



АКТУАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ОБНАРУЖЕНИЯ и ВИЗУАЛИЗАЦИИ ДЕФЕКТОВ В СОВРЕМЕННОЙ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ДИАГНОСТИКЕ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

А.Х. Вовилкин, Д.С. Тихонов, С.В. Ромашкин
ООО «НПЦ «ЭХО+»

VIII-е отраслевое совещание
СОСТОЯНИЕ И ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА ПАО „ГАЗПРОМ“
14-18 ноября 2016 г., г. Москва, пос. Развилка, ВНИИГАЗ



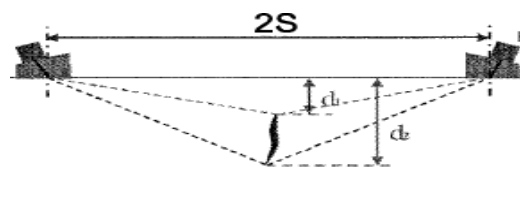
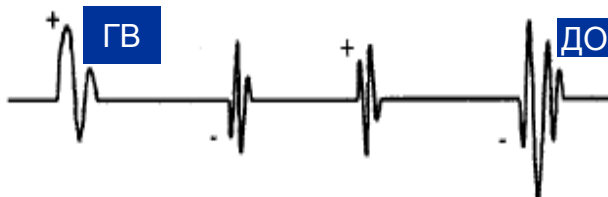


Методы визуализации дефектов при проведении автоматизированного ультразвукового контроля

1. Дифракционно-временной метод ДВМ (TOFD)
2. Метод фазированной антенной решетки ФАР
3. Метод цифровой фокусировки антенны ЦФА

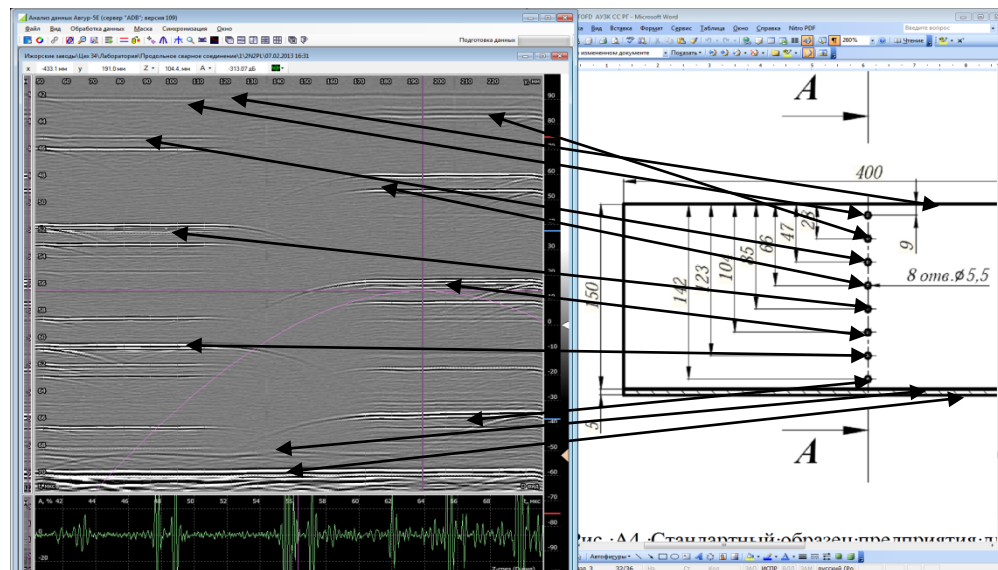
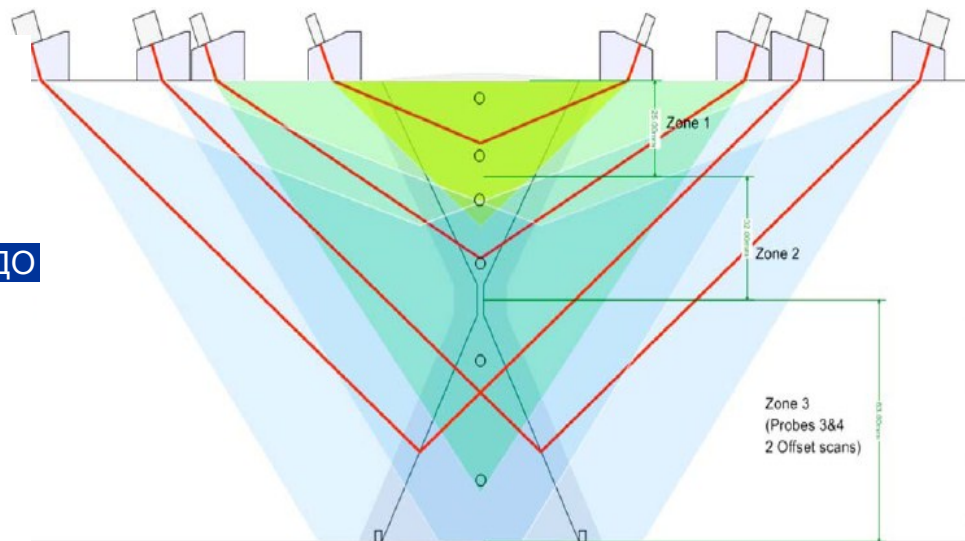


Дифракционно-временной метод, ДВМ (TOFD)



$$h = d_2 - d_1$$

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





Особенности метода TOFD

Преимущества

- Высокая чувствительность контроля
- Возможность измерения длины, высоты и координат дефектов (вдоль сварного соединения и по глубине)
- Возможность классификации дефектов
- Высокая производительность сбора данных
- Относительная простота оборудования для АУЗК

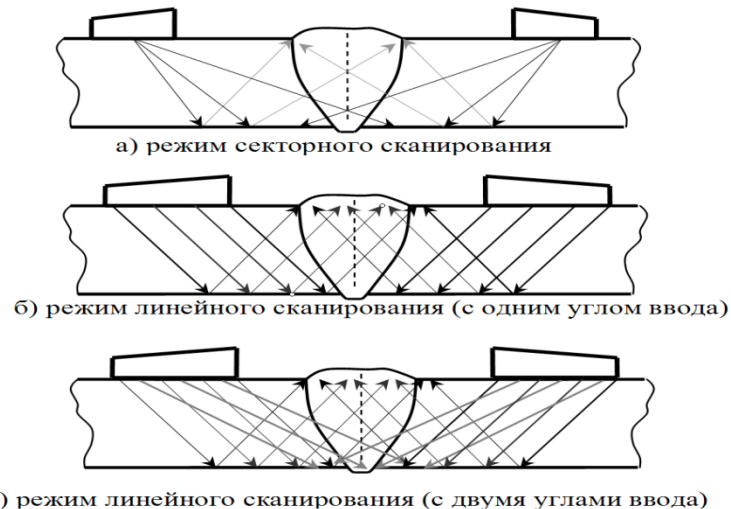
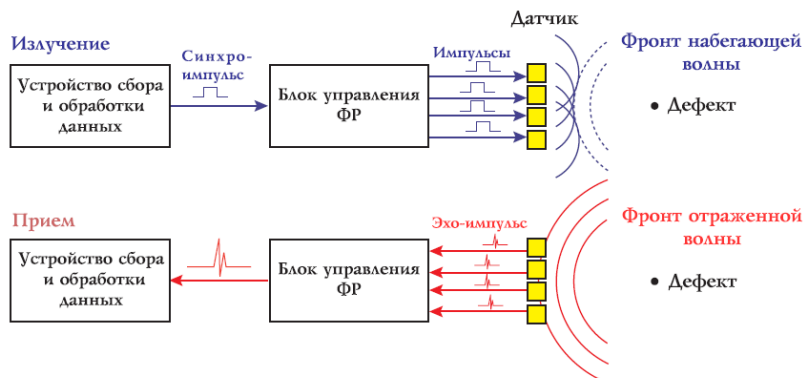
Недостатки

- Отсутствует возможность оценки эквивалентной отражательной способности
- Отсутствует возможность определения координат расположения в направлении перпендикулярном оси сварного соединения
- Относительная сложность интерпретации результатов контроля

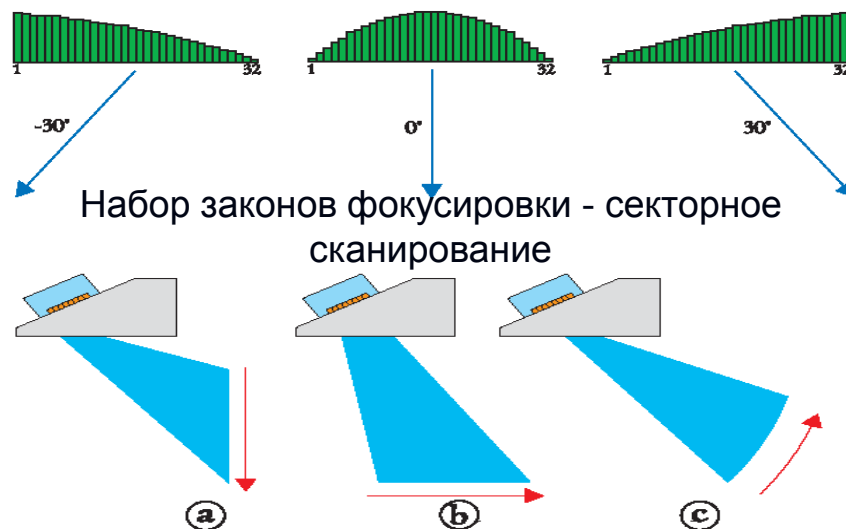


Метод фазированной антенной решетки (ФАР)

