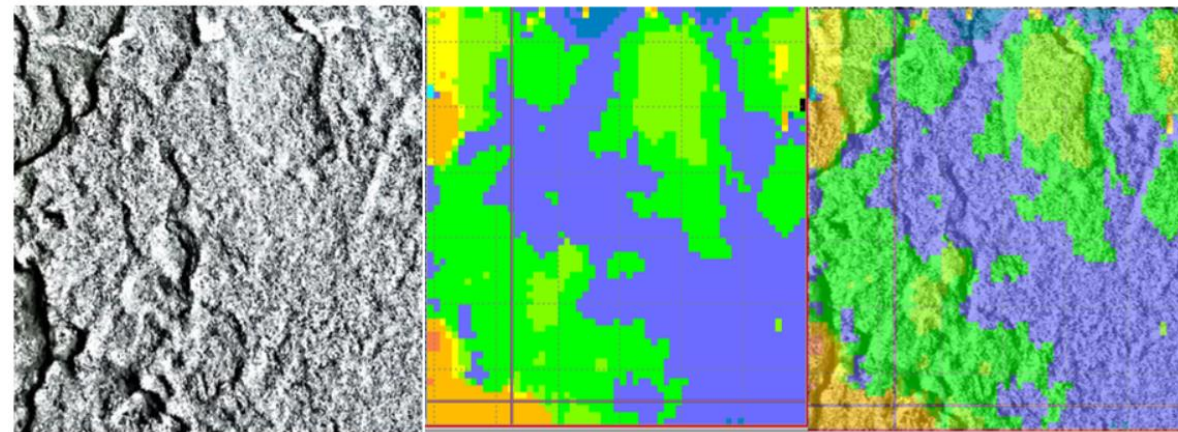
Поиск эрозионного, коррозионного износа в основном металле и сварных швах



Фрагмент трубопровода АЭС

ЭФФЕКТ

- Внедрена методика и аппаратура на российских АЭС
- Готовится к внедрению на промышленных газопроводах и на технологических трубопроводах НПЗ



Фрагмент трубопровода с НПЗ

ВЫЯВЛЕНИЕ СКОПЛЕНИЙ ДЕФЕКТОВ В СТЕНКЕ СОСУДА

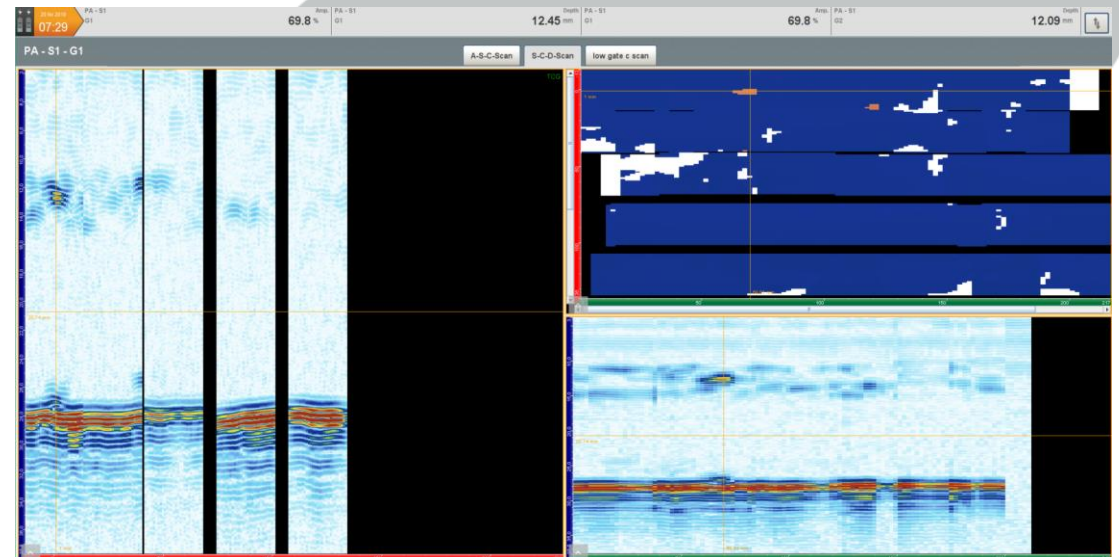
Задача: оценить степень дефектности стенки резервуаров для сжиженных углеводородов. По данным ручного контроля было оценено, что имеются недопустимые скопления

