

Совершенствование методик и средств эксплуатационного неразрушающего контроля узла приварки коллектора теплоносителя к патрубку Ду1200 парогенераторов ПГВ-1000

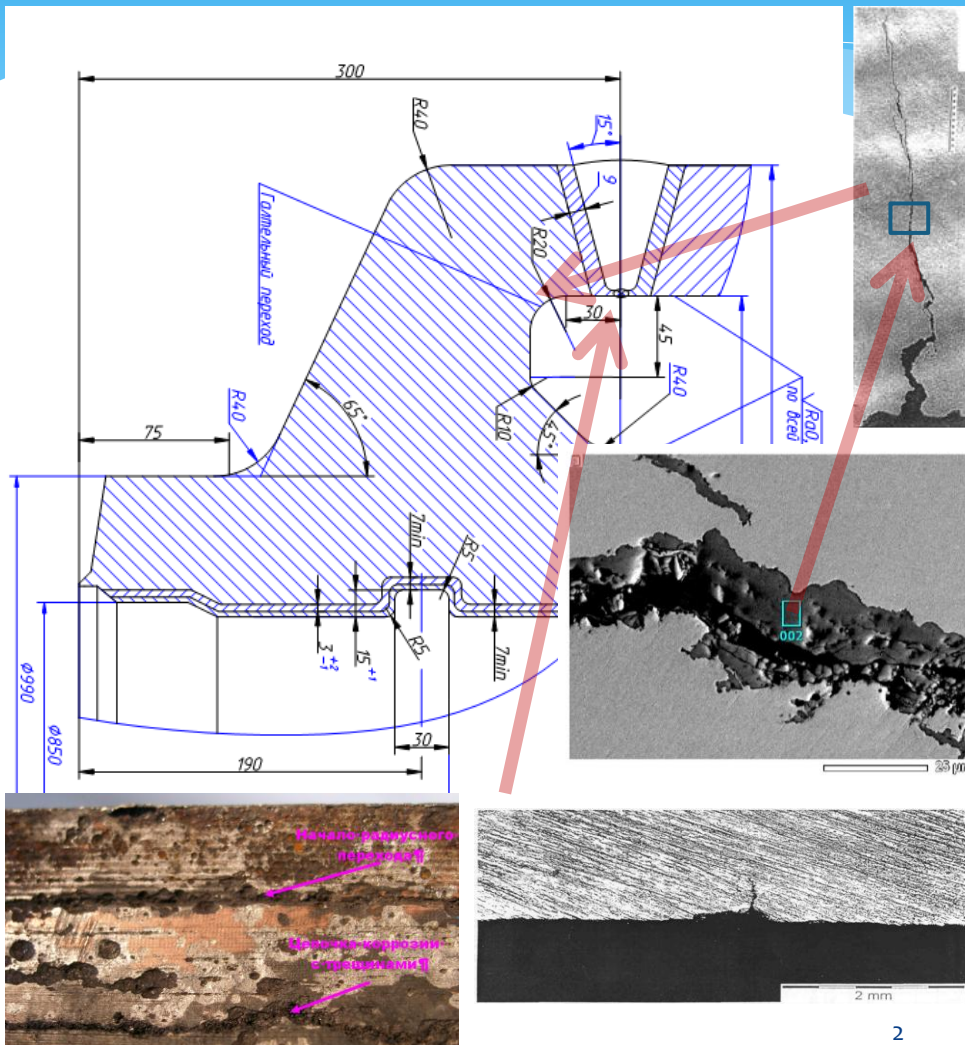
Вопилкин А.Х., Тихонов Д.С.

ООО «НПЦ «ЭХО+», Москва

9-я МНТК «Безопасность, эффективность и экономика атомной энергетики»

«Материаловедение и контроль металла», 21-23.05.2014

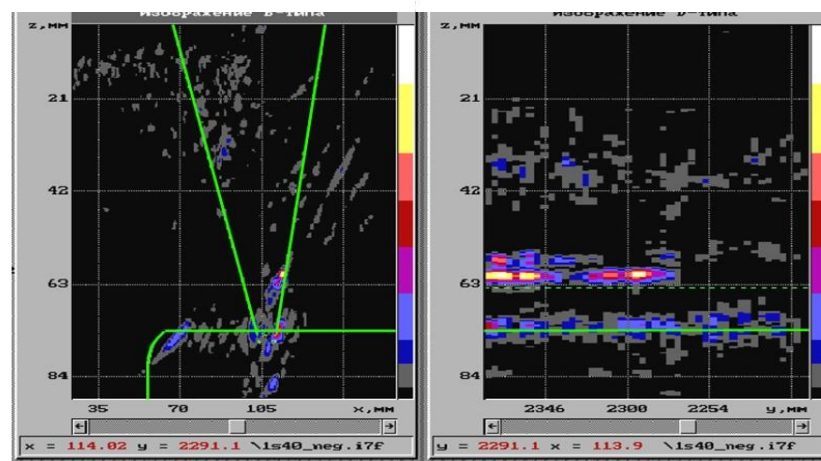
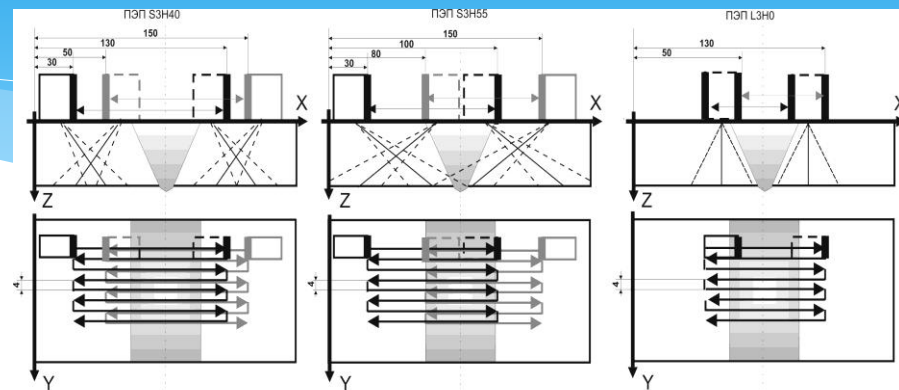
Основные проблемы эксплуатационного УЗ контроля узла ПКП Ду1200



- * расширение области контроля за границы сварного соединения, (она должна включать в себя также основной металл в области радиусного перехода от галтели к цилиндрической поверхности кармана);
- * необходимость выявления диагонально ориентированных относительно оси шва дефектов;
- * выявления дефектов выходящих на поверхность при наличии коррозионного износа внутренней поверхности кармана;
- * выявления слабо отражающих с плотным заполнением несплошностей;
- * необходимость определения размеров обнаруженных несплошностей.

Экспертный контроль системой АВГУР 4.2 1999 – 2004 гг

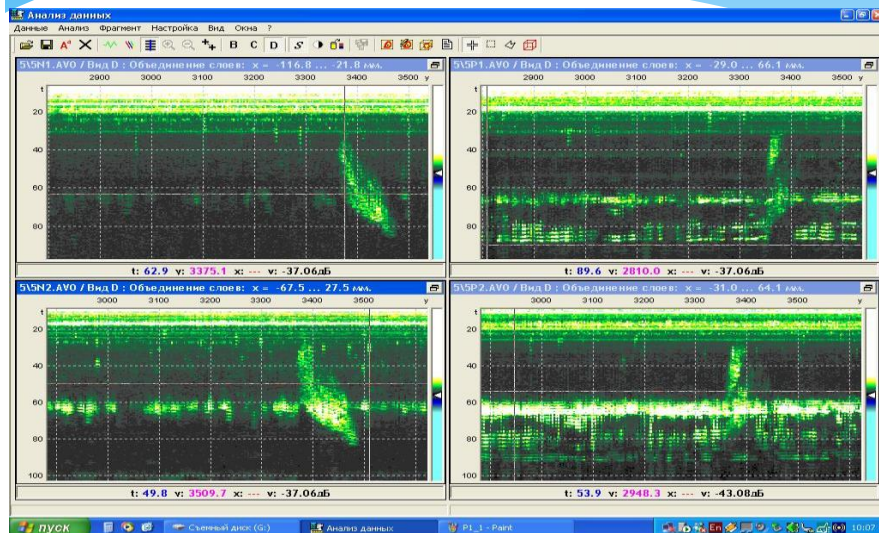
- * Контроль СС Ду1200 системой АВГУР 4.2 в экспертном режиме в соответствии с методикой ОМП-98 велся на трёх блоках Калининской АЭС, трижды на Волгодонской АЭС, дважды на пятом блоке Нововоронежской АЭС с 1999 г.
- * Возможности технологии в тот период позволяли получать изображения высокой разрешающей способности только в локальных областях. Поэтому применение нового метода в этот период истории ограничивалось только контролем областей, в которых тем или иным методом уже были выявлены несплошности.
- * На рисунке - пример визуализации несплошности обнаруженной ручным контролем. По этим данным проведены дополнительные расчёты прочности с учётом наличия несплошностей с уточнёнными размерами.



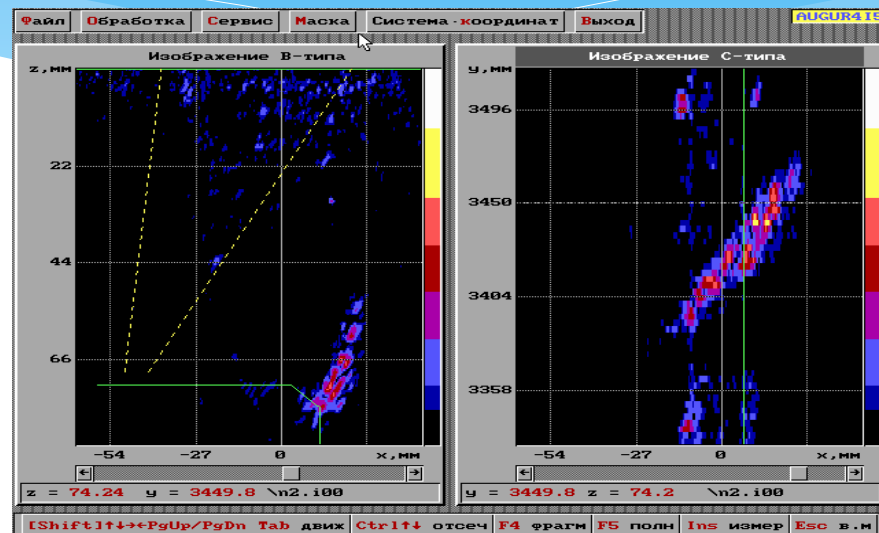
- * Два несплавления по кромке сварного шва с размерами 4,5x22 мм и 3x26 мм (высота x длина).

