

ОКПД2 26.51.66.121

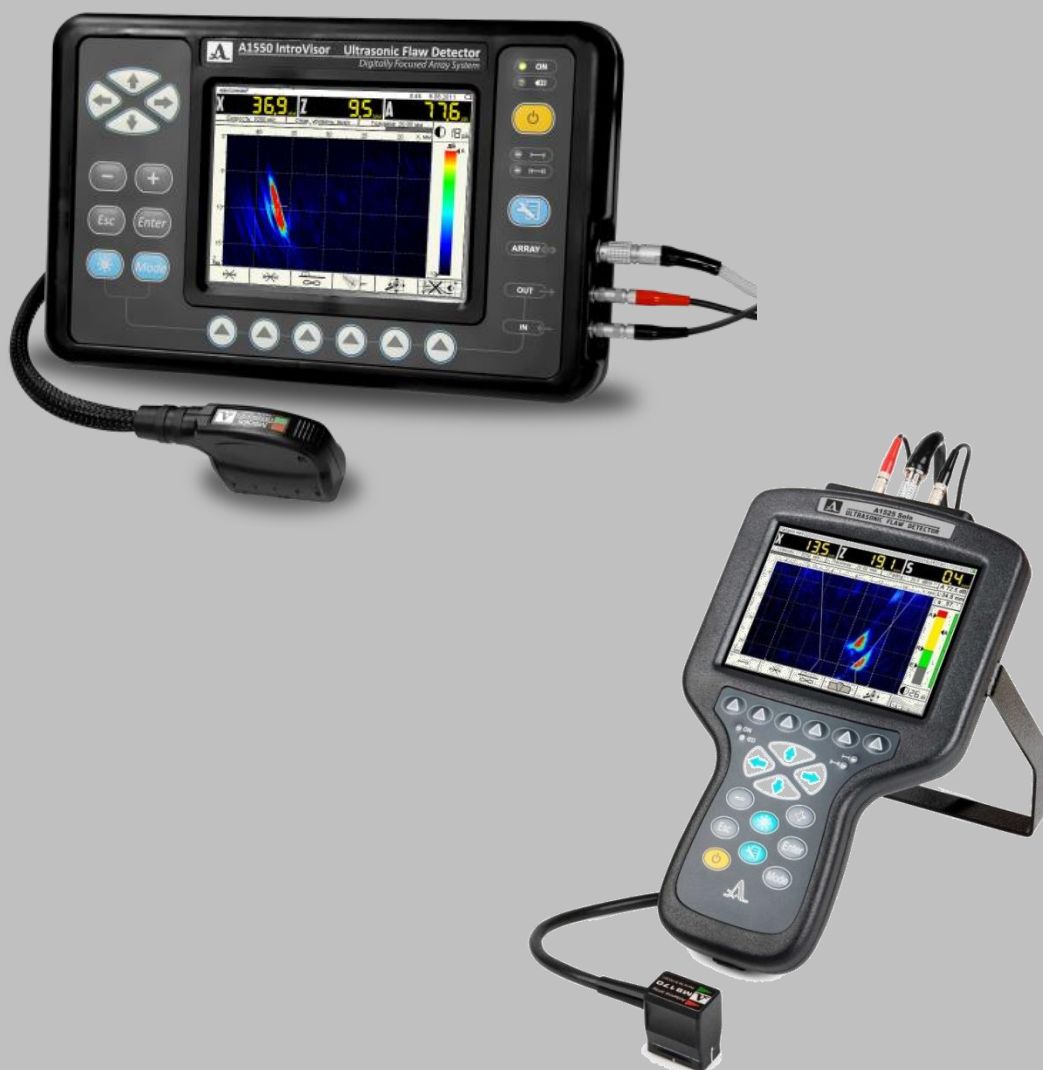


EAC

## ДЕФЕКТОСКОПЫ УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ серии A15

# A1550 IntroVisor / A1525 Solo

### МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ РЕЖИМА ТОМОГРАФ



Акустические Контрольные Системы  
Москва – 2021

<https://a3-eng.com/>



## СОДЕРЖАНИЕ

<b>1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ .....</b>	<b>3</b>
1.1. Введение .....	3
1.2. Основные положения .....	4
1.3. Перечень литературы, нормативно-технических документов .....	4
1.4. Термины и определения .....	6
1.5. Сокращения .....	9
<b>2. СУЩНОСТЬ И СВОЙСТВА ТОМОГРАФИЧЕСКОГО РЕЖИМА .....</b>	<b>10</b>
2.1. Антенные решётки и сканы (томограммы) .....	10
2.2. Принцип действия томографа .....	12
2.3. Фокальная зона линейной антенной решётки .....	16
2.4. Специальные алгоритмы обработки реализаций (режимы реконструкций) .....	20
<b>3. ВЫБОР АНТЕННОЙ РЕШЁТКИ.....</b>	<b>26</b>
<b>4. МЕНЮ НАСТРОЙКИ ТОМОГРАФА.....</b>	<b>28</b>
4.1. Главная страница настройки (F1).....	28
4.2. Страница используемых антенных решёток (F2).....	30
4.3. Страница установки рабочего усиления, просмотра А-Сканов и установки аналоговой ВРЧ (F3) .....	33
4.4. Приёмы выравнивания чувствительности в режиме ТОМОГРАФ .....	34
<b>5. ПРОВЕДЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ НАКЛОННЫМИ АНТЕННЫМИ РЕШЁТКАМИ M9170, M9065, M9055 .....</b>	<b>35</b>
5.1. Пример № 1 AP M9170, толщина 30 мм .....	35
5.1.1. Калибровка задержки антенной решётки и скорости ультразвука на мере СО-3 .....	35
5.1.2. Калибровка задержки антенной решётки и скорости ультразвука по калибровочному образцу V2/25.....	39
5.1.3. Установка рабочего усиления.....	42
5.1.4. Процедура проверки элементов антенной решётки .....	44
5.1.5. Настройка масштаба изображения (скорости развертки), зоны контроля и маски сварного шва.....	46
5.1.6. Настройка скорости ультразвука .....	54
5.1.7. Проверка глубиномера .....	58
5.1.8. Настройка чувствительности .....	60
5.1.9. Коррекция чувствительности .....	66
5.2. Пример № 2 AP M9170, толщина 14,5 мм .....	71
5.2.1. Калибровка задержки антенной решётки и скорости ультразвука на мере СО-3.....	71
5.2.2. Установка рабочего усиления.....	71
5.2.3. Настройка скорости ультразвука .....	72
5.2.4. Проверка глубиномера .....	73
5.2.5. Настройка масштаба изображения (скорости развертки), зоны контроля и маски сварного шва.....	74
5.2.6. Настройка чувствительности .....	79

5.2.7. Проведение контроля .....	83
5.2.7.1. Измерение условной высоты отражателя .....	86
5.2.7.2. Измерение условной протяженности отражателя вдоль шва .....	87