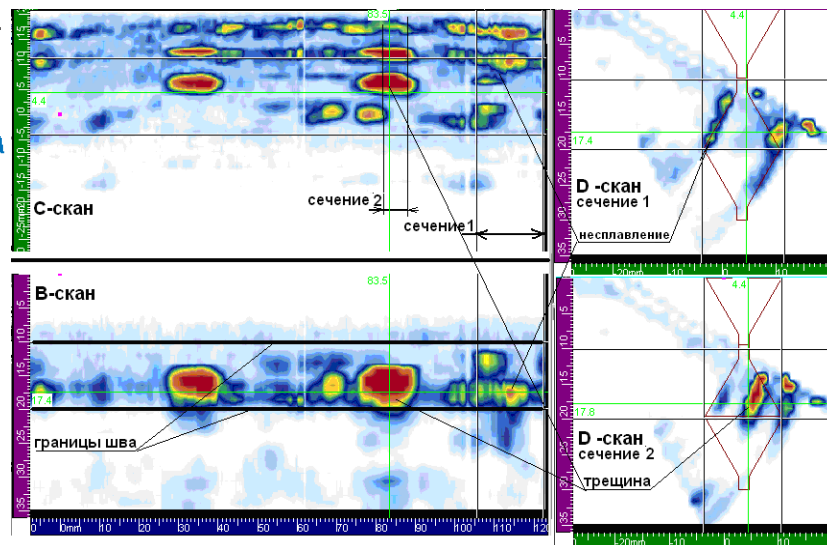
Излучение и прием ФАР



Задавая задержки меняем угол излучения/приема



Изображения несплавления по кромке шва и трещин в сечении шва





Особенности метода ФАР

Преимущества

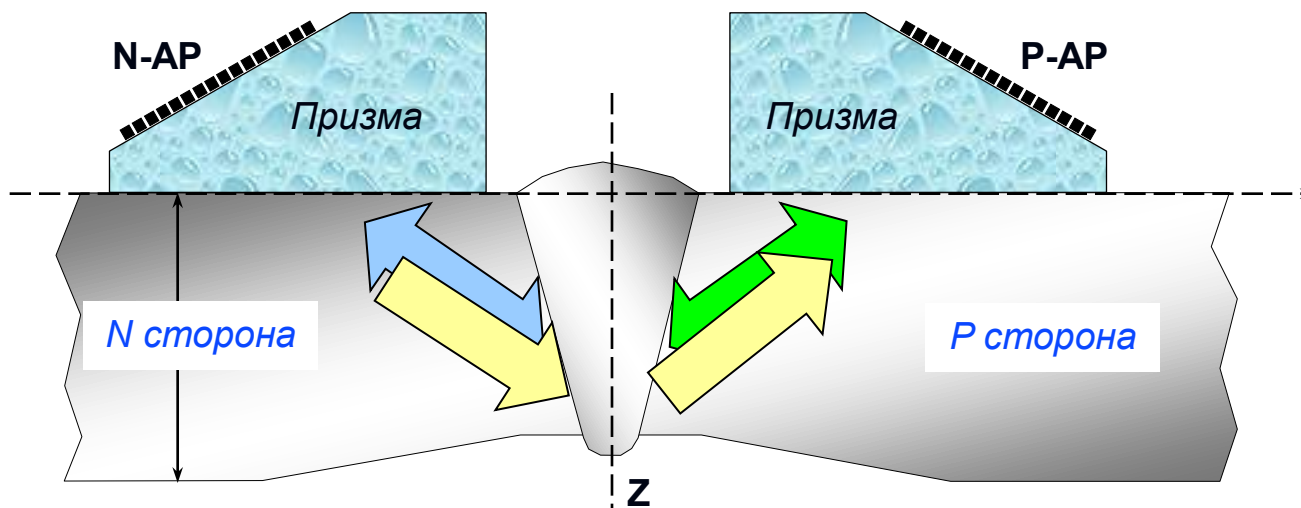
- Высокая чувствительность контроля
- Возможность оценки эквивалентной отражательной способности
- Возможность измерения длины, высоты и координат дефектов
- Высокая производительность сбора данных

Недостатки

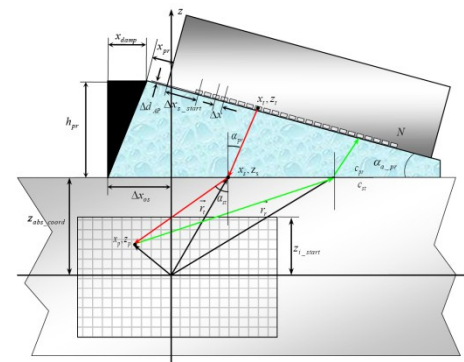
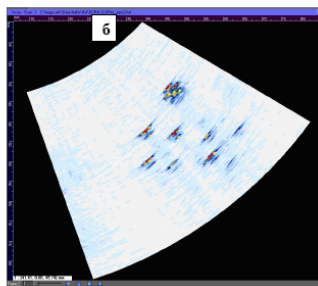
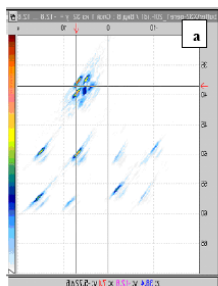
- Не достаточная возможность по классификации дефектов определенных типов
- Низкая чувствительность к висячим вертикальным плоскостным дефектам
- Относительная сложность оборудования
- Производительность может зависеть от требуемого качества контроля (количества законов фокусировки)



Метод цифровой фокусировки антенны, ЦФА

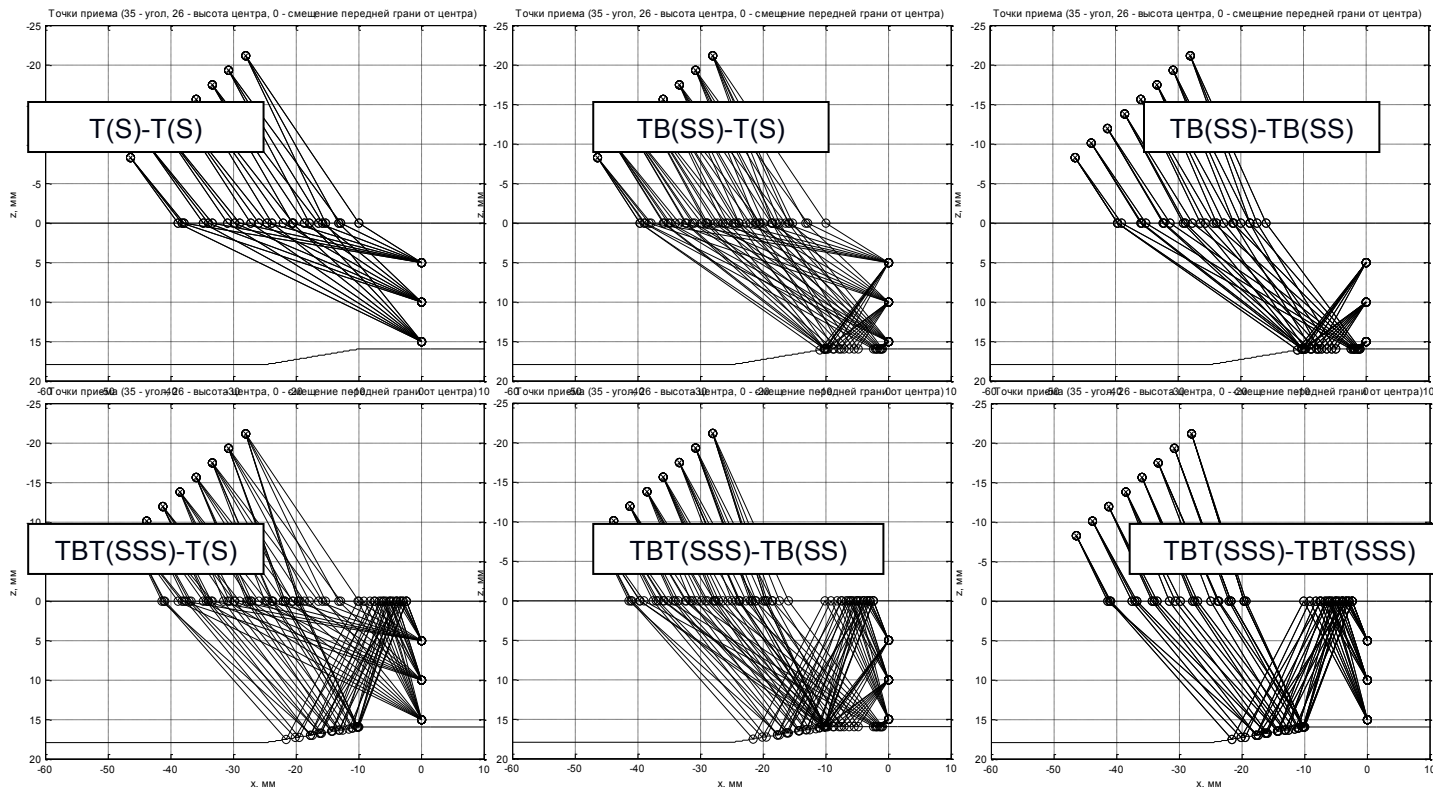


Две или более AP на призмах сканируют вдоль сварного соединения и проводят измерения в режимах излучения и приёма с каждой стороны, и в режиме излучения с N-стороны и приёма с P-стороны