Экспертный и поисковый АУЗК системой АВГУР 4.2 2004 – 2007 гг

Трещина протяжённостью 131 мм и высотой 52 мм



- * D-изображения участка № 4 (с трещиной) сварного соединения № 111-1.



- * Два сечения изображения трещины, полученные по акустическому каналу №2. В-сечение: трещина в основном металле в области радиусного перехода.

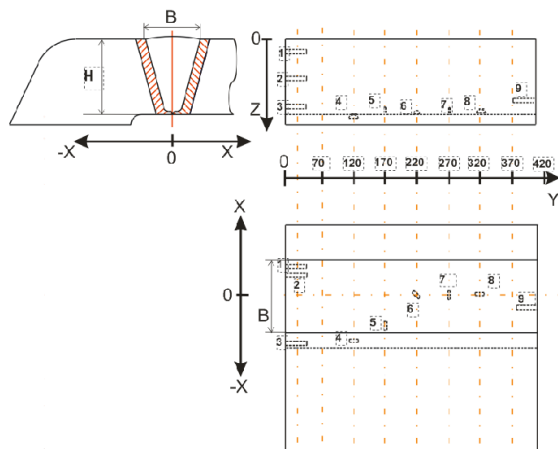
Результаты МГИ (АКТ АОДУ № 913/2004) :

«... трещина имеет протяженность вдоль сварного шва ~ 125÷135мм, начинаясь в районе радиусного перехода... трещина идёт вглубь металла сварного шва, пересекая его под углом 45° к оси сварного шва и затем в основной металл коллектора на 12мм от края сварного шва⁴»

Методика АУЗК для системы АВГУР 5.2 в 2006 г.: синхронное сканирование для всех схем контроля + сплошной измерительный контроль

Новая методика обеспечила:

- проведение контроля в измерительном режиме для всего сварного соединения, а не только локально,
- формирование и доступ к единой базе данных контроля,
- синхронное сканирование для всех схем контроля,
- повышение скорости регистрации и обработки данных

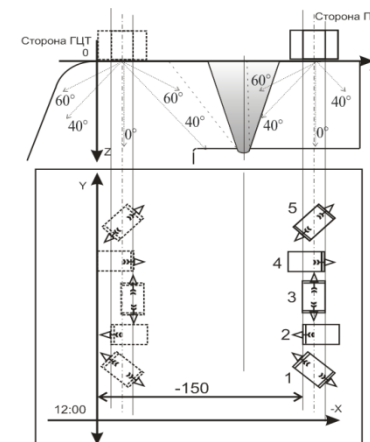


Настройочный образец.

Пропилы 10x2 мм, отверстия $\varnothing 2$ мм



* Сканирующее устройство для перемещения группы преобразователей по поверхности



* Схема сканирования

Методика АУЗК для системы АВГУР 5.2 в 2006 г.: синхронное сканирование для всех схем контроля + сплошной измерительный контроль

Основные результаты аттестации системы АУЗК АВГУР 5.2 полученные на испытательных образцах

Всего в испытаниях методики АУЗК СС №
111 МАЭ5-АЭ1-П1Б/8-ПК-об использовано:

- продольных плоскостных дефектов – 14 шт. (5 – тест-образец Ду850 и 3 – тест-образец Ду1200+6 естественных дефектов различной природы);
- поперечных дефектов – 11 шт. (6 - тест-образец Ду850 и 5- тест-образец Ду1200);
- диагональных дефектов – 6 шт.- тест-образец Ду1200.

Погрешности измерений параметров
дефектов в испытательных образцах:

ОРИЕНТАЦИЯ ДЕФЕКТА	СРЕДНЕКВАДРАТИЧНАЯ ОШИБКА ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ДЕФЕКТОВ	
	ВЫСОТА ДЕФЕКТА, мм	ДЛИНА ДЕФЕКТА, мм
Продольная	± 1	±7
Поперечная	± 1,5	±7
Диагональная	± 1	±6



АУЗК системами АВГУР СС узла приварки коллекторов теплоносителя к патрубкам ПГ Ду1200 реакторов типа ВВЭР-1000

РУ ВВЭР-1000		1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Балаковская АЭС	1 блок								+	+	+		+	+	+	
	2 блок								+	+	+	+		+	+	
	3 блок								+		+	+	+		+	+
	4 блок								+	+		+	+	+		+
Калининская АЭС	1 блок				+				+	+	+	+	+	+	+	
	2 блок									+	+	+	+	+	+	
	3 блок					+			+	+	+	+	+	+		+
	4 блок													+	+	+
Нововоронежская АЭС	5 блок						+	+	+	+	+	+			+	+
Ростовская АЭС	1 блок	+			+			+	+		+	+	+	+	+	
	2 блок											+		+	+	+

Проведение контроля СС № 111 на АЭС с ВВЭР-1000 2004 – 2013 гг с использованием систем серии АВГУР

- * Контроль проводится на 11 энергоблоках ВВЭР-1000 (88 СС).
- * Во время ППР были выявлены 13 дефектов с недопустимыми параметрами по действующим нормам контроля.
- * В результате АУЗК СС № 111 системами серии АВГУР на российских АЭС с ВВЭР-1000 были выявлены 526 несплошностей . За каждой из них ведётся наблюдение и сопоставление с результатами предыдущих контролей.

Распределение по их параметрам:

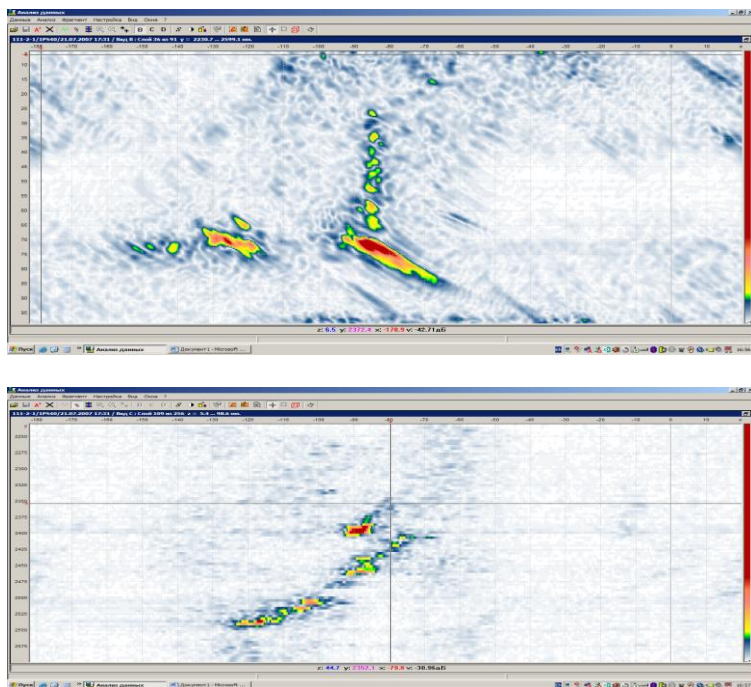


- 69% расположены в сечении сварного соединения, около 22 % – локализованы на границе сплавления;
- 9 % несплошностей расположены в области радиусного перехода;
- 92% несплошностей имеет малую высоту менее 5 мм и только 8% всех выявленных несплошностей имеет высоту 5 мм и более;
- более 98% всех выявленных и наблюдаемых несплошностей на АЭС не изменяются в пределах погрешности измерений.

ППР-2007 г.: АУЗК АВГУР 5.2 горячий коллектор на ПГ-2 и ПГ-4

ПГ-2 «гор»:

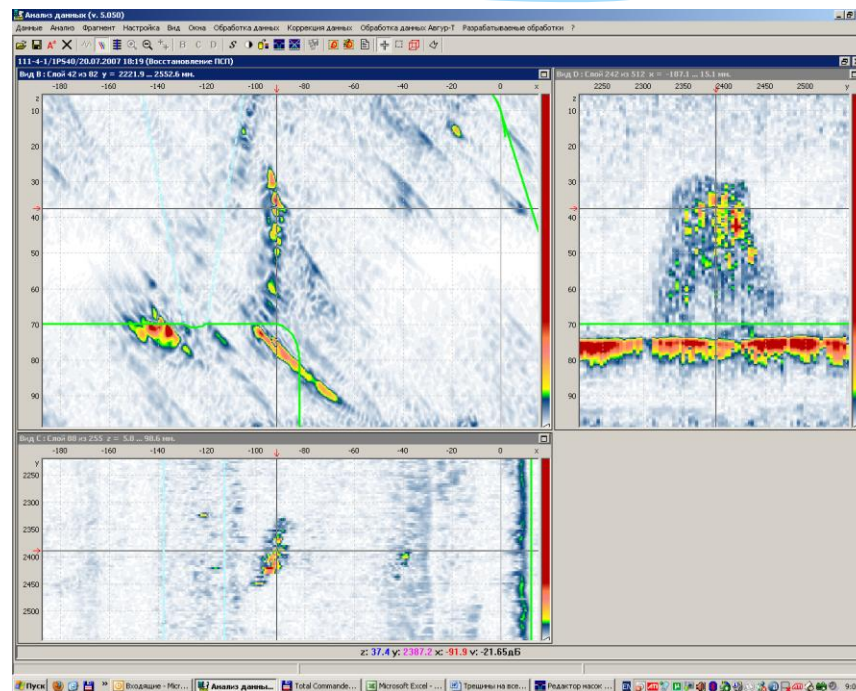
Обнаружены две недопустимые трещины на гор.к. ПГ-2:
177x60 мм и 124x45,5 мм



Трещина протяжённостью 124 мм и высотой 45,5 мм

ПГ-4 «гор»:

Обнаружены две недопустимые трещины на гор.к. ПГ-4:
181x49 мм и 85x27,5 мм



Трещина протяжённостью 181 мм и высотой 49 мм

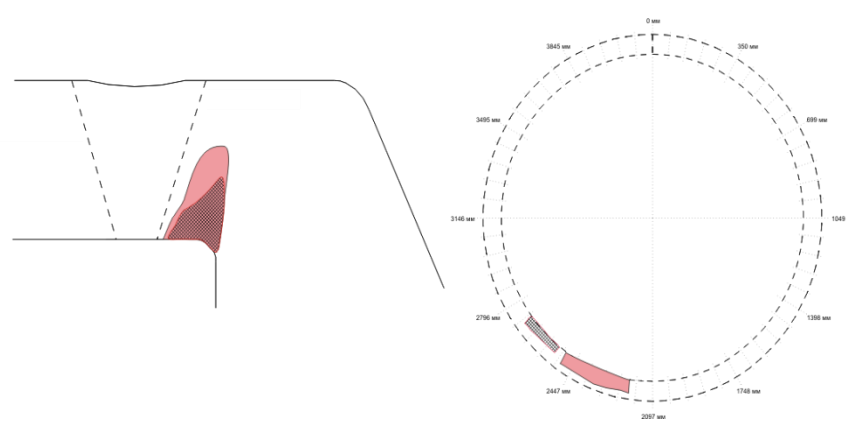
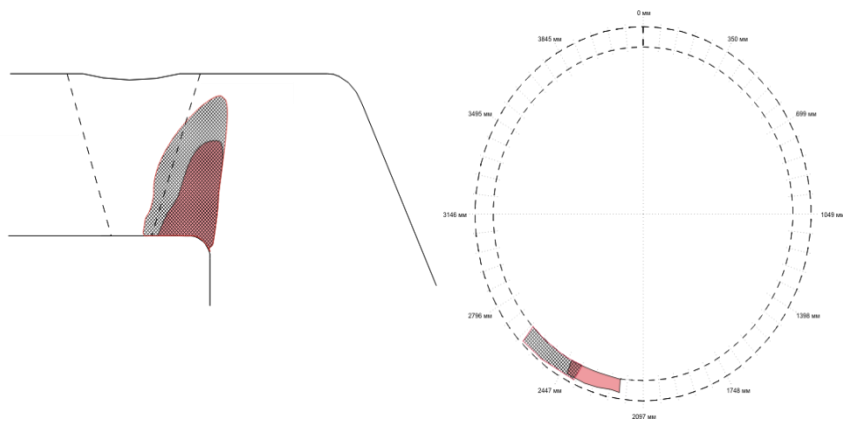
ППР-2007 г.: АУЗК АВГУР 5.2 горячий коллектор на ПГ-2 и ПГ-4

ПГ-2 «гор»:

Обнаружены две недопустимые трещины на гор.к. ПГ-2:
177x60 мм и 124x45,5 мм

ПГ-4 «гор»:

Обнаружены две недопустимые трещины на гор.к. ПГ-4:
181x49 мм и 85x27,5 мм

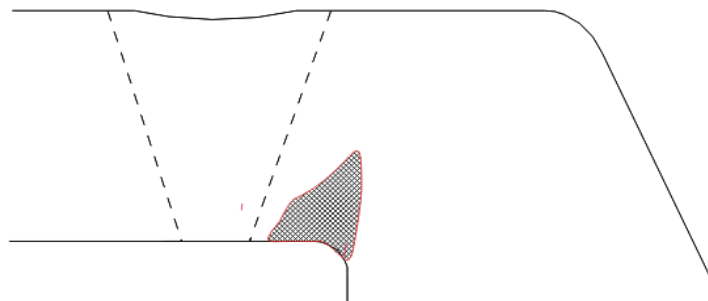
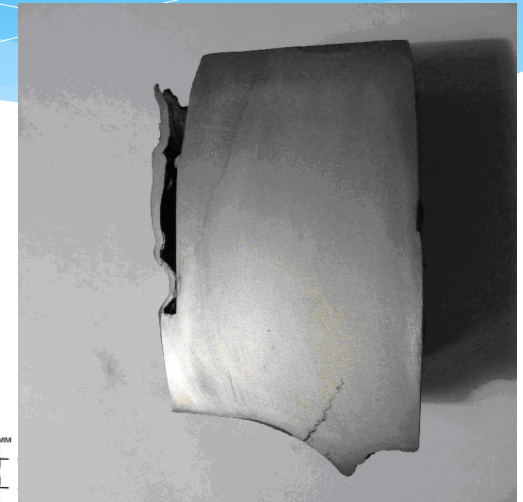
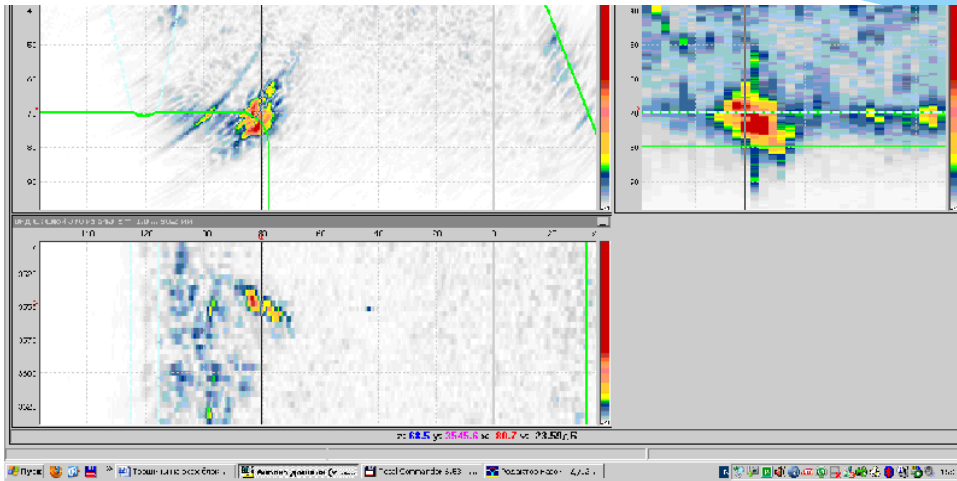


Сходные по месту расположения и характеру

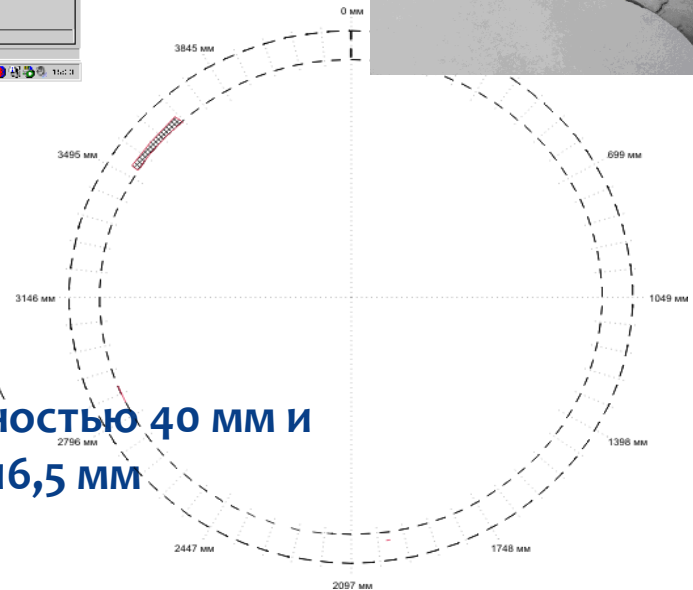
ППР-2009 г.: АУЗК АВГУР 5.2 опять горячий коллектор на ПГ-4

ПГ-4 «гор»:

В 2009 г. обнаружена трещина:

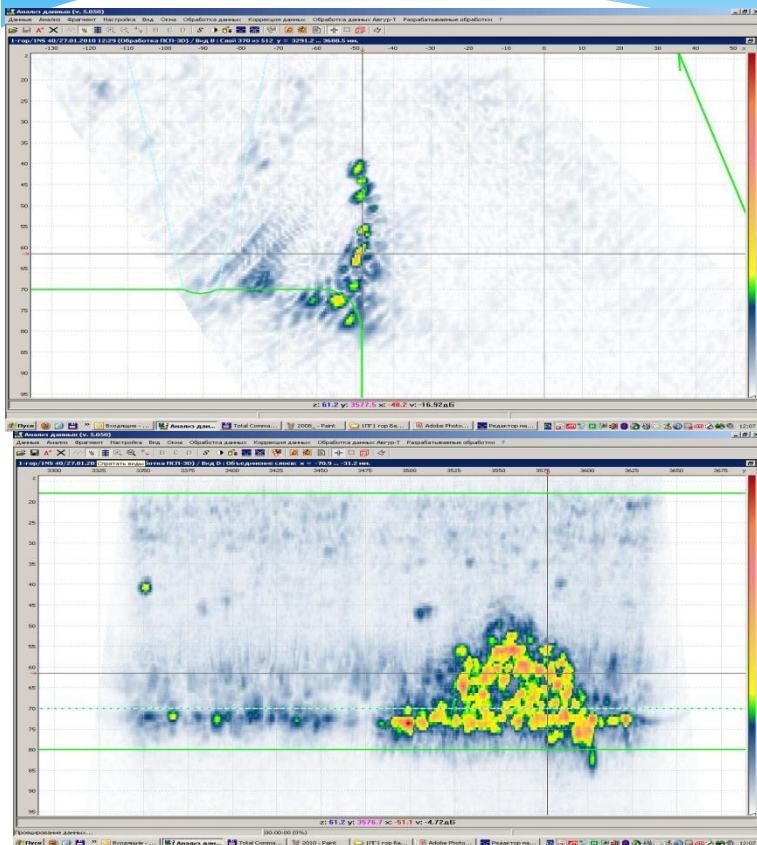


Трещина протяжённостью 40 мм и высотой 16,5 мм

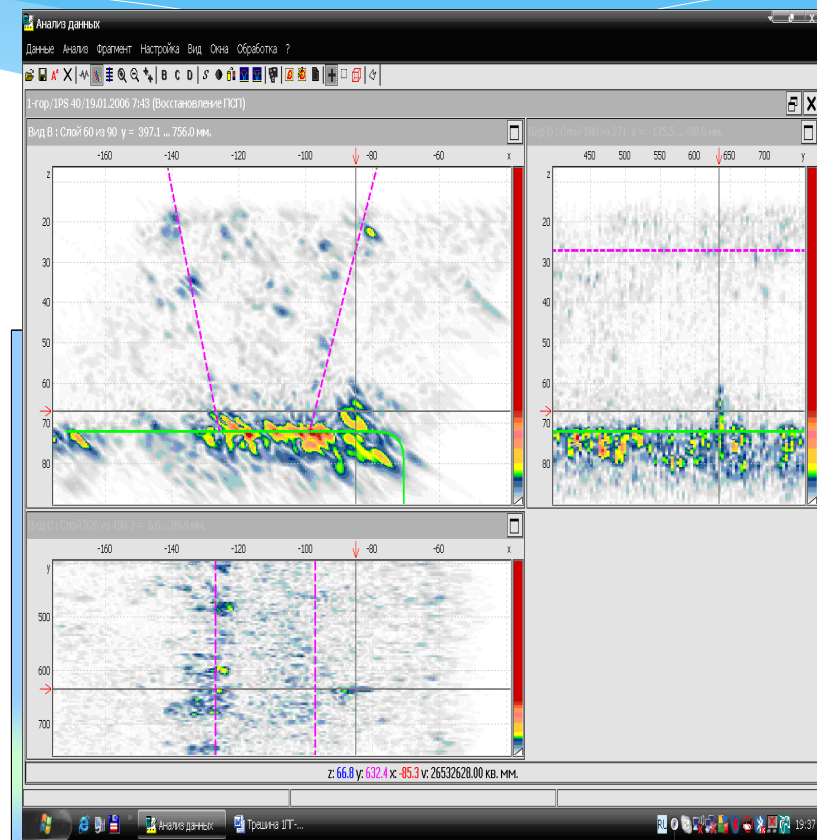


ППР-январь–февраль 2010 г. горячий коллектор ПГ-1

В 2010 г. обнаружены трещины, в т.ч. после термообработки после первого ремонта



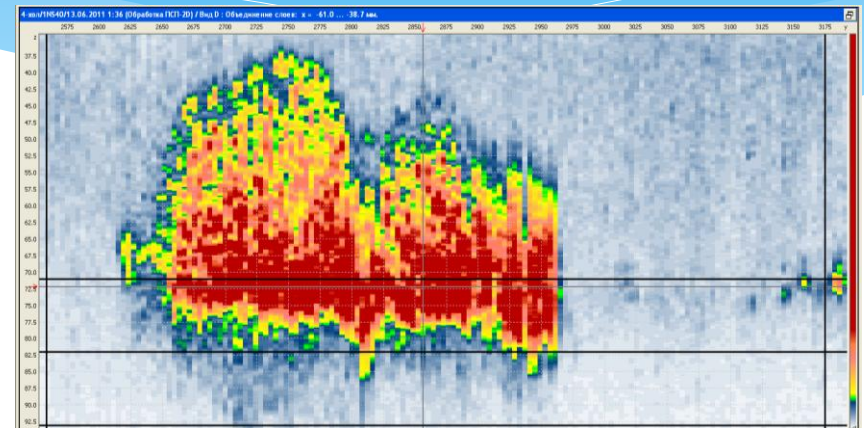
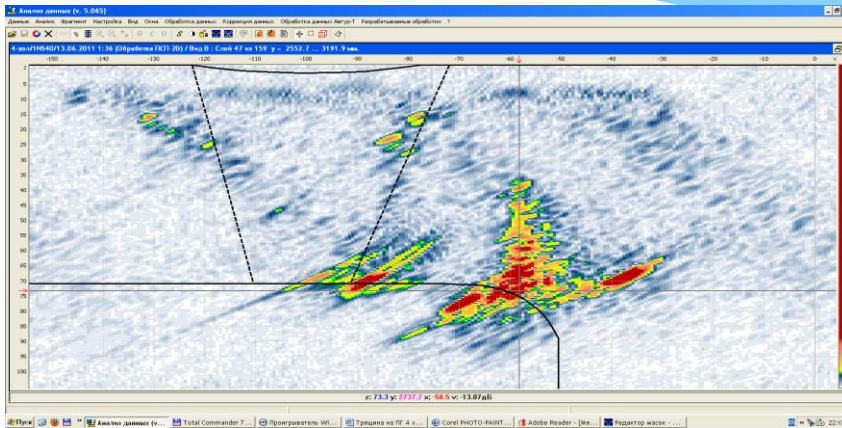
Трещина протяжённостью 40 мм и высотой 16,5 мм



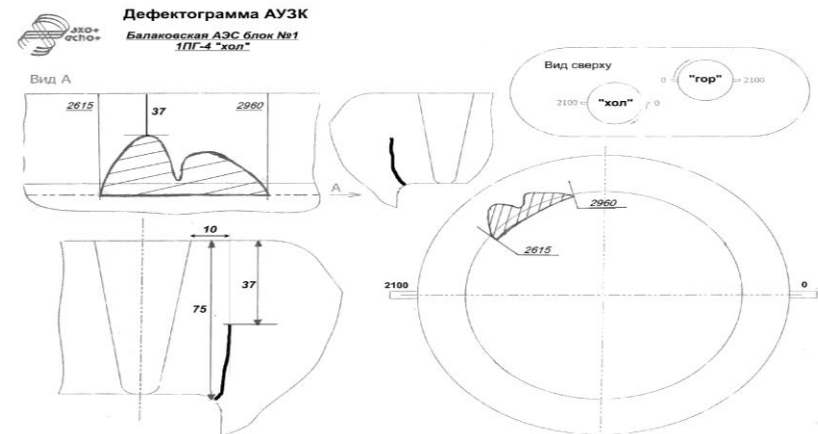
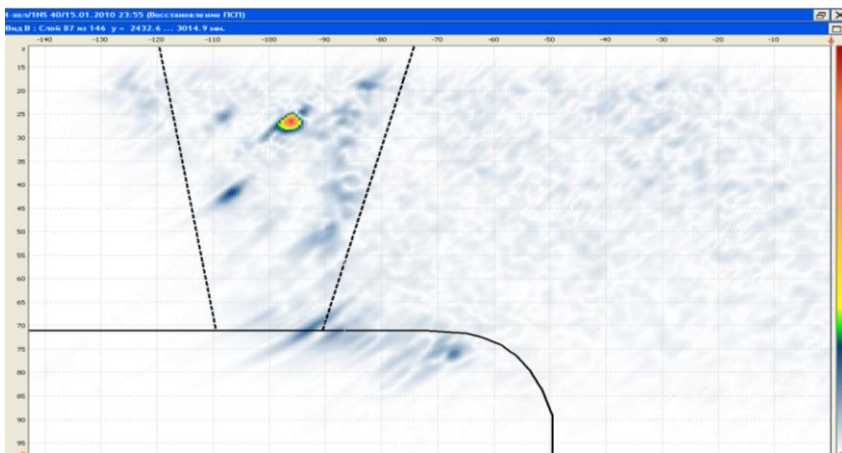
Поперечные трещина на данных «продольного канала»

2011 г. - обнаружение дефектов на поздней стадии их развития

В 2011 г. обнаружена трещина 344x38 мм

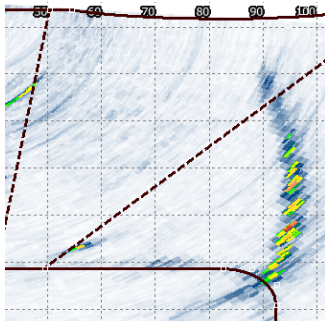


Та же область контроля в 2010 г:

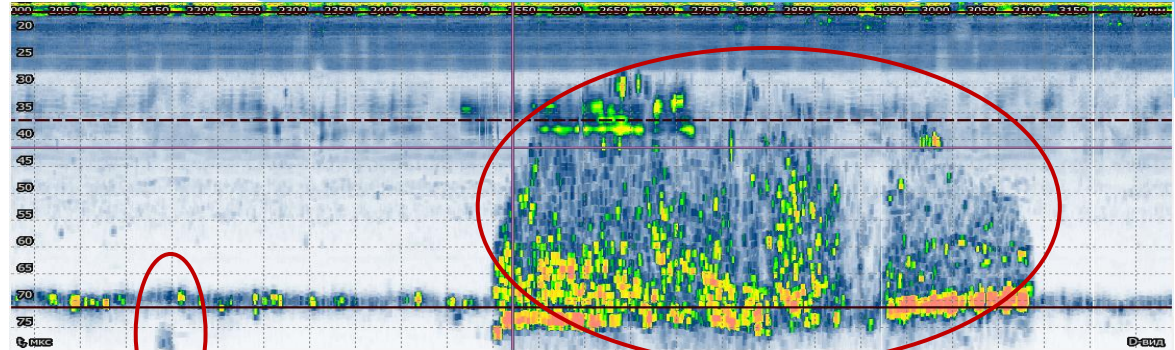


март 2013 г. ПГ-1 холодный коллектор

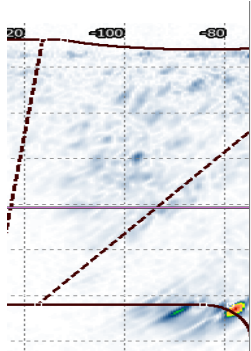
В 2013 г. обнаружена трещина 597x48 мм



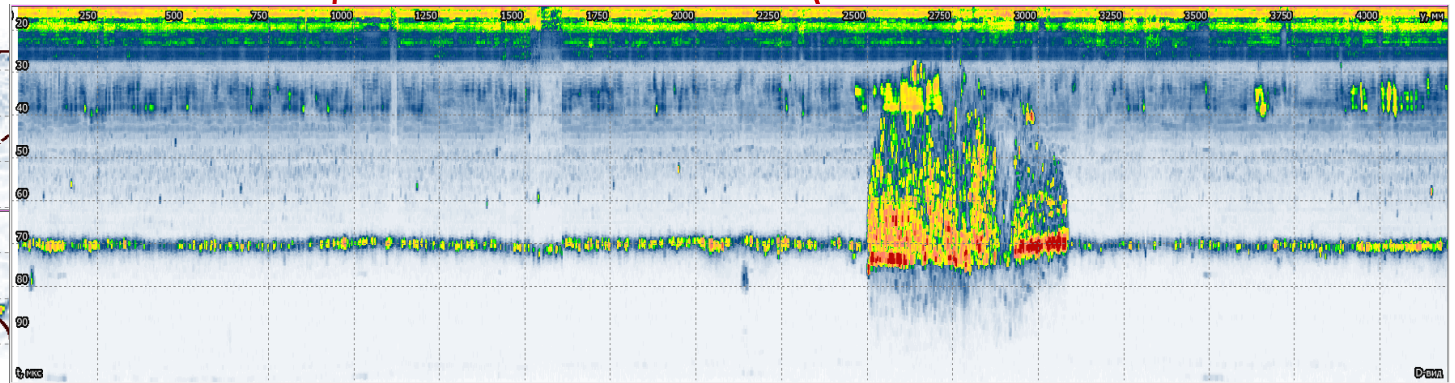
2013



2013



2011



Трубка продува

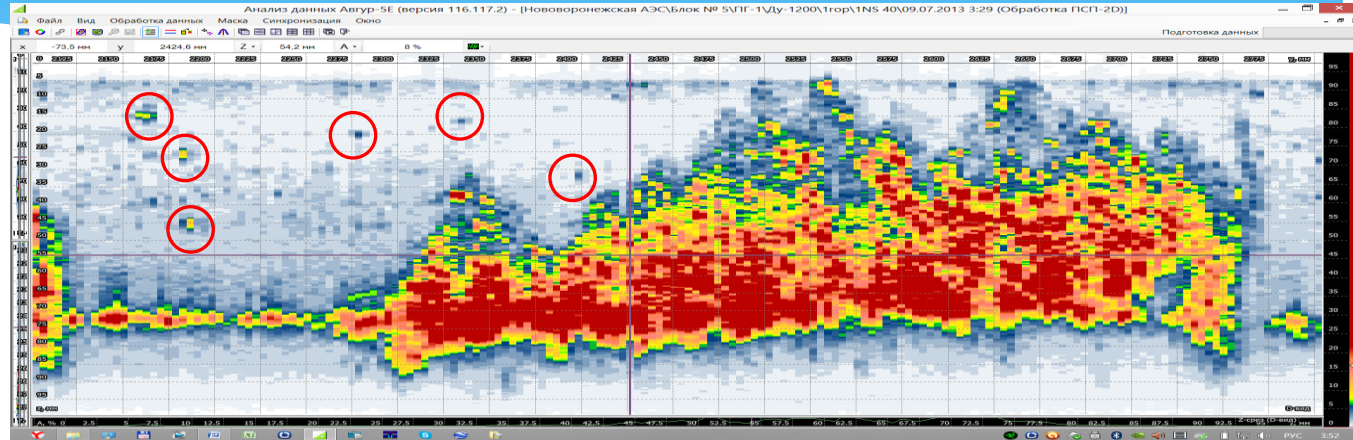
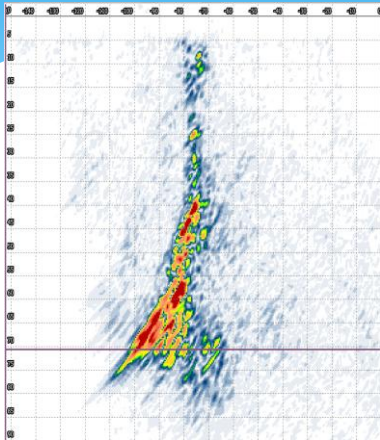
2011

2013

Область трещины 2011 и 2013 гг

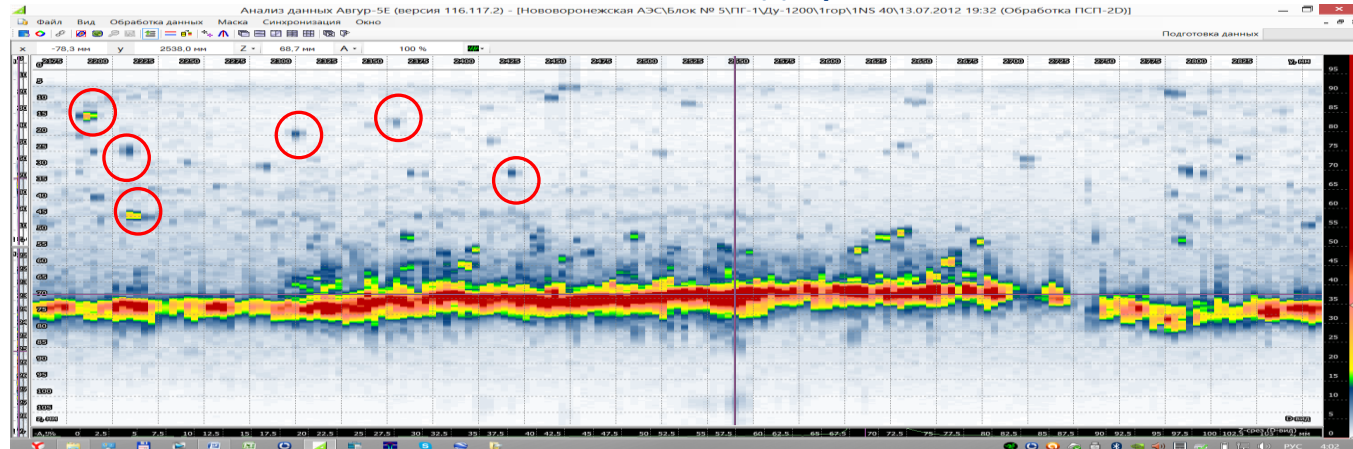
Март 2013 г.: ПГ-1 холодный коллектор

В 2013 г. обнаружена сквозная трещина 510x72 мм



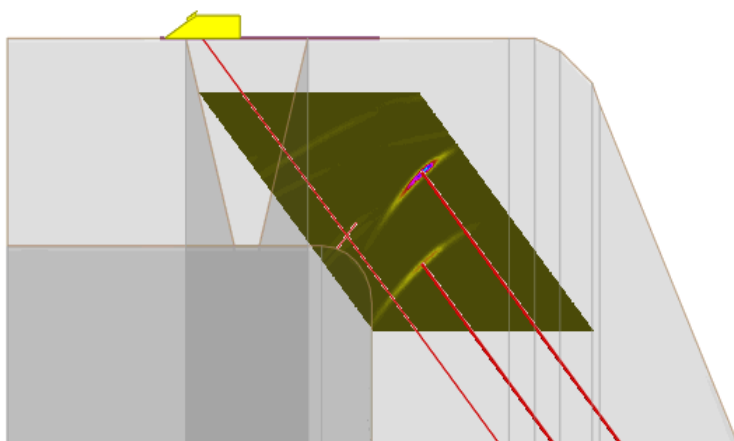
2013: сквозной дефект

Трещина на месте ремонтной заварки 1999 г.



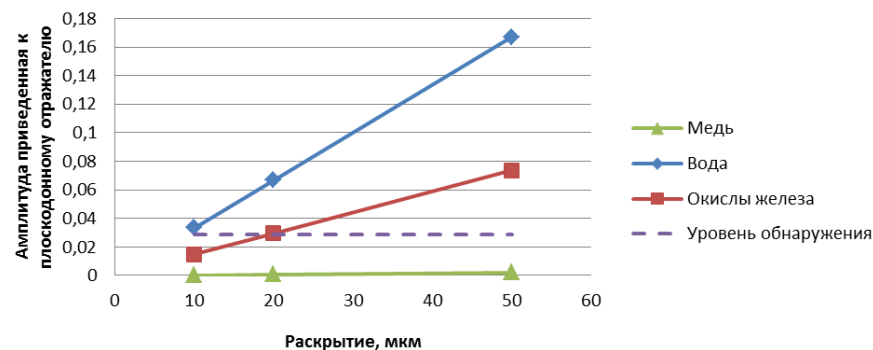
2012: Ремонтная заварка - область фиксации будущей трещины

Моделирование в CIVA трещин с различным заполнением



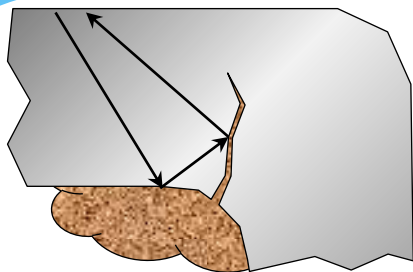
- * Сравнение отражающей способности плоскостных отражателей 3.5 кв. мм с трещиной заполненной медью
- * Рассчитанный В-скан с маской СС Ду1200. Заполняющая среда - медь, несплошность выходит на поверхности галтели и была ориентирована по нормали к углу ввода ПЭП. Ширина раскрытия 20 мкм.

Влияние раскрытия и среды заполнения на отражающую способность



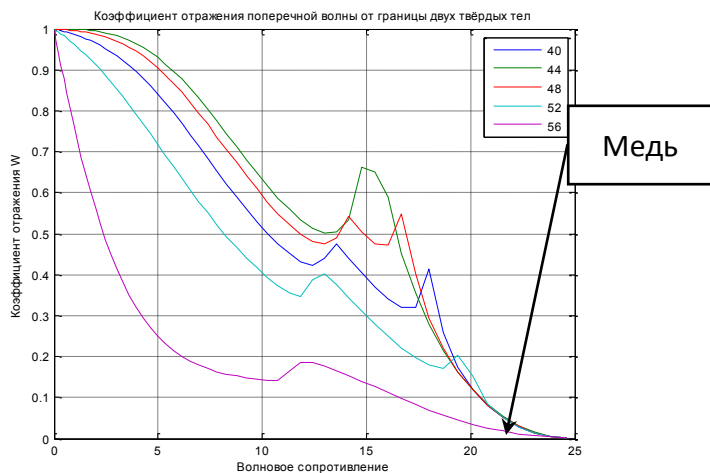
- * Амплитуда отражённого сигнала на графике приведена к амплитуде плоскостного отражателя площадью 3.5 кв. мм.
- * Пунктирная линия отвечает уровню 0,1 кв. мм, на котором в действительности возможна фиксация отражателей системой АВГУР 5.2 при работе по методике МА5-АЭ1-П1Б/8-ПК-06.
- * Таким образом, результаты моделирования показывают, что при раскрытии 10 мкм и заполненности водой отражатель был бы выявлен системой АВГУР 5.2. Однако при заполнении несплошности медью, практически не зависимо от её раскрытия несплошность не выявляется.

