

ПРИМЕНЕНИЕ КОГЕРЕНТНЫХ МЕТОДОВ ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВОМ КОНТРОЛЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗАГОТОВОК БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА

А.Е. Базулин, Е.Ф. Кретов*, П.Ф. Самарин, Д.С. Тихонов

НПЦ «Эхо+», Москва;

*ОАО «Ижорские заводы», Санкт-Петербург

Основными проблемами УЗК стальных цилиндрических заготовок диаметра 800-1800 мм являются точное определение размеров, координат локализации и типа, а также разрешение отдельных несплошностей в скоплениях, расположенных на большой глубине. В настоящее время для решения этих проблем используются специализированные подходы при проведении ручного УЗК. В докладе приведены примеры применения когерентных методов обработки данных автоматизированного УЗК для повышения разрешающей способности при исследовании скоплений близко расположенных несплошностей.

Исследование сплошности стальных цилиндрических заготовок большого диаметра для энергетического машиностроения является одной из задач неразрушающего контроля (НК). Единственным методом НК, позволяющим эффективно обнаруживать в таких заготовках несплошности, расположенные на расстоянии более 5 мм от поверхности, является ультразвуковой контроль. Особенности таких объектов, определивших выбор ультразвукового метода НК, являются:

- сталь перлитного класса с однородной мелкозернистой структурой после основной термической обработки;
- ступенчатая форма сечения (рис. 1);
- большая толщина заготовки: в месте наибольшего сечения – на «бочке» - $\varnothing 800$ мм - $\varnothing 1800$ мм;
- напряженные условия эксплуатации – высокие скорости вращения – около 3000 об/мин и знакопеременные нагрузки;
- вероятность наличия в любом сечении объема заготовки несплошностей с различной пространственной ориентацией;
- высокие требования по минимальным размерам несплошностей, подлежащих выявлению и анализу.

В связи с указанными особенностями наиболее жесткие технические условия как российские, так и зарубежные, требуют выявления и регистрации несплошностей эквивалентным размером $\varnothing, \geq 1,0$ мм. При этом, учитывая высокую стоимость заготовки и достаточно длительный цикл ее изготовления, Заказчик и Изготовитель могут договориться о гибком подходе к оценке возможности использования заготовки при обнаружении несплошностей. Этот подход заключается в том, что решение принимается с учетом конкретных параметров несплошностей, их распределения и координат расположения в заготовке. Обычно также ставится вопрос и о характере несплошности. Естественно, что для принятия обоснованного решения требуется возможно более точная оценка указанных характеристик несплошностей. К измеряемым параметрам в таких заготовках кроме координат относят обычно эквивалентный размер и условную протяженность. Параметрами распределения являются расстояния между несплошностями и их количество в оговоренных объемах. Современные ручные ультразвуковые дефектоскопы дают вполне достаточную точность при измерении координат. Что же касается параметров несплошностей и их

распределений, то степень соответствия их измеренных значений фактическим при традиционной УЗ дефектоскопии ограничена чисто физическими причинами, почему и говорят об эквивалентных и условных (а не о фактических!) размерах несплошностей. Особенно большие проблемы возникают, когда необходимо классифицировать группы (скопления) несплошностей. Чем дальше от преобразователя расположены несплошности, тем больше диаметр УЗ пучка, который их озвучивает, тем хуже фронтальная разрешающая способность контроля.

Достаточно типичными для заготовок валов являются скопления несплошностей, расположенные на «бочке» вблизи оси цилиндрической заготовки (рис. 1.1).

При традиционном УЗ контроле при расположении прямого преобразователя над таким скоплением наблюдается достаточно сложный А-скан, перекрывающий некоторый диапазон глубин. На рис.2.1 – 2.2 показаны примеры А-сканов, снятых в двух точках на «бочке» заготовки при разной длине развертки. Подобная картина наблюдается в каждой точке при перемещении преобразователя над всей областью скопления несплошностей.