ЦФА с учетом отражения от границ

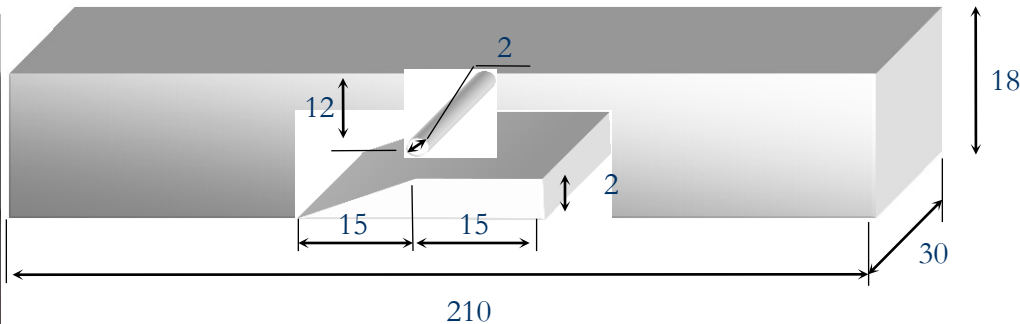
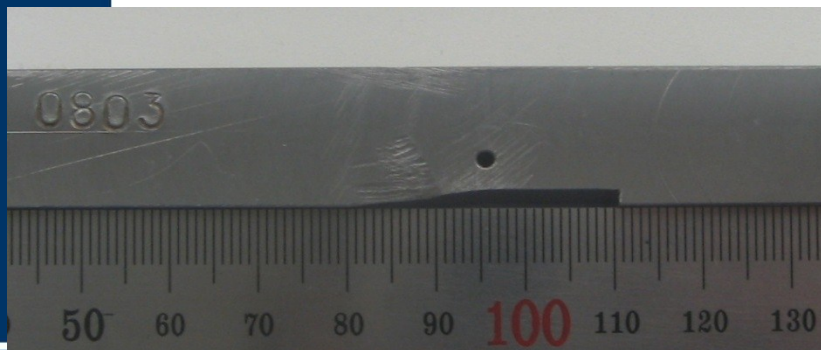
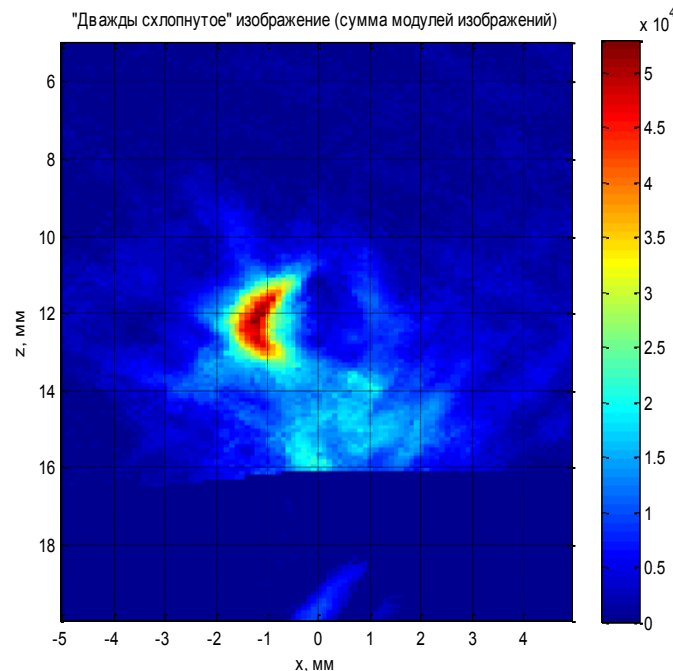
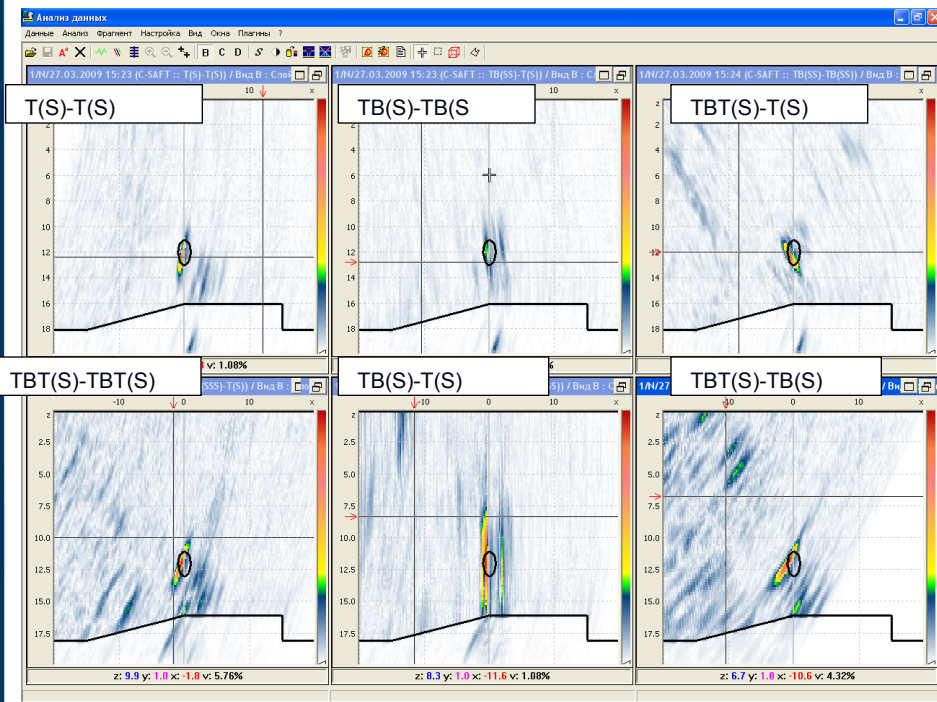


На рисунке показаны шесть акустических схем прозвучивания для трех точечных дефектов. Видно, что дефекты облучаются в широком диапазоне углов около 130 градусов, что позволяет выявлять дефекты ранее не выявляемых конфигураций

№	Пример названия схемы	Схематическое изображение лучей акустической схемы	Комментарий
1.	$T(S)-T(S)$ ($m_i = 0; m_r = 0$)		Восстанавливается изображение корня и вершины трещины (на продольных волнах восстанавливается изображение дна объекта контроля)
2.	$T(L)-TB(SL)$ ($m_i = 0; m_r = 1$)		Восстанавливается изображение поверхности трещины («самотандем»)
3.	$TB(SL)-TB(SL)$ ($m_i = 1; m_r = 1$)		Восстанавливается изображение вершины трещины