Физические факторы оказывающие влияние на выявление трещин

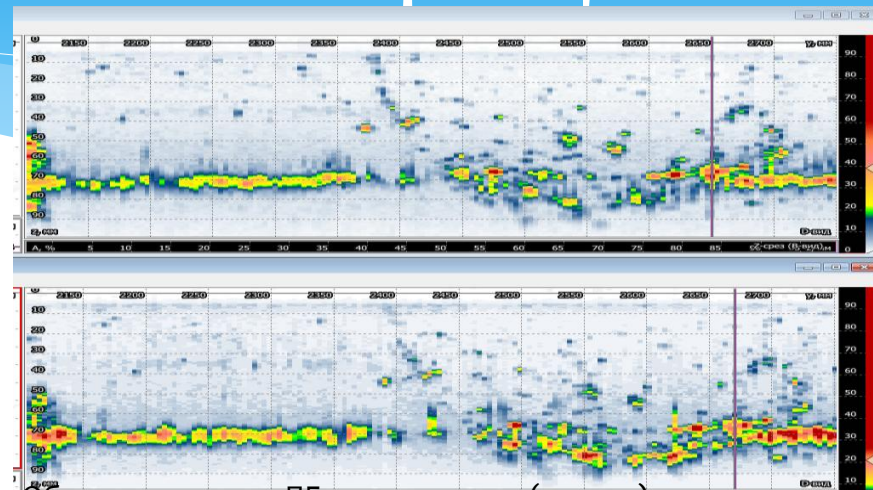


* Плотные заполнения трещины коррозионными отложениями снижающими её отражающую способность

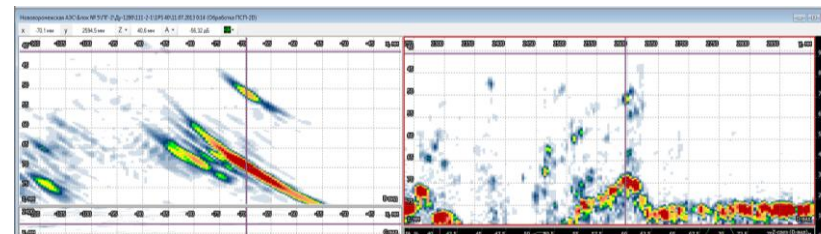
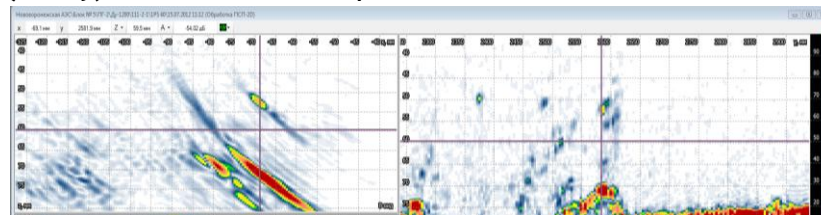
* Малое раскрытие трещины Ширина раскрытия менее 50 мкм оказывает влияние на амплитуду УЗ эхосигнала



Коэффициент отражения от углового отражателя для двух твёрдых тел

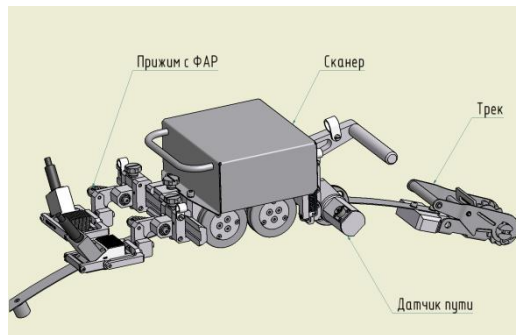
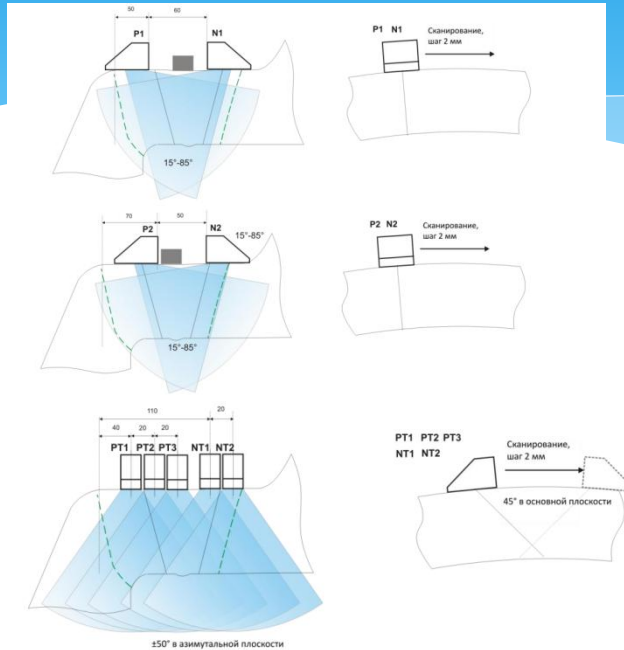


Область заварки в ПГ-3 гор в 2013 г. (вверху) и в 2012 г. (внизу), показаны D-изображения



Область заварки в ПГ-2 гор в 2013 г. (вверху) и в 2012 г. (внизу), показаны B- и D-изображения

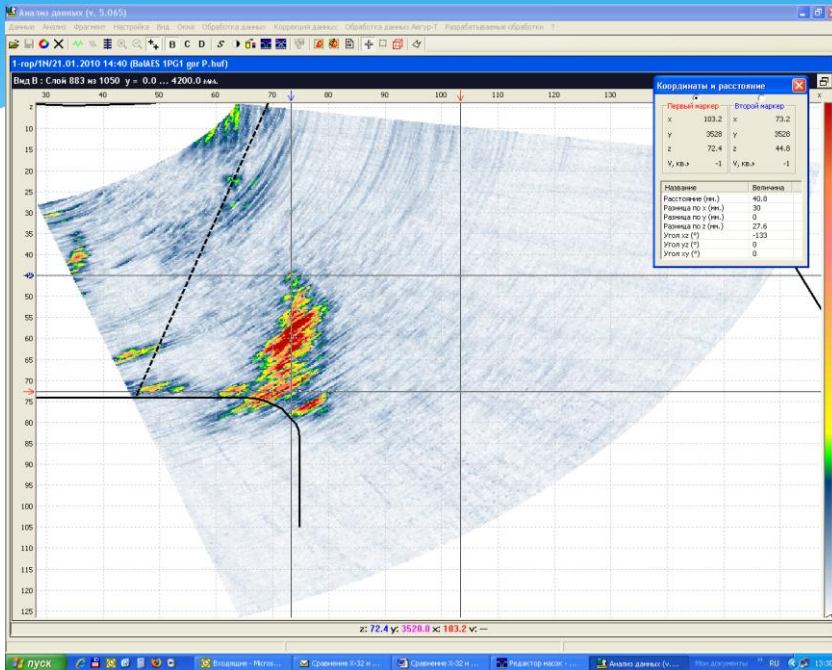
Методика АУЗК с использованием технологии ФАР и ЦФА



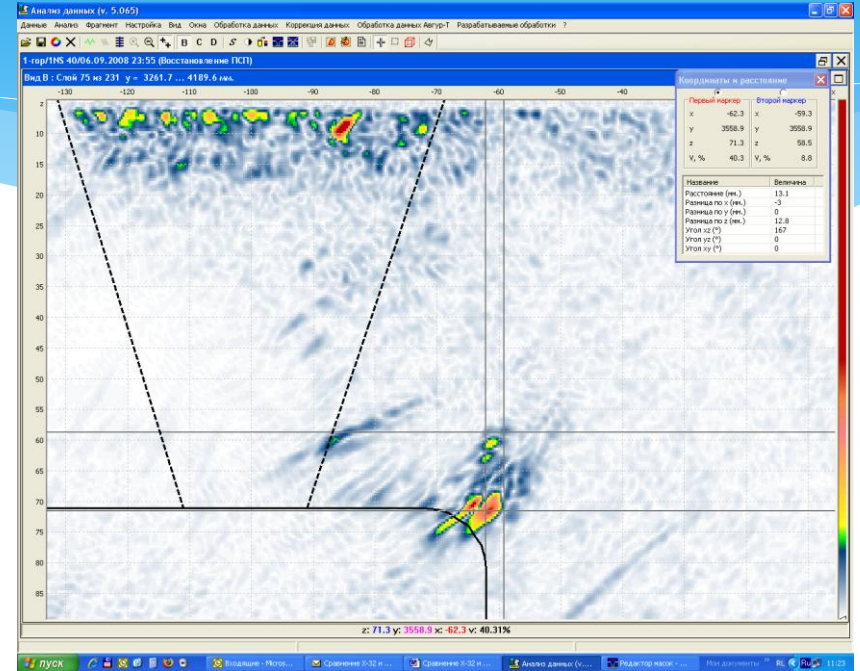
Схемы контроля с использованием антенных решёток и сканер

- * Использование всех комбинаций излучающих и принимающих элементов при одном пространственном положении для получения исходного набора А-сканов;
- * получение изображения после математической обработки исходного набора А-сканов, в таком изображении обеспечивается динамическая фокусировка в двумерной области;
- * получение изображения по исходному набору А-сканов с учетом отражения ультразвуковой волны от дна объекта контроля, с учетом трансформации типа ультразвуковой волны (продольная и поперечная мода);
- * с применением алгоритма расчета АРД диаграмм для режима ЦФА (реализованного в специализированном программном обеспечении АВГУР) выравнивается чувствительность при изменении координат несплошностей.