Очевидно, что при анализе обычного А-скана невозможно ответить на такие вопросы как:

- Является ли наблюдаемая зона непрерывным дефектом средней части заготовки или она состоит из отдельных несплошностей?
- Каково минимальное пространственное расстояние между несплошностями?
- Каковы фактические размеры отдельных несплошностей в скоплении?
- Каково максимальное количество несплошностей в заданной единице объема?
- Каков характер несплошности?

Учитывая важность указанной информации для принятия обоснованного технического решения об использовании такого рода продукции, предпринимаются шаги для исследования методов получения детальных характеристик несплошностей, распределенных в некотором объеме. Одним из таких методов является метод когерентной метод, который реализуется, в частности, при использовании компьютерной системы ультразвукового контроля «**Авгур 4.2**» [1].

Эта система, предназначенная для экспертного неразрушающего контроля сварных соединений и основного металла широкого класса изделий, предоставляет возможность достаточно точного определения размеров несплошностей. Высокая разрешающая способность - порядка 2 мм (в стали на частоте 2.5 МГц) слабо изменяется с глубиной, что позволяет эффективно проводить УЗ контроль толстостенных заготовок.

В качестве примера применения компьютерной системы ультразвукового контроля «**Авгур 4.2**» контроля толстостенных заготовок демонстрируется контроль «бочки» заготовки диаметром 1220 мм и длиной измерения 3 м. В измерениях использовались голографические пьезоэлектрические преобразователи (ПЭП) с углом ввода 0° (параметры ПЭП, полученные программой калибровки показаны на рис.3.1). Для используемых ПЭП были рассчитаны АРД-диаграммы в программе «**Augur 4.4**» (см. рис.3.2).

Измерения проводились в экспертном режиме вдоль когерентной оси Y (вдоль оси «бочке» заготовки). Длина сканирования при одной установке трека составляла 680 мм, шаг сканирования вдоль когерентной оси - 0,4 мм.

Для уменьшения влияния помех, связанных с электромагнитными наводками на входной тракт системы, проводилась полосовая частотная фильтрация. Затем, в результате когерентной обработки экспертных В-сканов (алгоритм проекции в спектральном пространстве) или некогерентной обработки (алгоритм визуализации) восстанавливалось изображение несплошностей. На рис. 3 приведена система координат, в которой представляются данные измерений.

На полученных изображениях после восстановления В-сканов методами ПСП и визуализации четко выделяются отражатели, параметры которых - координаты и амплитуды

- практически совпадают с параметрами этих отражателей, измеренных при разных положениях сканера (см. рис.3.3, 3.4).

С отражателями, полученными после когерентного восстановления, сопоставлялись эхо-сигналы, амплитуды которых соответствовали эхо-сигналам от отражателей с эквивалентными размерами $\varnothing_3 =$ более 1,6 мм. Только такие отражатели фиксировались.

Для определения размеров несплошностей с учётом эквивалентного диаметра использовался алгоритм визуализации по В-сканам с последующей корреляционной обработкой изображений, которая позволяла улучшить отношение сигнал/шум и упростить определение реальных размеров отражателей. Визуализация В-сканов проводилась в программе «**Augur 4.i5**», а корреляционная обработка изображений – в программе «**ImgView**» (см. рис. 3.5). Такая оценка размеров несплошностей приводит к незначительному завышению их протяженности. Полученные таким образом размеры являются верхним пределом протяженности несплошностей.

При проведении когерентной обработки данных использовался послойный алгоритм обработки данных (двухмерный, с фиксированным значением координаты Y) который не учитывает влияния на изображение отражателей расположенных в слоях с другими координатами X. Использование такого алгоритма в общем случае приводит к завышению размеров и искажению изображений отражателей.