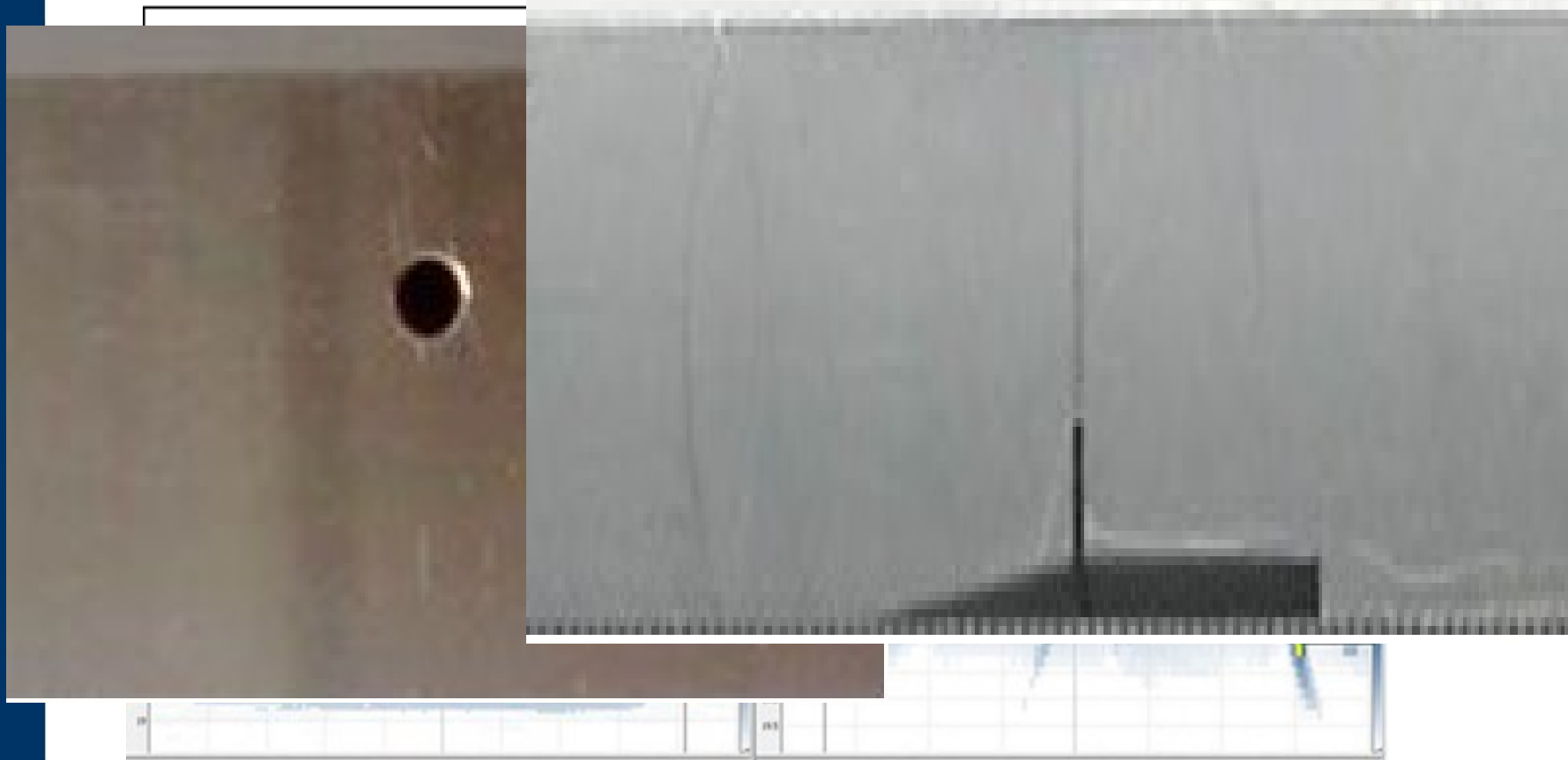


Метод ЦФА для получения изображения дефектов, полученных по разным схемам с учётом геометрии объекта контроля, Multi-ЦФА





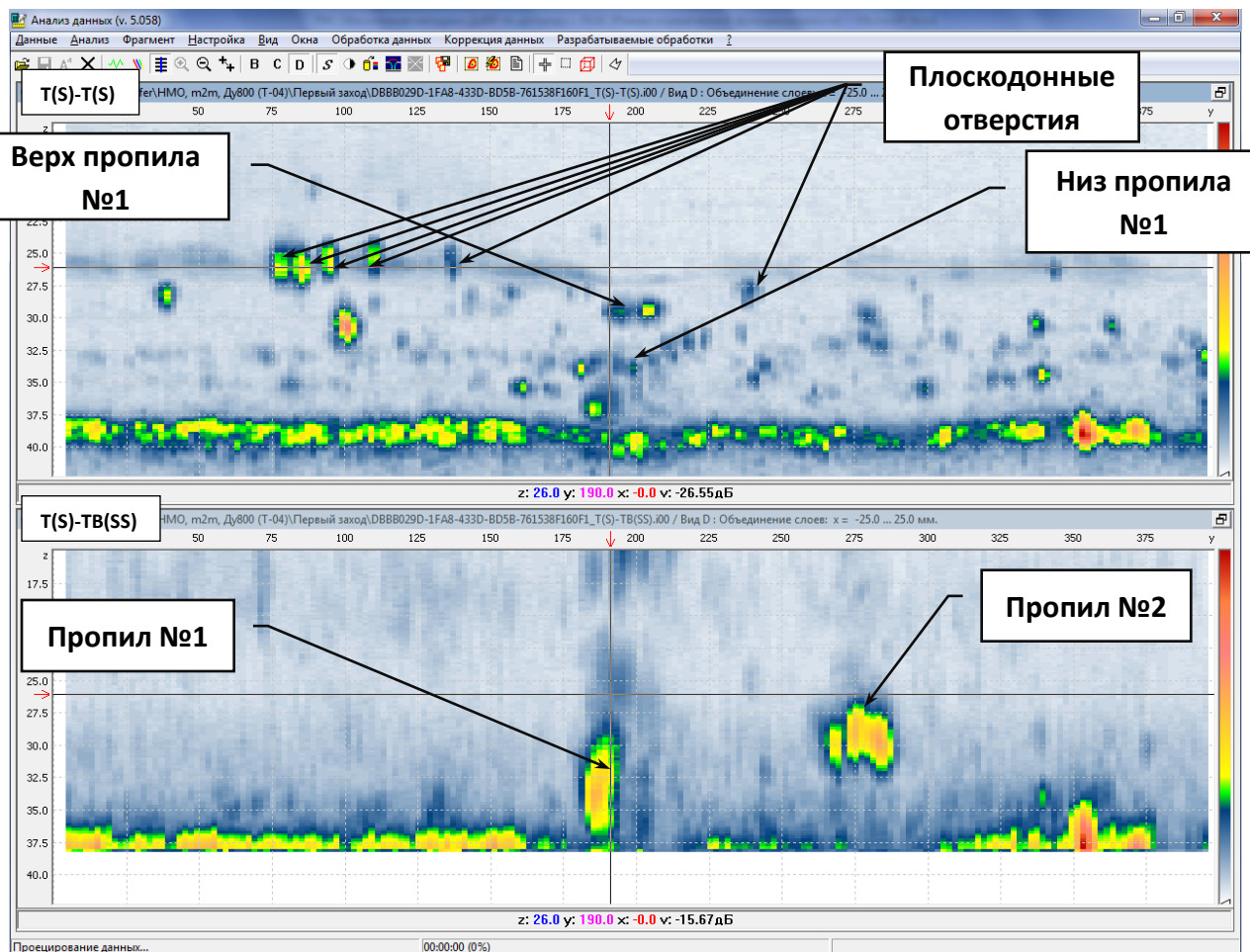
Метод ЦФА для получения изображения дефектов,
полученных по разным схемам с учётом геометрии объекта
контроля, Multi-ЦФ



Несколько парциальных изображений объединённых в одно



СИСТЕМА АВГУР-АРТ: контроль СС с наплавкой толщиной 38 мм



Изображения D-типа полученные по схеме S-S.

Изображения D-типа полученные по схеме S-SS. Два плоскостных дефекта.

Два парциальных изображения одной области шва



Особенности метода ЦФА

Преимущества

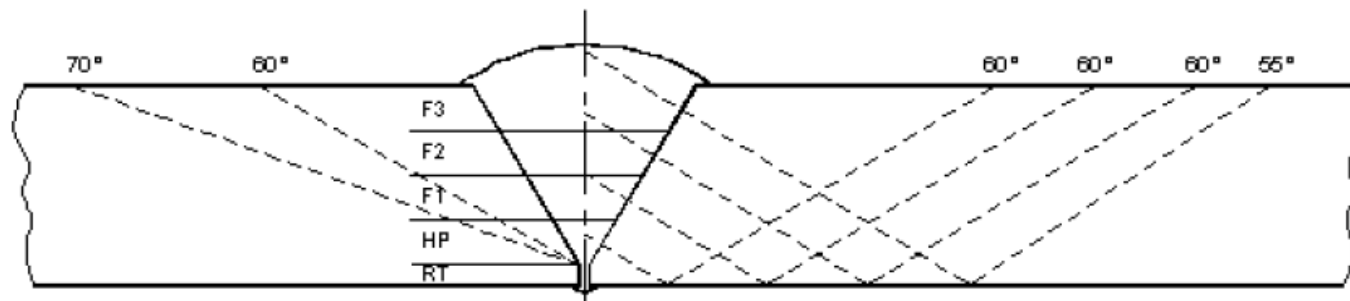
- Высокая чувствительность контроля включая к висячим трещинам
- Возможность оценки эквивалентной отражательной способности
- Возможность измерения длины, высоты и координат дефектов
- Максимальная возможность по классификации дефектов