5.2.7.3. Сокращенная запись дефекта .....	89
5.3. Пример № 3 AP M9055, толщина 60 мм .....	91
5.3.1. Калибровка задержки антенной решётки и скорости ультразвука по мере СО-3 .....	91
5.3.2. Установка рабочего усиления .....	91
5.3.3. Настройка скорости, проверка глубиномера .....	93
5.3.4. Настройка масштаба изображения (скорости развертки), зоны контроля, маски сварного шва .....	94
5.3.4.1. Растровое сканирование .....	94
5.3.4.3. Линейное сканирование .....	104
5.4. Пример № 4 AP M9065. Толщина 40мм. Механизированный контроль .....	111
5.4.1. Калибровка задержки антенной решётки и скорости ультразвука по мере СО-3 .....	112
5.4.2. Установка рабочего усиления .....	112
5.4.3. Настройка скорости, проверка глубиномера .....	112
5.4.4. Настройка масштаба изображения (скорости развертки), зоны контроля, маски сварного шва и настройка чувствительности .....	113
5.4.5. Проведение контроля .....	117
5.5. Пример № 5 AP M9174. Толщина 5 мм. Механизированный контроль .....	129
5.5.1. Установка рабочего усиления .....	130
5.5.2. Настройка скорости ультразвука .....	131
5.5.3. Установка маски сварного шва, зоны контроля, режима реконструкции .....	132
5.5.4. Настройка чувствительности .....	138
5.5.5. Проведение контроля .....	141



## 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

### 1.1. Введение

В данном документе рассмотрена работа ультразвуковых дефектоскопов A1550 IntroVisor и A1525 Solo в режиме ТОМОГРАФ, возможности данного режима и характерные методические приёмы, позволяющие проводить контроль различных материалов и их соединений с визуализацией их внутренней структуры и оценкой найденных несплошностей.

➤ **Примечание** – Методические рекомендации применимы для дефектоскопов ультразвуковых A1550 IntroVisor с серийными номерами вида 318XXXX и датой выпуска с декабря 2019 года.

В изложении материала максимально сохранена преемственность основных понятий и терминов традиционной ультразвуковой дефектоскопии. Однако в тех случаях, когда преемственность соблюсти нельзя даны, по возможности, чёткие определения новых понятий. Это связано с тем, что здесь оператор имеет дело не с сигналами, а с графическими образами отражателей.

*Важные дополнительные сведения набраны курсивом и помещены в рамку.*

Рекомендации рассчитаны на операторов, имеющих аттестацию по ультразвуковому контролю не ниже второго уровня и имеющих хорошие знания по теории и практике ультразвукового контроля. К проведению контроля в режиме ТОМОГРАФ допускаются специалисты, аттестованные по ультразвуковому виду неразрушающего контроля в соответствии с EN ISO 9712 или ПБ 03-440-02 на второй или третий уровень.