Так, например, если мало-протяженные отражатели в области центра ротора при проектировании в плоскости XZ располагаются на окружности с центром на поверхности ротора и диаметром, совпадающим с диаметром ротора, то эхосигналы от этих отражателей при одномерном сканировании вдоль оси Y сложатся синфазно. При этом амплитуда видимого только одного эхосигнала заметно возрастет.

Подобный пример был промоделирован с помощью программы «**Augur 5.2**». В левой части рис. 3.6 приведены В-сканы и А-скан, образующиеся при отражении от двух групп точечных отражателей. Обе группы расположены на окружностях с центрами, расположенными в противоположных точках поверхности ротора и диаметром, совпадающим с диаметром ротора. Расположение этих отражателей хорошо проясняется при когерентной обработке приведенных В-сканов методом ПСП. Это изображение приведено в правой части рис. 3.6.

Эхосигналы отраженные от второй (нижней на рисунке) группы несплошностей, имеют амплитуду в два раза большую чем амплитуда эхосигналов отраженных от подобной группы верхних отражателей. Условно такой эффект, возникающий при одномерном сканировании, можно назвать эффектом «фокусировки»

Эффекта «фокусировки» можно избежать, применив трехмерный алгоритм когерентной обработки эхосигналов, проведя экспертные измерения при сканировании по двум голографическим осям. Разработанные алгоритмы восстановления акустических изображений несплошностей в объектах с неплоскими поверхностями [2, 3] позволят проводить УЗК с более высокой точностью представления результатов контроля.

Применение трехмерного алгоритма когерентной обработки позволяет также увеличить разрешающую способность и отношение сигнал/шум конечного изображения. На рис. 3.7 приведены результаты моделирования, подтверждающие этот факт.

На рис. 3.7 а) приведена исходная эхограмма, полученная от четырех точечных отражателей с добавлением белого шума.

На рис. 3.7 б) и в) приведены В- и D- срезы трехмерных изображений, полученных после применения двухмерного алгоритма когерентной обработки (3.8 б)) и после применения трехмерного алгоритма (3.7 в)).

Хорошо видно увеличение разрешающей способности вдоль оси Y (на изображениях D-типа) и увеличение отношения сигнал/шум (на изображении В-типа одного и того же слоя).

ЛИТЕРАТУРА:

1. Бадалян В.Г., Базулин Е.Г, Бычков И.В., Вopilкин А.Х., Каплун С.М., Ломакин А.В., Пентюк М.В., Рубен Е.А., Тихонов Д.С., Штерн А.М. Компьютерная система ультразвукового контроля с когерентной обработкой данных "Авгур 2.1".- Дефектоскопия, 1993, №7, с. 3-15
2. Бадалян В.Г., Базулин Е.Г, Тихонов Д.С. Неразрушающий контроль цилиндрических объектов методами многочастотной акустической голографии. - Дефектоскопия, 1991, №10, с. 29-36
3. Бадалян В.Г., Базулин Е.Г, Тихонов Д.С. Визуализация неоднородностей методом обобщенной многочастотной акустической голографии. – Акустический журнал, 1992, Вып. 3, том. 38, с. 396-401.