Недостатки

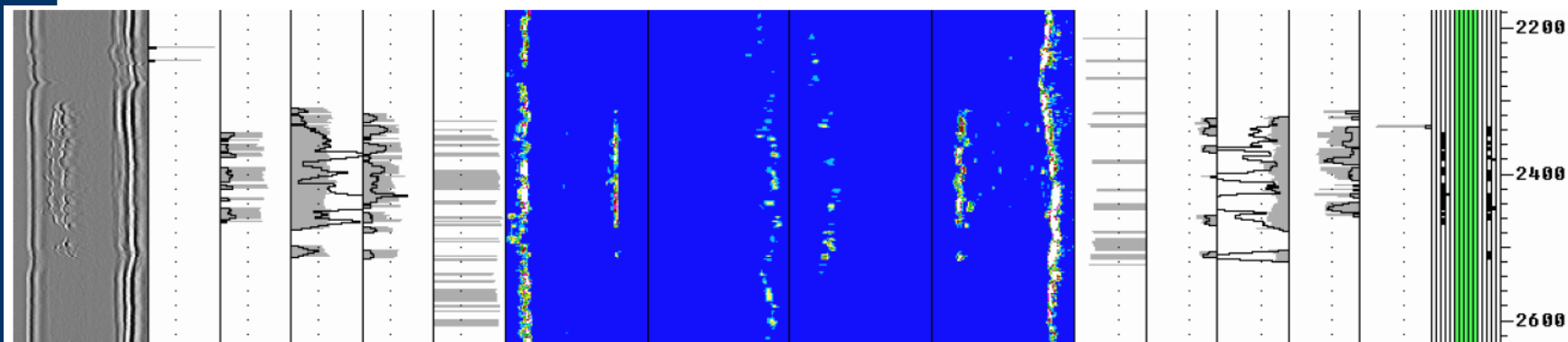
- Относительная сложность оборудования
- Низкая производительность контроля



Контроль сварных соединений методом зональной фокусировки + TOFD



Разбивка сварного соединения на зоны и расчет параметров каналов контроля каждой зоны



TOFD
канал

зональные
каналы

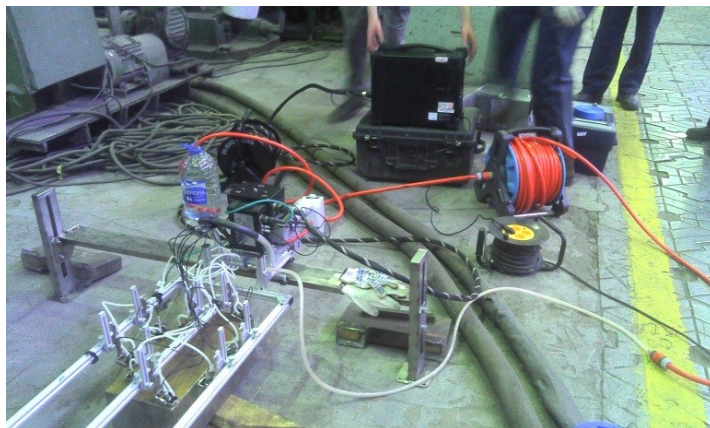
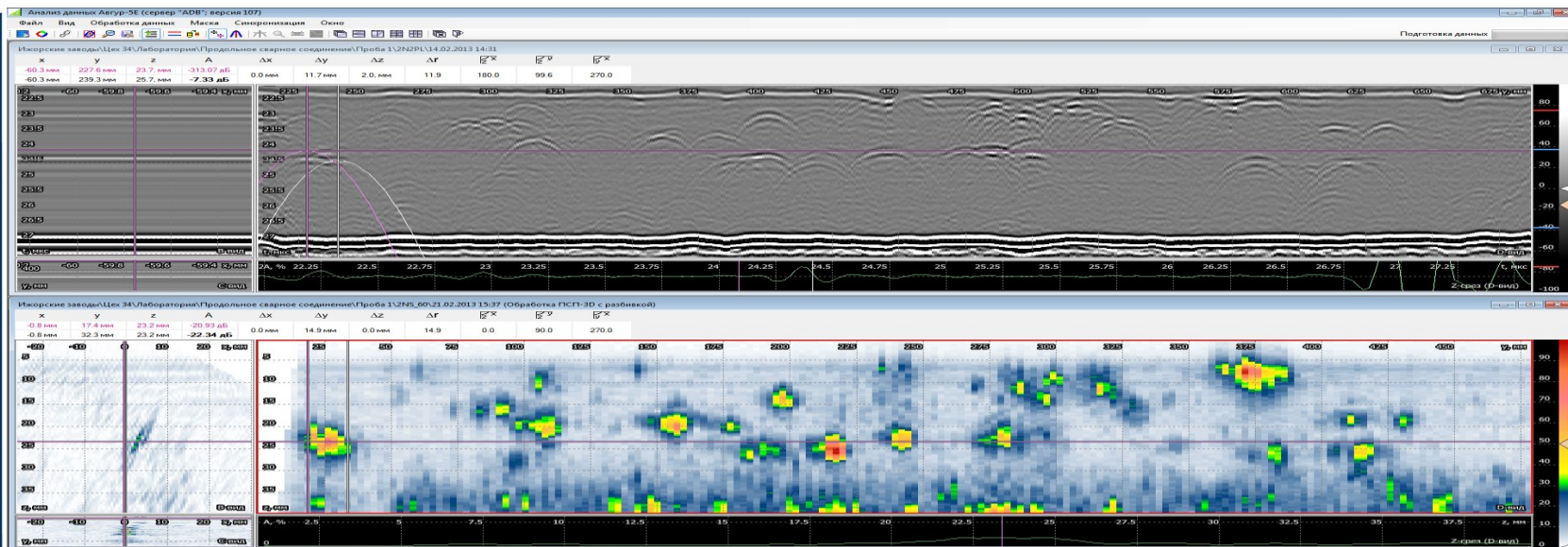
растровое представление
корневых каналов

зональные
каналы

Контакт

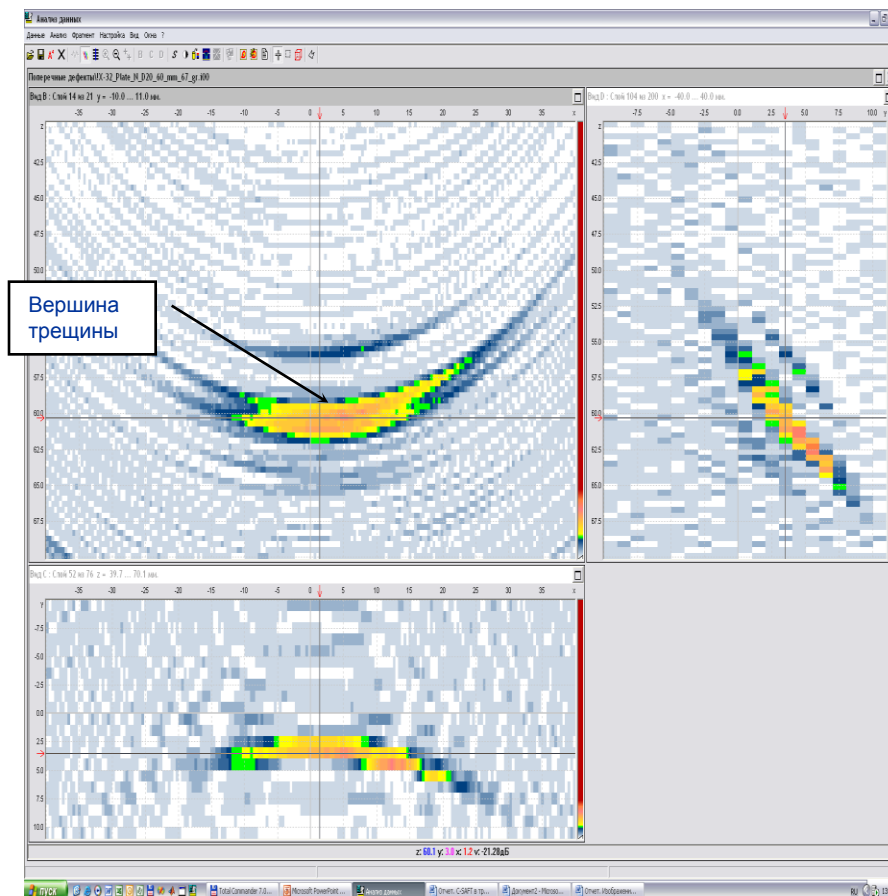
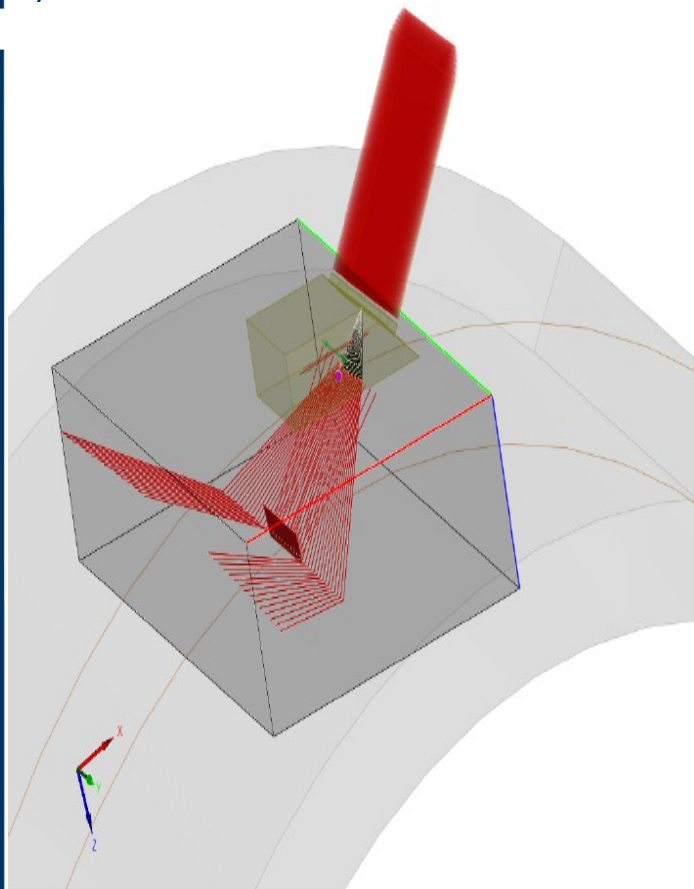