Контроль проводился с дефектоскопом с ФР в режимах линейного сканирования и ЦФА

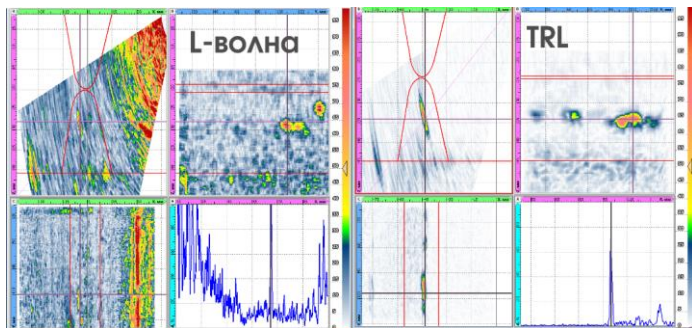


ЭФФЕКТ

- Проведен сплошной контроль с применением ФР на 20 резервуарах на участках 200x200 мм с построением карты дефектов
- Показано, что имеющиеся включения являются допустимыми по ГОСТ 22727



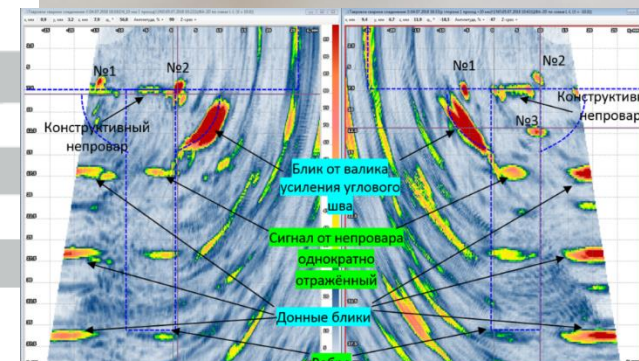
Примеры применения



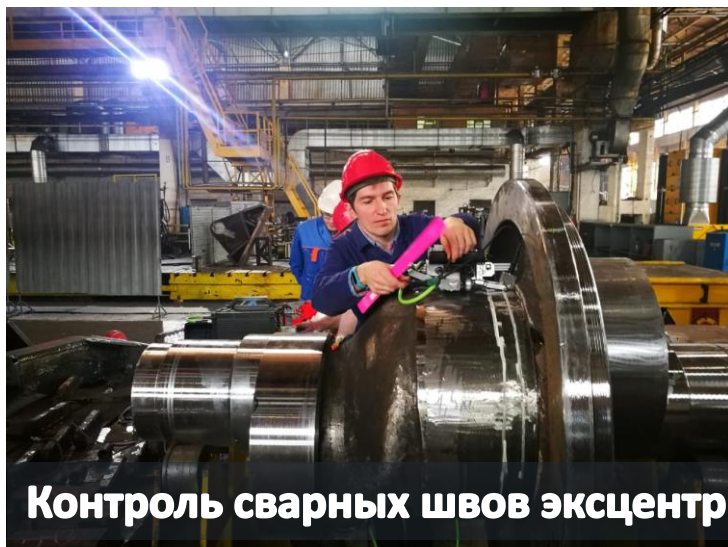
Применение раздельно-совмещенных ФР для контроля аустенитных сварных швов