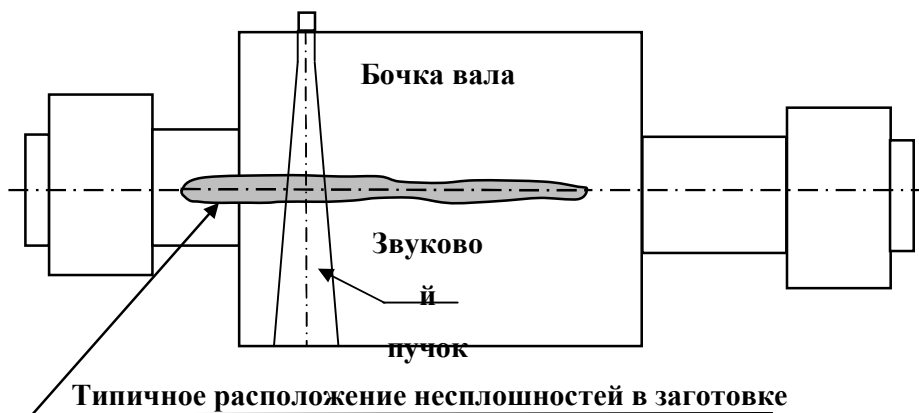


Рис. 1.1 Типичные форма заготовки вала и область расположения несплошностей

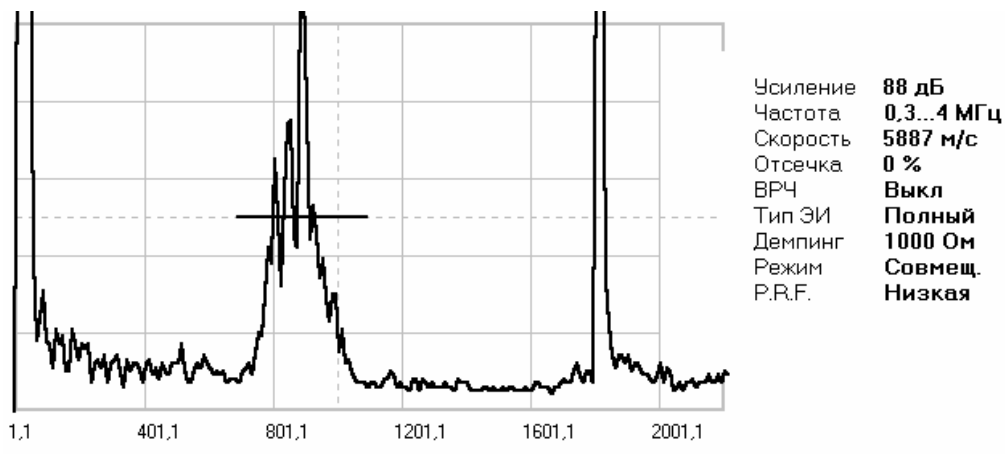


Рис. 2.1. Типовая индикация из заготовки диаметром более 1600 мм (точка 10-1).
Развертка 2000 мм

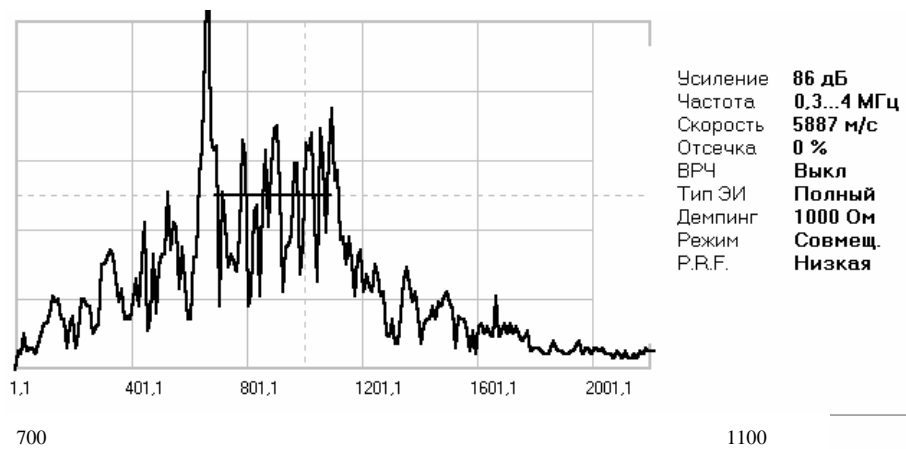


Рис. 2.2. Типовая индикация из заготовки диаметром более 1600 мм (точка 10-4).
 Развертка 400 мм