Контроль объектов методом TOFD + ФАР





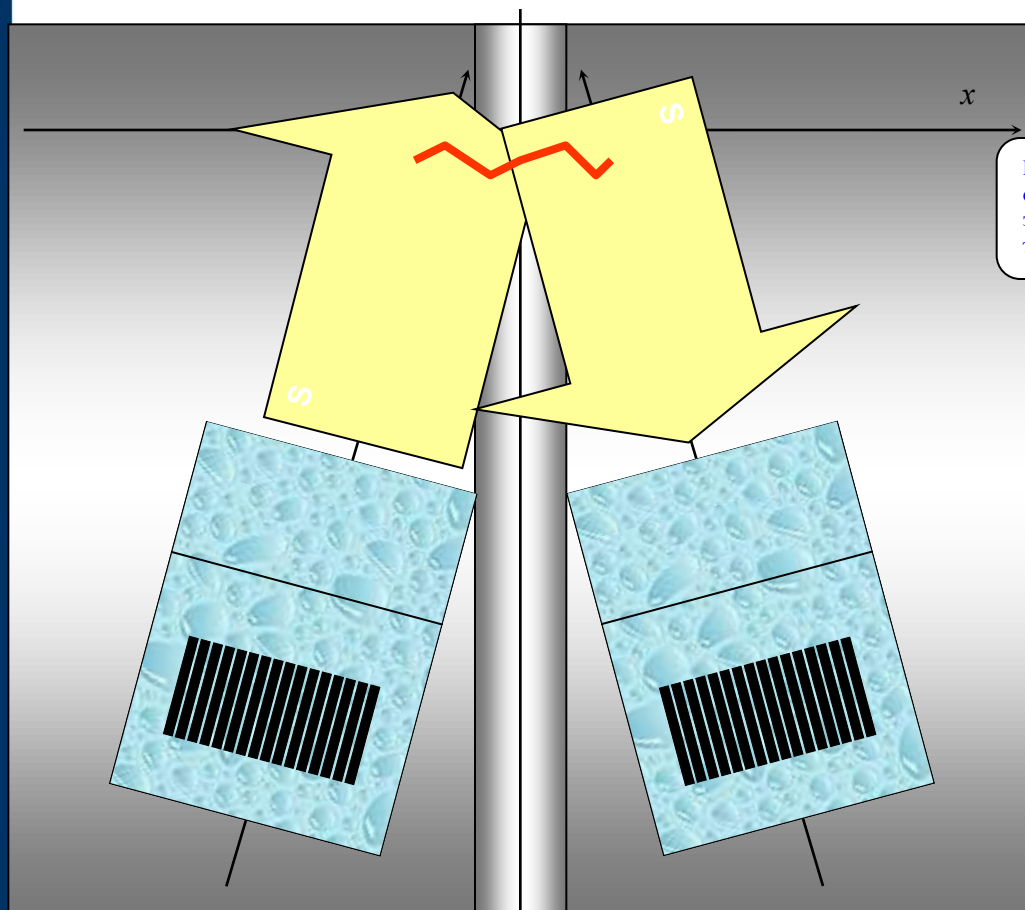
Контроль на поперечные дефекты сварных соединений без усиления



Изображение модели поперечной трещины длиной 20.0 мм и высотой 4.0 мм при двукратном отражение от границ объекта контроля. Одно положение АР.



Контроль на поперечные дефекты сварных соединений с усилением



отражение
точек выхода
AP2

В модели
отражатели
заданы только
тут

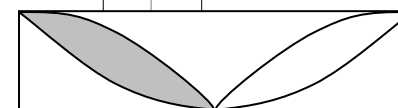
плоскость
отражения
(возможное
положение
дефектов)

AP2

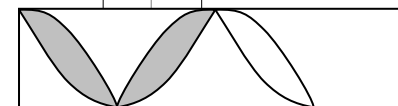
AP1

Зоны чувствительности схем на
плоскости отражения

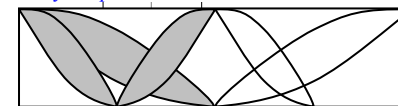
S-SS и SS-S



S-SSSS и SS-SSS



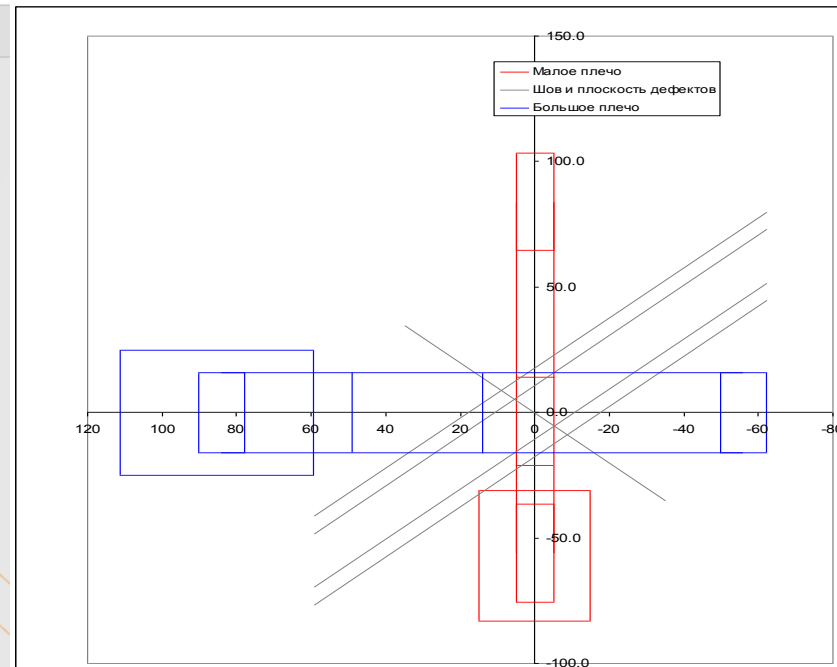
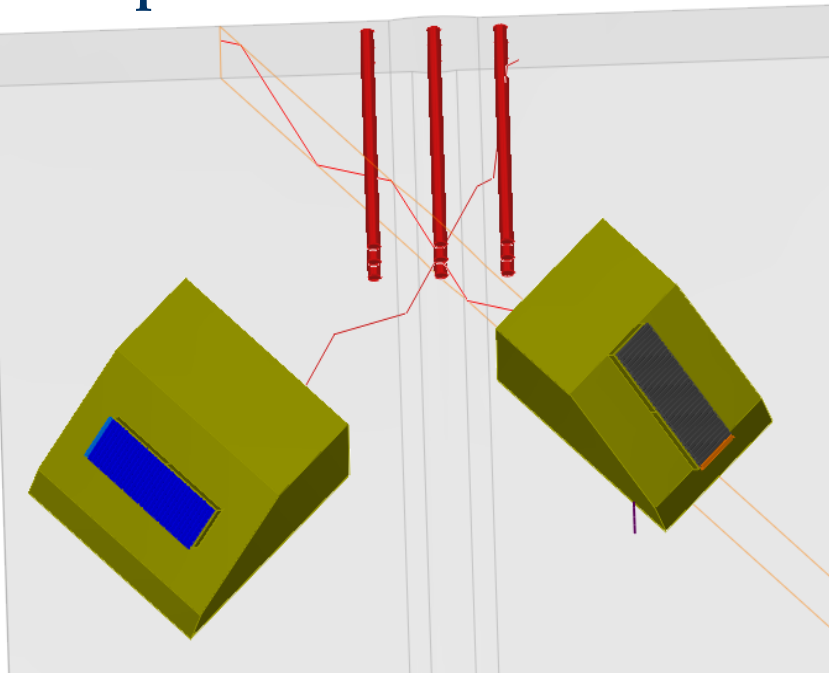
Суммарно по всем схемам



Размещение AP на призме с поворотом на 90.0 градусов
позволит получать изображения поперечных трещин в единой
системе координат.