Методика АУЗК с использованием технологии ФАР и ЦФА



* ЦФАР



* АВГУР 5.2

Преимущества применения антенных решёток

- увеличение лучевой разрешающей способности и отражающей способности слабо раскрытых и заполненных отложениями несплошностей за счет увеличения рабочей частоты антенных решеток с 2,5 МГц до 5 МГц;
- * применение множества угла ввода повышает достоверность контроля при выявлении плоскостных разветвленных отражателей;
- * снижение влияния неровной поверхности приводит к увеличению отношения сигнал/шум для несплошностей, расположенных в области корня сварного соединения;
- * уменьшение уровня фиксации до уровня шумов позволяет фиксировать несплошности, которые не должны фиксироваться по нормам ПНАЭ Г-7-010-89, но представляют собой трещиноподобные отражатели (в том числе слабо раскрытые и заполненные отложениями);
- * погрешность определения размеров дефектов находится на уровне, достигаемом с применением системы АВГУР 5.2;
- * в изображениях несплошностей, полученных с применением фазированных решеток уменьшается амплитуда блика, соответствующего получению трансформированных эхосигналов от несплошностей, не выходящих на поверхность, по схеме с отражением от донной поверхности, в результате облегчается задача идентификации типа несплошности;
- * уменьшение веса оборудования за счет отказа от автоматизированного продольно-поперечного сканирования;
- * увеличение скорости сбора данных.

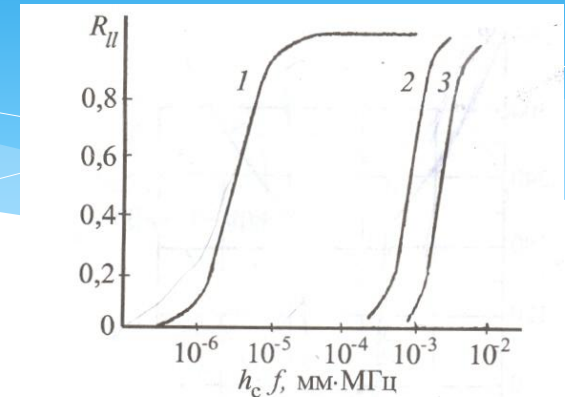
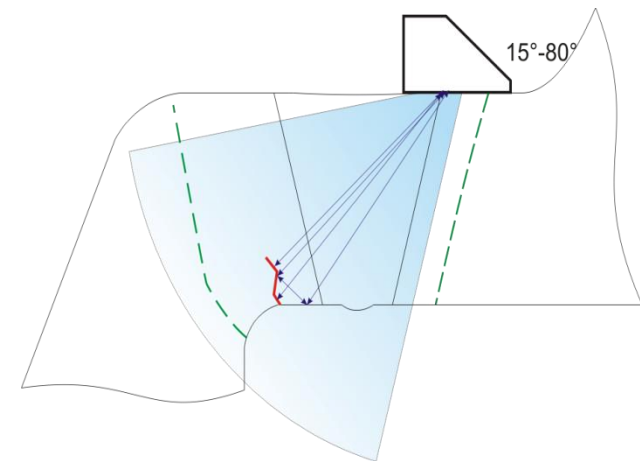


Рис. 1.24. Зависимость коэффициента отражения продольных волн от толщины слоя воздуха:
1 – теоретическая; 2, 3 – экспериментальные [411]



ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

- I. Действующие методики АУЗК АВГУР 5.2 и ФАР обеспечивают выявление и определение параметров дефектов по заданным требованиям. Случаи «внезапного» появления больших трещин вероятнее всего связаны с отсутствием фиксируемых отражений УЗ волн от них (заполнение сходными по волновому сопротивлению материалами) или с проблемами выявления этих сигналов на фоне шумов наплавленного металла ремонтных заварок.
- II. Совершенствование методик УЗК лежит на пути борьбы с этими факторами – повышение отношения сигнал/шум и повышение выявляющей способности слабоотражающих неоднородностей:
- a) *Дополнительные схемы контроля, использование преобразования типов волн на дефекте и режима **MultiSAFT** (многомодовый SAFT)*
 - b) *Применение **антенных матриц** (повышение интенсивности поля в фокусном пятне + 3D-управление полем)*
 - c) *XY-ЦФА (дополнительное улучшение фокусировки за счёт учёта положения решётки при 2D-сканировании)*
- III. Повышение чувствительности контроля неизбежно приведёт к повышению количества зафиксированных несплошностей, требующих введения норм оценки их влияния на прочность, т.е. оценки качества СС со всеми несплошностями.

Спасибо за внимание!



ООО НПЦ «ЭХО+»

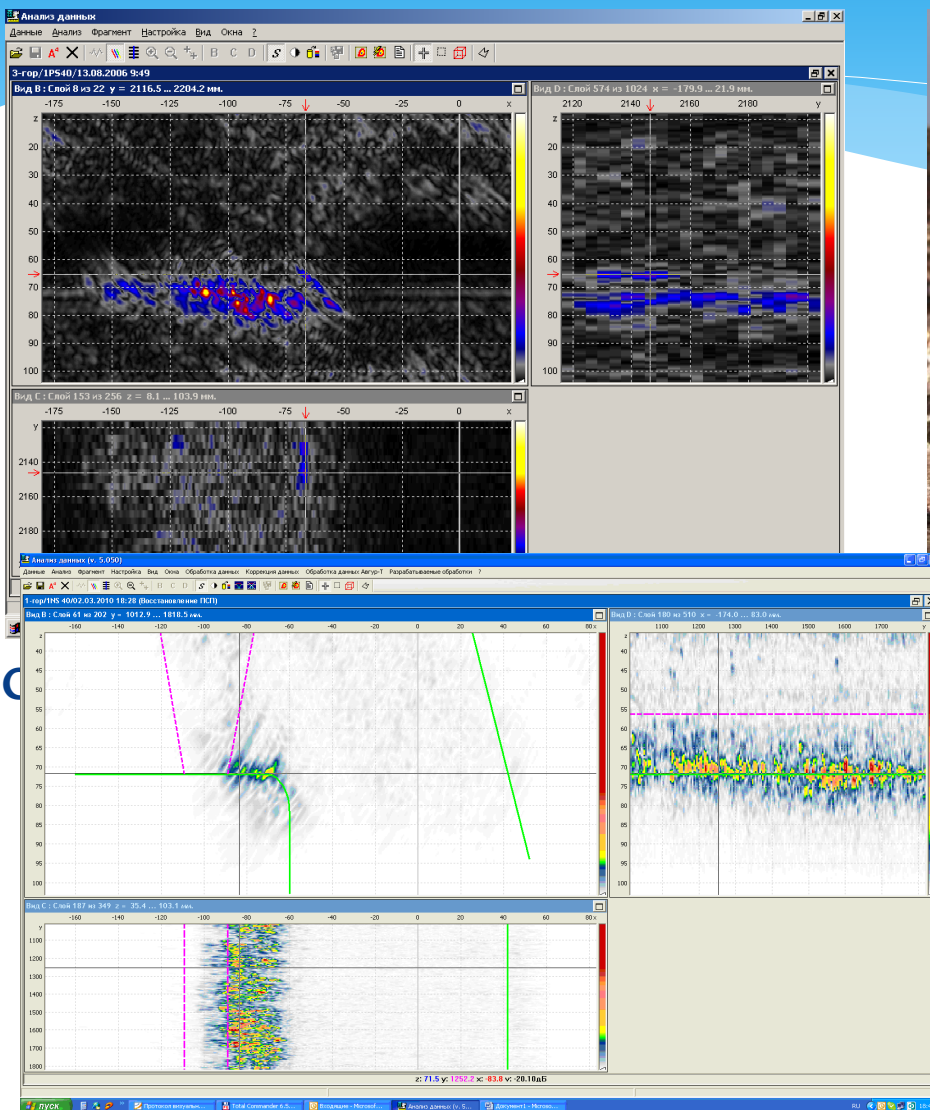
<http://www.echoplus.ru>

echo@echoplus.ru



POSTSCRIPT

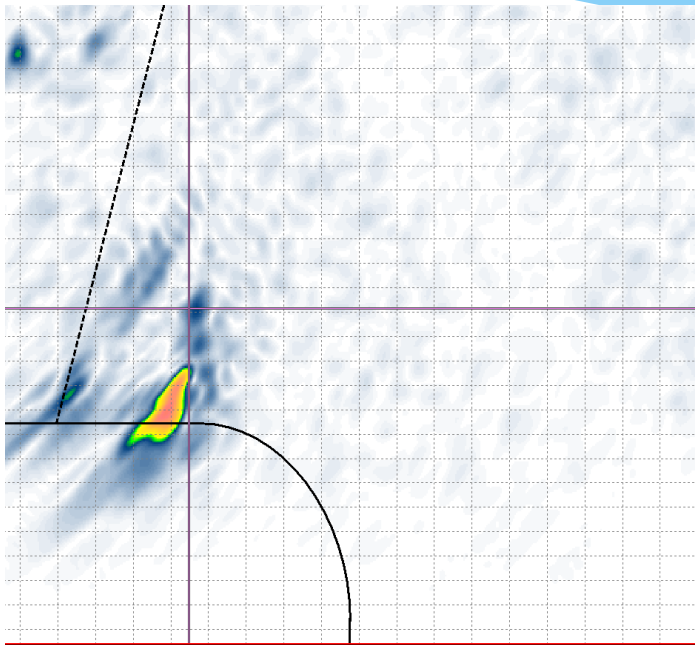
Характерные коррозионные поражения кармана достигают по высоте 5 мм



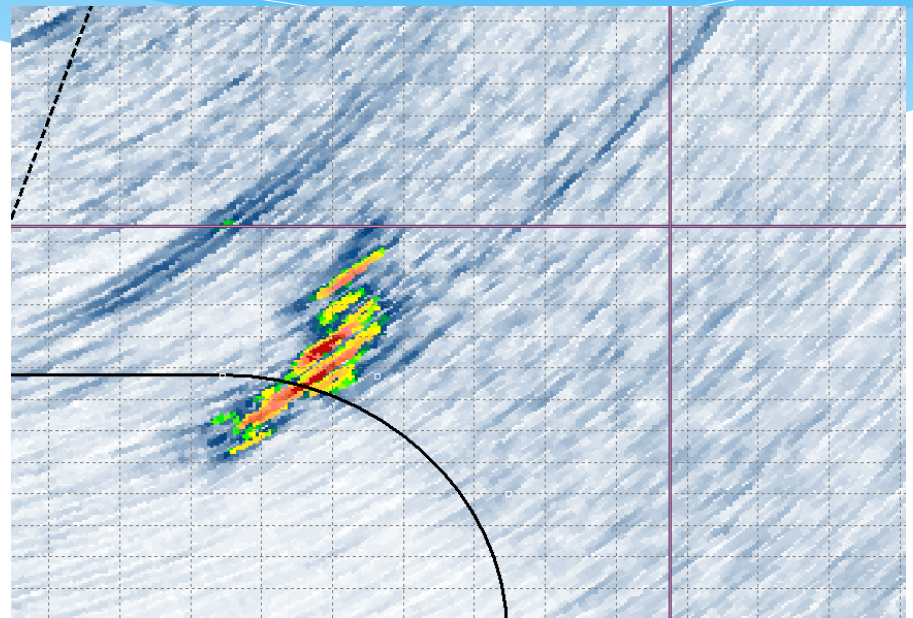
№ 77-1 хол. Калининская АЭС 2006 г.