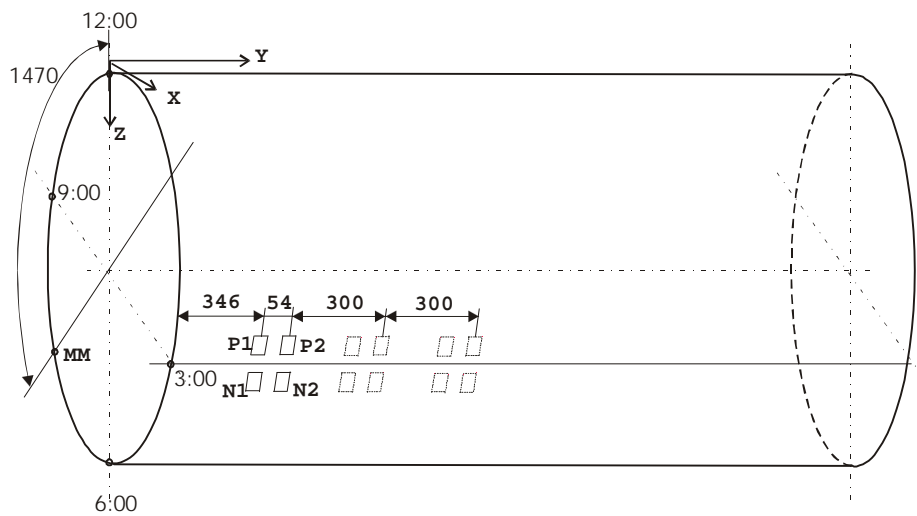


Рис. 3. Система координат объекта контроля.

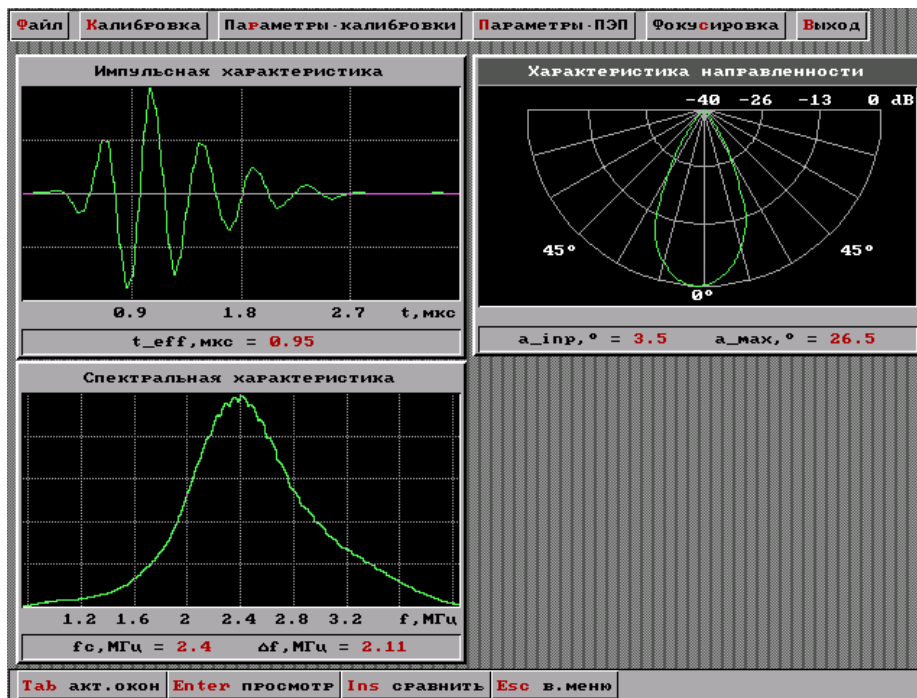


Рис. 3.1. Типичные характеристики используемых ПЭП: импульсная, спектральная и характеристика направленности