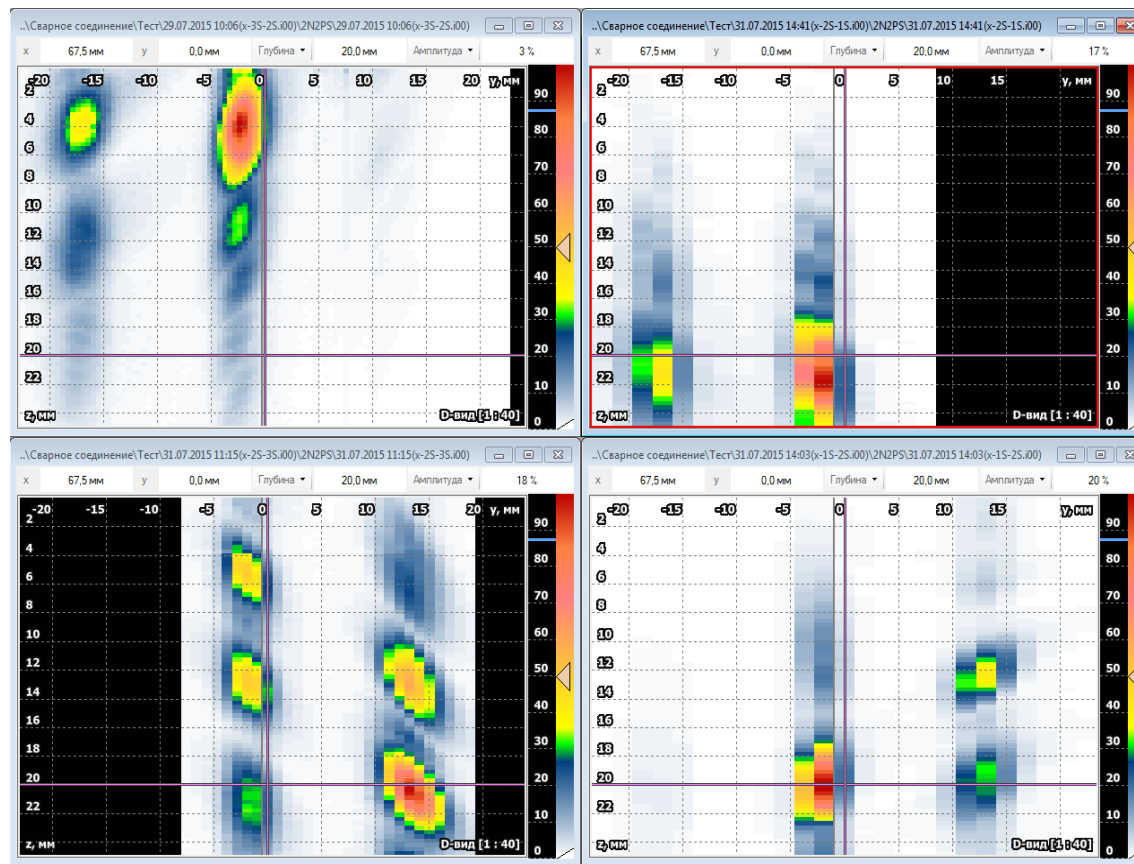


Учет параметров сварного соединения при выборе схем контроля





Выявление поперечно ориентированных дефектов

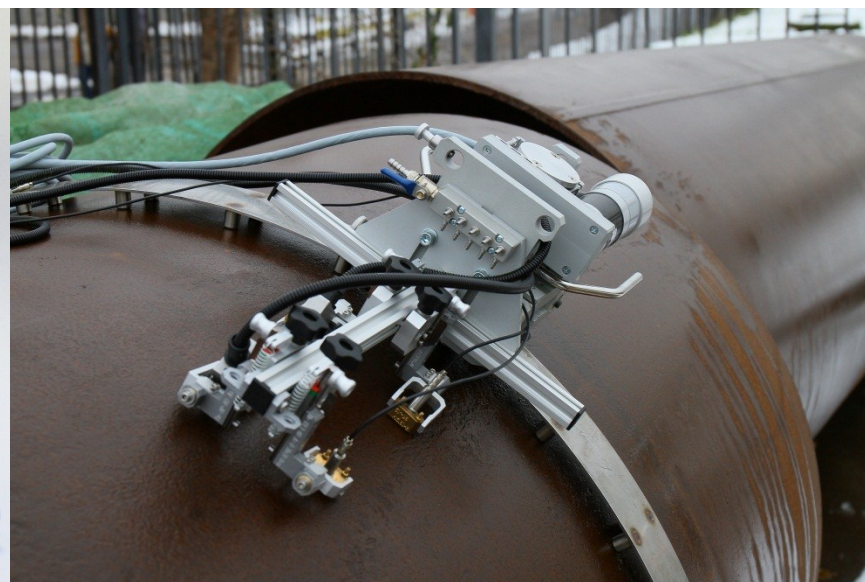
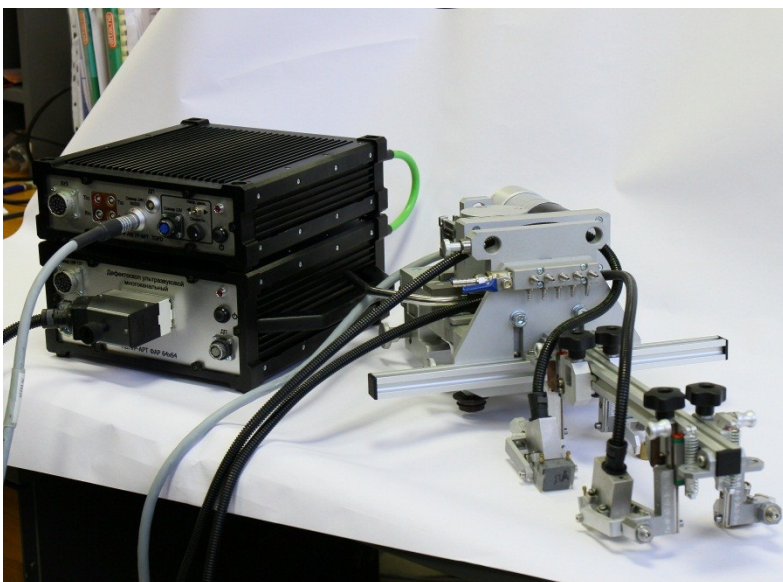
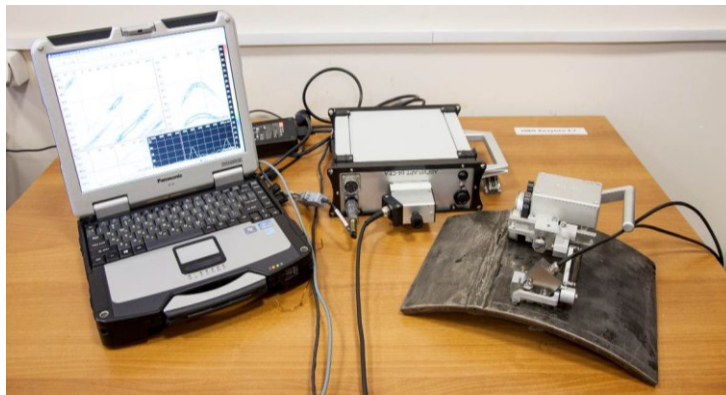


- Полученные данные свидетельствуют о принципиальной возможности выявления поперечных дефектов призмами традиционного положения АР, но зона чувствительности невысока, для пива «обычной» ширины требуется несколько проходов.
- При повернутом на 90° положении АР на призме достигается ширина зоны контроля сопоставимая с шириной апертуры АР, надо пользоваться при обработке несколькими схемами контроля, каждая из которых покрывает лишь часть сечения.
- Основная проблема при построении схем на поперечные дефекты - слепая зона в середине пробега между приемником и излучателем. Ее можно обойти, если использовать поворот АР на призме на угол отличный от 90° , тогда линия номинальных точек выхода лучей АР будет неперпендикулярна направлению распространения лучей, как показано на рисунке.

Схемы: 3S-2S и 2S-3S (слева), 2S-1S и 1S-2S (справа)



Система АВГУР-АРТ для работы в режимах ФАР, ЦФА и TOFD



NOTEBOOK + 64xДЕФЕКТОСКОП + СКАНЕР + ФАР + ПЭП



СИСТЕМА АВГУР-АРТ: рабочие частоты 2,25 – 10 МГц, каналов до 128

Диапазон частот импульса возбуждения от 1,2 до 10 МГц.