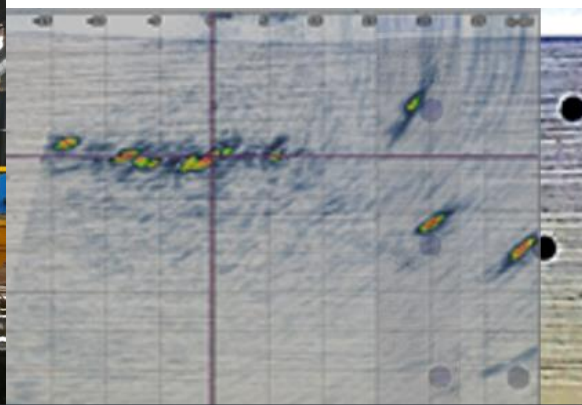
УЗК трубопроводов на Северном Поток 2 (сокращение сроков СМР)



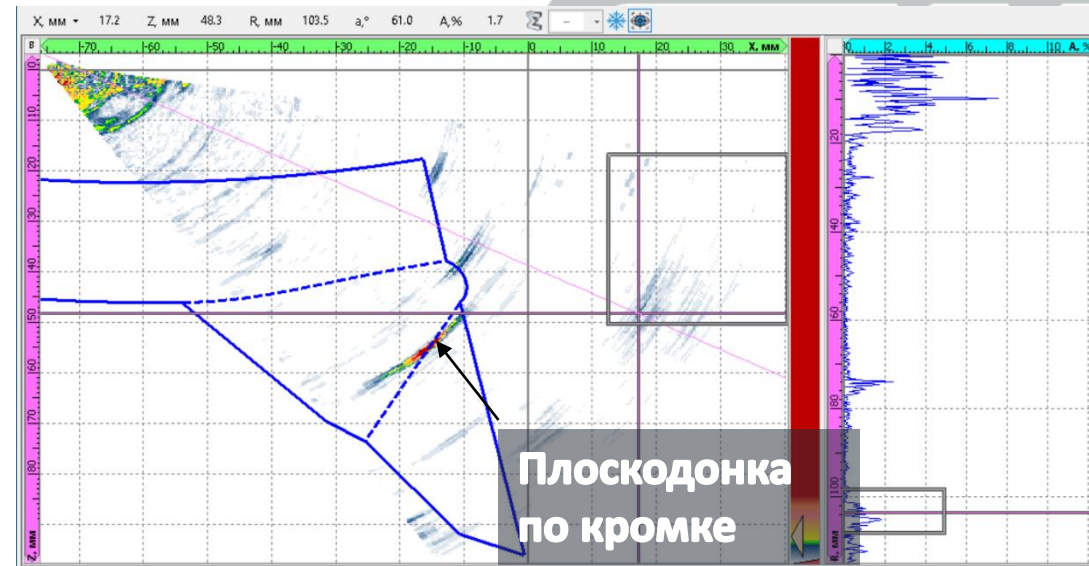
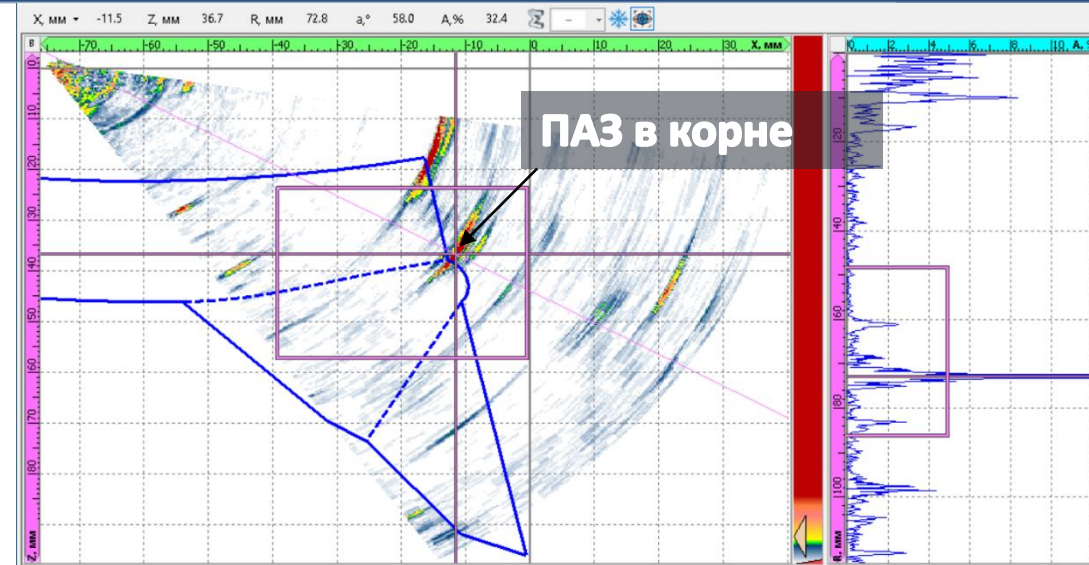
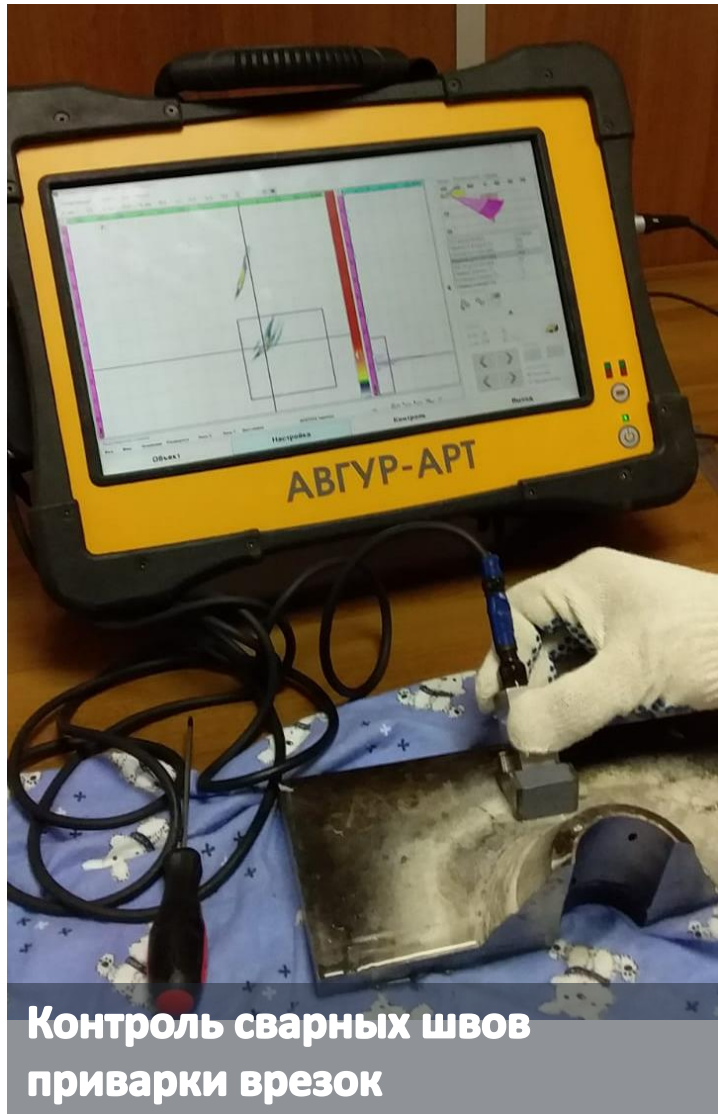
Контроль сварных швов мостовых конструкций



Контроль сварных швов эксцентриксов (УРБО)



Контроль сварных швов прямых врезок (разработка)



Выводы



Готовы к применению системы и дефектоскопы российского производства для УЗК с применением ФР и TOFD



Обеспечивается контроль в том числе ранее неконтролепригодных объектов



В ряде случаев успешно выполняется замена РГК на УЗК



Как разработчик аппаратуры и методик ЭХО+ оказывает поддержку пользователям