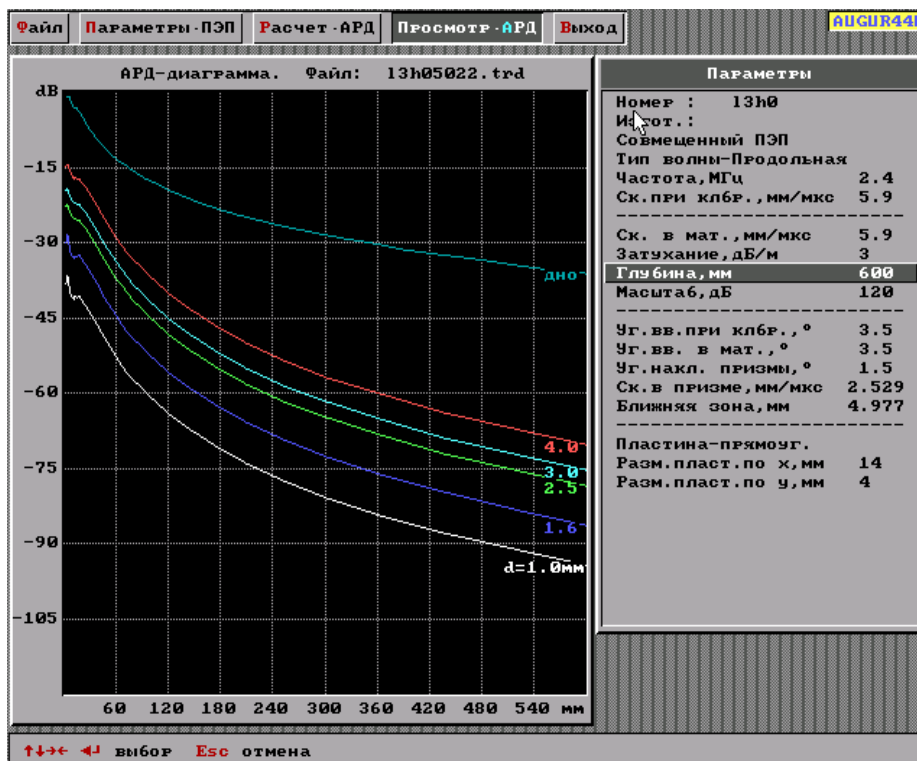


Рис. 3.2. АРД диаграмма для ПЭП, параметры которого приведены на рис.3.1

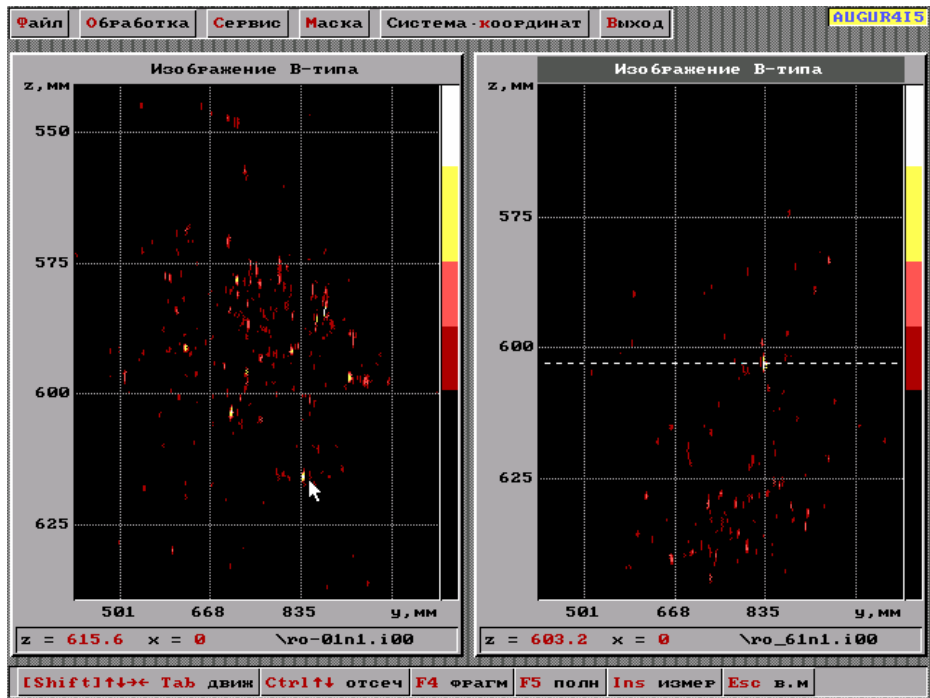


Рис. 3.3 Голографические изображения, полученные для двух ракурсов: 12:00 (слева) и 6:00 (справа)