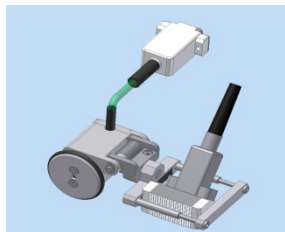
- 1. Диапазон амплитуд зондирующего импульса от 30 до 100 В.**
- 2. Предел абсолютной погрешности установки амплитуды зондирующего импульса $\pm 10\%$.**
- 3. Полоса пропускания приемного тракта по уровню -3 дБ от 0,5 до 12 МГц.**
- 4. Число поддерживаемых законов фокусировки не менее 255.**
- 5. Диапазон регулировки коэффициента усиления приемного тракта, не менее 80 дБ.**
- 6. Минимальный шаг регулировки коэффициента усиления не более 0,5 дБ**
- 7. Число разрядов АЦП не менее 12.**
- 8. Максимальная частота дискретизации АЦП не менее 50 МГц.**
- 9. Подавление перекрестных помех параллельных каналов не менее 50 дБ.**
- Номинальное напряжение источника внешнего питания постоянного тока 12 В.**



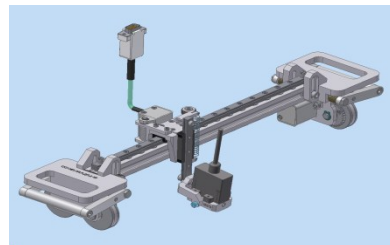
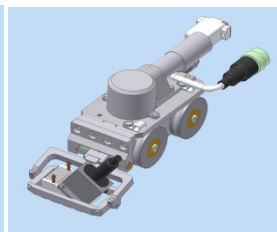
1D- и 2D-СКАНЕРЫ для ФАР



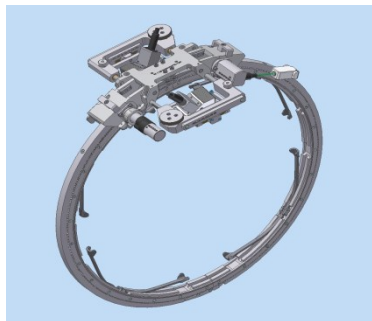
СКУ-МП.ПЛМ.ДП.1 Скорпион



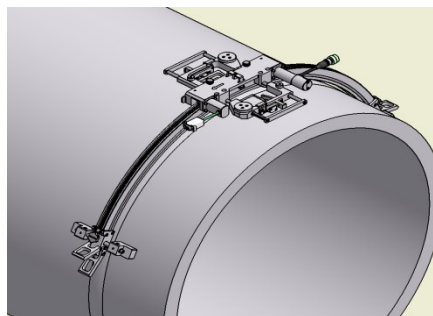
ИП-150-ПЛ.Р.ДП.1 Муха



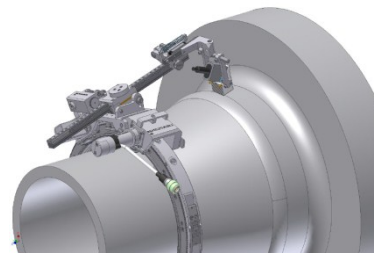
СКУ-МП.ПЛ.Р.ДП.2



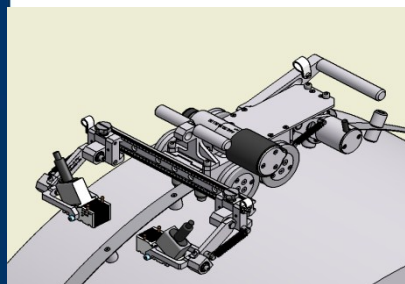
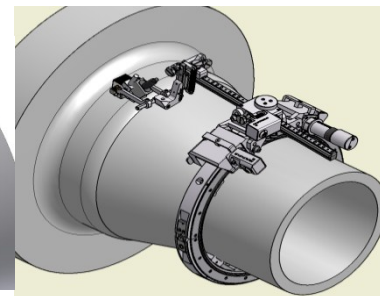
СКУ-ТД.219-426.М.ДП.1



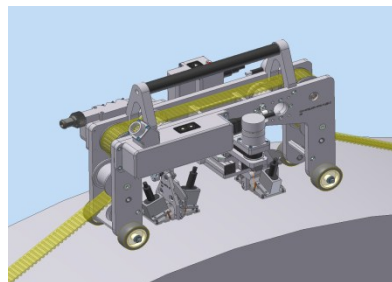
СК.Т820



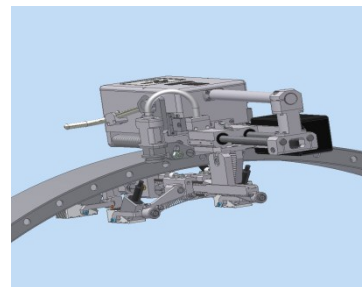
SKU-TD.273.M.EN.2



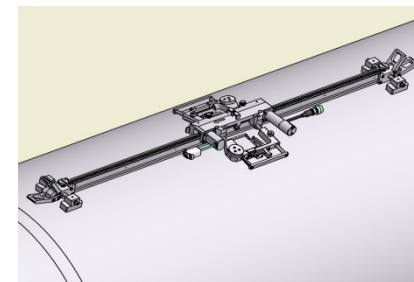
СКУ-МТ.530-1440.М.ДП.1



СКУ-МТД.850-3000.М.ДП.2



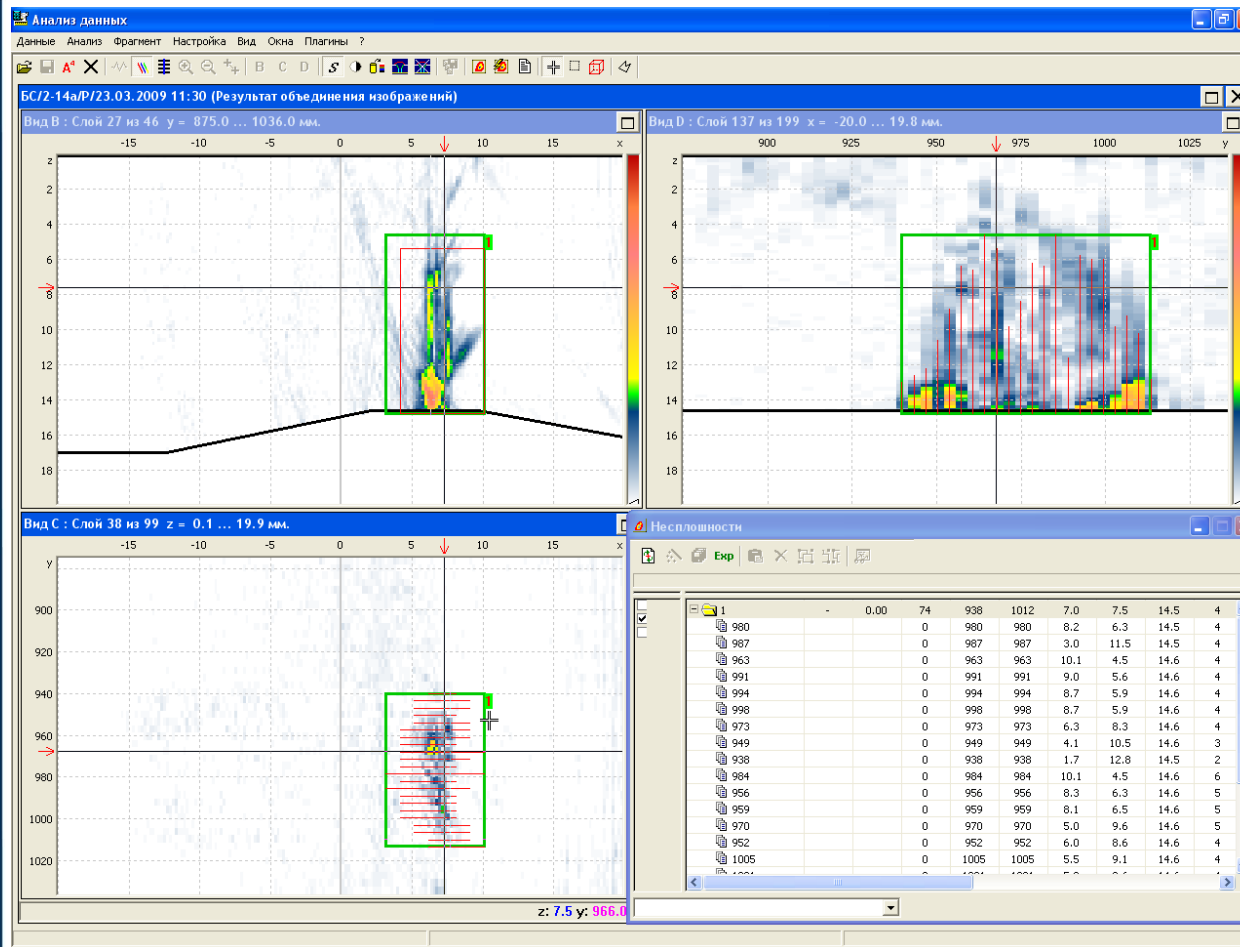
СК.426С



СК.Т820П



Автоматическое формирование заключения по результатам АУЗК



По объединенным изображениям программа позволяет получить контуры дефекта в каждом слое и сделать запись в БД о дефекте.

После этого формируется протокол, в котором указаны все необходимые данные для документирования результата контроля.

Коррозионная трещина в корне шва



- Объединение лучших методов контроля в одной системе дало возможность предложить эффективное решение по АУЗК сварных соединений – максимальная отдача от УЗ без потерь производительности:
 - ФАР-режим эффективный поиск дефектов различной ориентации по всему сечению
 - TOFD-режим – дополнительная информация по дифракционным эхо-сигналам от дефектов
 - ЦФА-режим – наиболее точная визуализация дефектов, определение физических размеров дефектов



Спасибо за внимание!



ООО «НПЦ «ЭХО+»

www.echoplus.ru

echo@echoplus.ru