Балаковская АЭС 1ПГ1-гор
На протяжении всего сварного соединения в районе радиусного перехода и корня шва наблюдаются очаги коррозии высотой до 5 мм

Выявление реального дефекта



* АВГУР 5.2

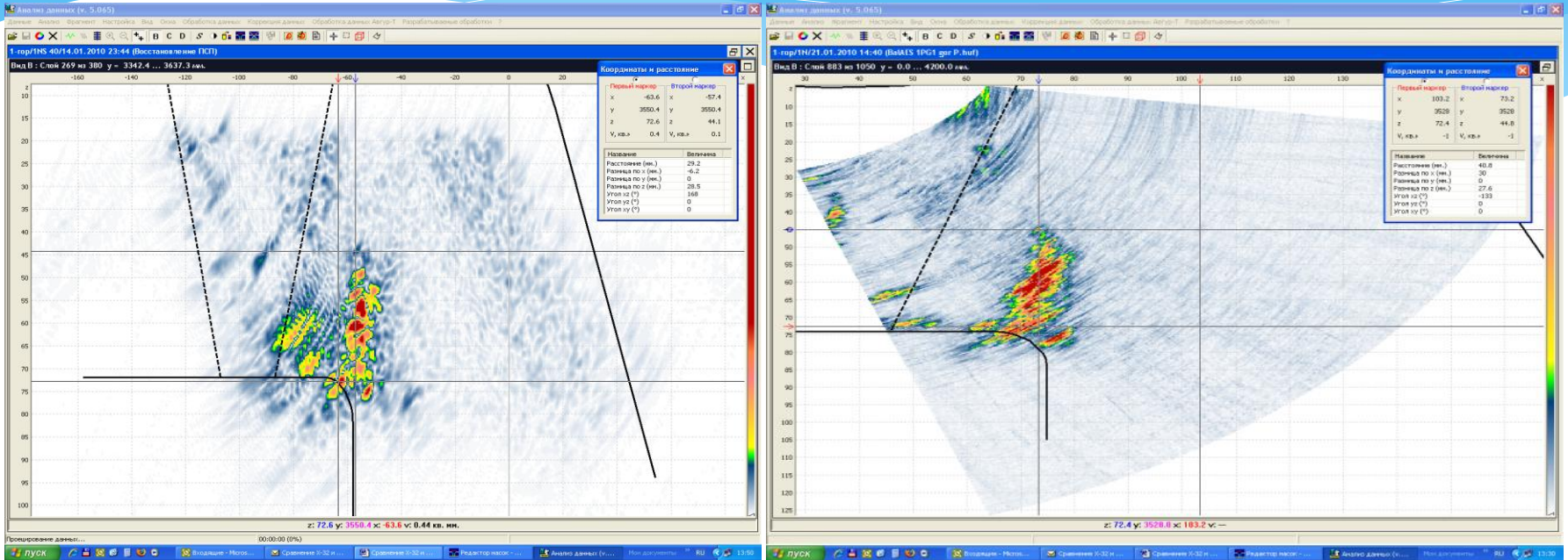


* ЦФАР

ТРЕЩИНА ПГ-1 «гор»

Повышение отношения сигнал/шум

Выявление реального дефекта



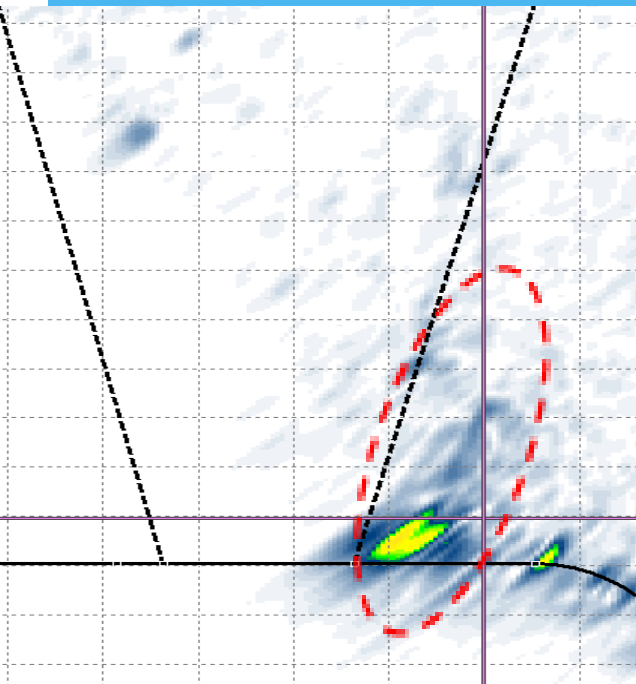
* АВГУР 5.2

* ЦФАР

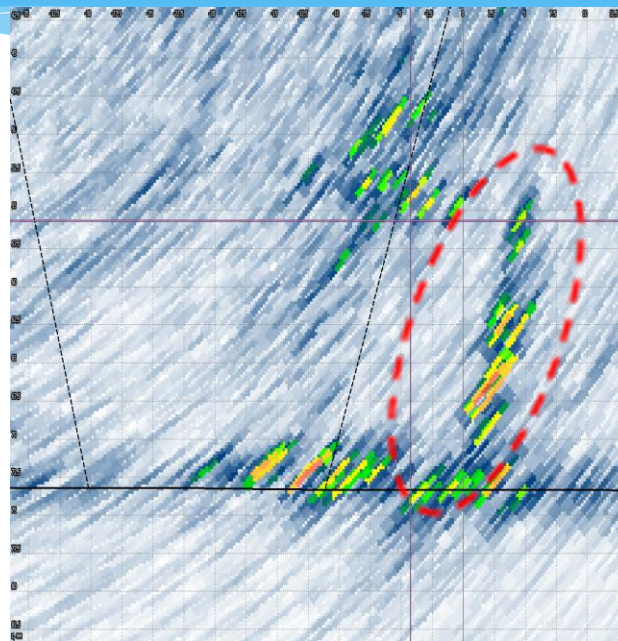
ТРЕЩИНА ПГ-1 «гор»

Повышение отношения сигнал/шум

Выявление дефектов с отражательной способностью ниже уровня фиксации ПНАЭГ и ПК.



АВГУР 5.2



ЦФАР

Изображение высокой несплошности, выявленной в 2012 (ПГ4 «гор») по результатам АУЗК с использованием системы АВГУР 5.2 и подтверждённое по методологии ЦФАР. Несплошность допущена по результатам контроля: эквивалентная площадь отражателей менее 3,5 мм кв.

Новая методика даёт лучшее отношение сигнал/шум (обеспечивает лучшую выявляемость).

Координаты и размеры несплошности:

РУЧНЫМ УЗК не фиксируется

		Длина, мм
Y мм	309	54
Z верх.мм	56	Высота, мм
Z ниж.мм	72	16

Предлагаемые нормы оценки качества СС № 111 по результатам измерительного АУЗК

В дополнение к действующим нормам ПНАЭ Г-7-010-89 и ПК 1514-72 вводятся дополнительные нормы оценки качества сварных соединений узла приварки коллекторов теплоносителя к патрубкам Ду1200 парогенераторов реакторных установок ВВЭР-1000 по результатам измерительного режима контроля системой АВГУР 5.2 по методике МА5-АЭ1-П1Б/8-ПК-06: в СС № 111(77) допускаются несплошности с размерами, приведёнными в таблицах 1 и 2 до выполнения следующего эксплуатационного контроля.

Таблица 1

Длина несплошности вдоль сварного соединения, мм	Допустимая высота от донной поверхности, мм
От 0 до 400 включительно	13 и менее
Свыше 400 до 1000 включительно	10 и менее
Свыше 1000	7 и менее

Примечание. Приведенные в данной таблице нормы применяются для **продольной** проекции диагональных несплошностей.

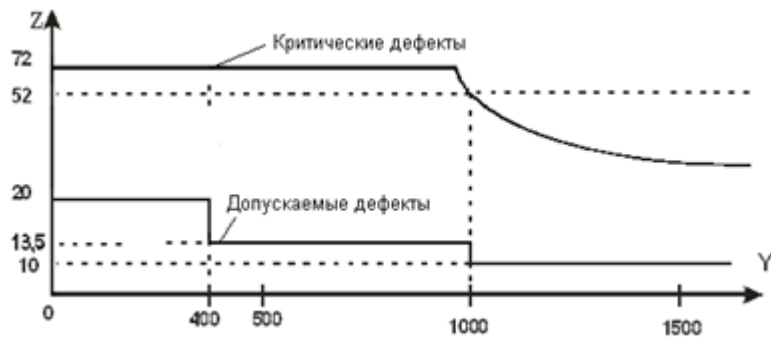


Таблица 2

Длина несплошности поперёк сварного соединения, мм	Допустимая высота от донной поверхности, мм
От 0 до 40 включительно	13 и менее
Свыше 40 до 60 включительно	10 и менее
Свыше 60	3 и менее

Примечание. Приведенные в данной таблице нормы применяются для **поперечной** проекции диагональных несплошностей.