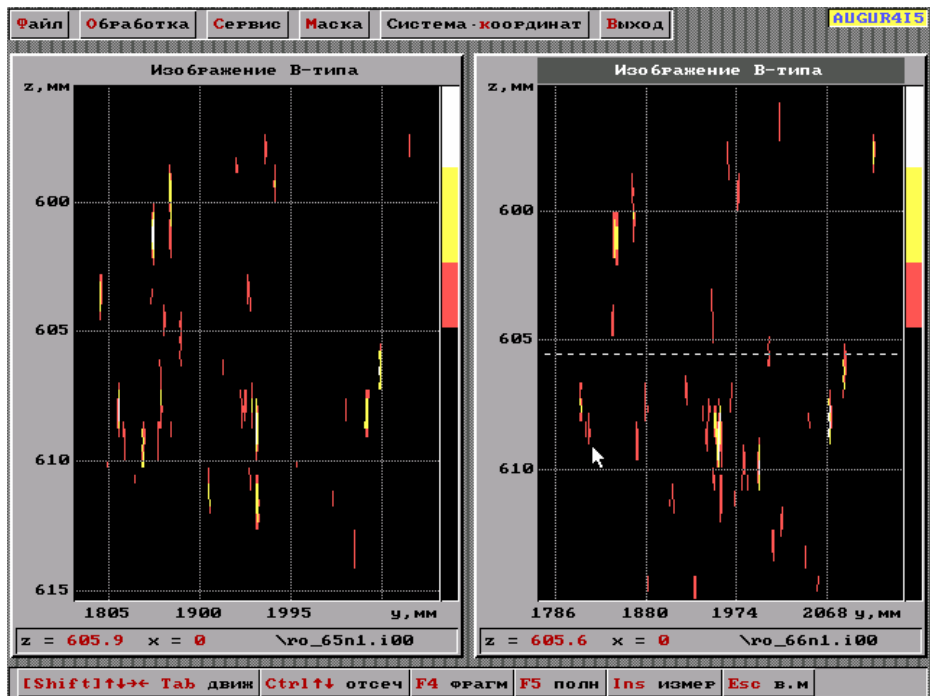


Рис. 3.4. Голографические изображения по измерениям в двух соседних областях

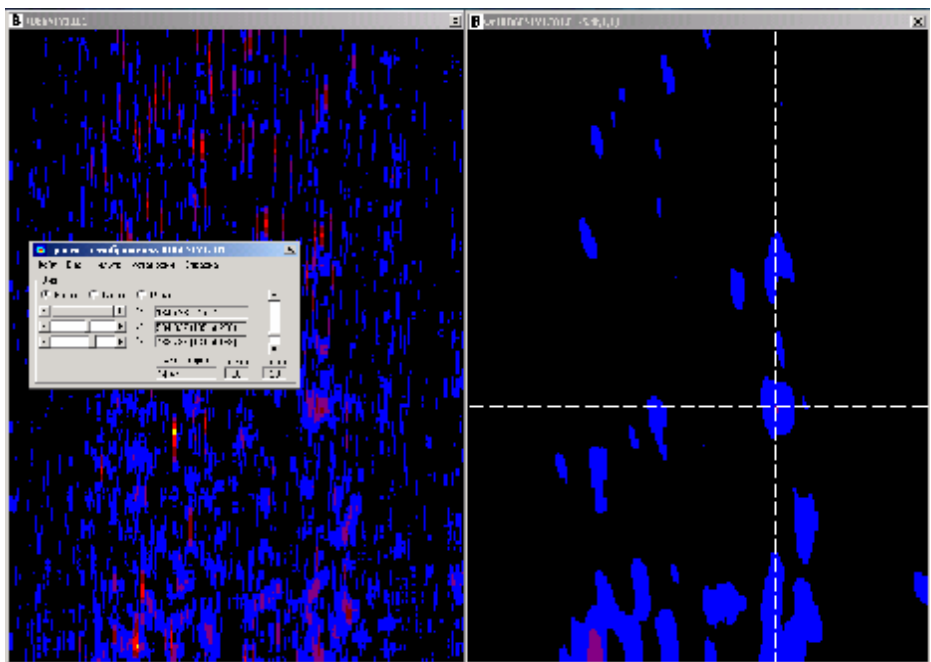


Рис. 3.5. Изображение отражателей, полученное в результате визуализации В-сканов, (слева) и корреляционная обработка этого изображения (справа)

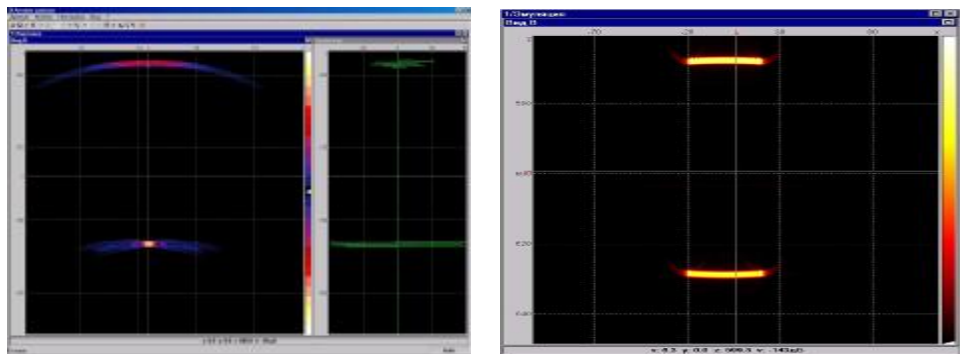
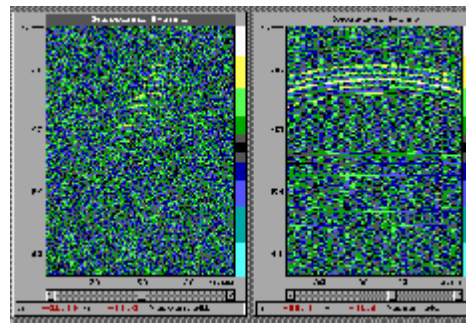
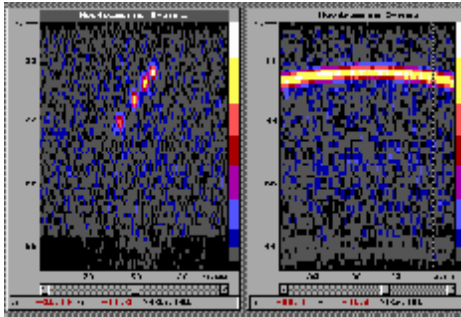


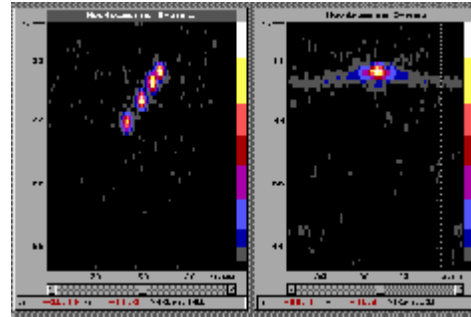
Рис. 3.6. В-сканы, А-скан и изображение модели двух групп отражателей, расположенных в области центра ротор



а)



б)



в)

Рис. 3.7. Моделирование двумерного и трехмерного методов когерентной обработки зашумленных эхосигналов для четырех точечных отражателей