*В данной версии методических рекомендаций описаны рекомендации по настройке и проведению ультразвукового контроля сварных соединений.*

*В следующих версиях документ будет дополнен рекомендациями для других типов сварных соединений, контролю поковок, литья и т.д.*

*Технология ультразвукового контроля в режиме визуализации методом ЦФА не стоит на месте, а развивается очень быстрыми темпами. Данная технология обладает наилучшими характеристиками по соотношению сигнал / шум, фокусировке образов отражателей, простоте настройки и удобству контроля. Желаем успехов в освоении новых технологий и проведении ультразвукового контроля!*

#### Авторы:

Силин Виталий Васильевич – специалист третьего уровня УЗК, технический директор ООО «АКС-Сервис».

Шевалдыкин Виктор Гаврилович – доктор технических наук, заместитель генерального директора ООО «АКС» по науке.

Разработчик и изготовитель прибора:

Общество с ограниченной ответственностью «Акустические Контрольные Системы» (ООО «АКС»).

142712, Московская область, Ленинский район, пос. Горки Ленинские, промзона «Технопарк», ул. Восточная, вл. 12, стр. 1. Телефон: +7 (495) 800-7462 (многоканальный). E-mail: [market@acsys.ru](mailto:market@acsys.ru). Website: [www.acsys.ru](http://www.acsys.ru)

## **1.2. Основные положения**

Настоящие методические рекомендации устанавливают порядок подготовки и проведения ультразвукового контроля с помощью ультразвуковых дефектоскопов A1550 IntroVisor и A1525 Solo (далее по тексту – дефектоскоп или прибор) с антенными решётками производства ООО «АКС» в режиме ТОМОГРАФ.

На основании данных методических рекомендаций можно создавать стандарты предприятия (СТП), процедуры, технологические карты ультразвукового контроля конкретных изделий.

Методические рекомендации разработаны в соответствии с действующей в Российской Федерации нормативно-технической документацией на ультразвуковой контроль.

## **1.3. Перечень литературы, нормативно-технических документов**

1. Самокрутов А.А., Шевалдыкин В.Г. Ультразвуковая эхо-томография металлоконструкций. Состояние и тенденции // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2007. - № 1. – с. 50 – 59.
2. Шевалдыкин В.Г., Алехин С.Г., Бишко А.В. Дурейко А.В., Климентьев А.А., Соколов Н.Ю., Самокрутов А.А. Заглянуть в металл: теперь это просто. – В мире НК, 2008, № 1(39), с. 46 – 53.
3. Алёхин С.Г., Бишко А.В., Жуков А.В., Соколов Н.Ю., Самокрутов А.А., Шевалдыкин В.Г. Использование фазированных антенных решёток в сочетании с виртуальной динамической фокусировкой для ультразвуковой томографии металлоконструкций. – Контроль. Диагностика, 2008, № 7, с. 42 – 44.
4. Самокрутов А.А., Шевалдыкин В.Г. Ультразвуковая томография металлоконструкций методом цифровой фокусировки антенной решётки // Дефектоскопия. 2011. № 1. с. 21 – 38.
5. Воронков В.А., Воронков И.В., Козлов В.Н., Самокрутов А.А., Шевалдыкин В.Г. О применимости технологии антенных решёток в решении задач УЗК опасных производственных объектов. / В мире неразрушающего контроля. 2011. № 1 (51). с. 64 – 70.
6. Самокрутов А.А., Шевалдыкин В.Г. Измерения в ультразвуковой промышленной томографии // Контроль. Диагностика. 2013. № 10. с. 10 – 22.
7. Самокрутов А.А., Шевалдыкин В.Г. Оценка дефектов при ультразвуковом контроле методом цифровой фокусировки апертуры. Условия, возможности, границы применимости. // Контроль и диагностика. 2017. № 9.

8. Ермолов И.Н., Ланге Ю.В. Ультразвуковой контроль. – В кн.: Неразрушающий контроль / Справочник / Под общ. ред. В.В. Клюева. Т. 3. – М.: Машиностроение, 2004. – 864 с.
9. Ермолов И.Н. Теория и практика ультразвукового контроля. - Изд. Машиностроение. 1981 г. 240 с.
10. Кретов Е.Ф. Ультразвуковая дефектоскопия в энергомашиностроении. Изд-во «СВЕН». 2014.
11. Бадалян В.Г., Базулин Е.Г., Вopilкин А.Х. и др. Ультразвуковая дефектометрия металлов с применением голографических методов. Под. ред. А.Х. Вopilкина. – М.: Машиностроение, 2008. – 368 с.
12. Крауткремер Й., Крауткремер Г. Ультразвуковой контроль материалов: справочное изд. / пер. с нем. М.: Металлургия, 1991. 752 с.
13. ГОСТ Р ИСО 5577-2009. Контроль неразрушающий. Ультразвуковой контроль. Словарь.
14. ГОСТ 20415–82. Контроль неразрушающий. Методы акустические. Общие положения.
15. ГОСТ 23829–85. Контроль неразрушающий акустический. Термины и определения.
16. ГОСТ Р 55724–2013. Контроль неразрушающий Соединения сварные. Методы ультразвуковые.
17. ГОСТ Р ИСО 17640-2016. Неразрушающий контроль сварных соединений. Ультразвуковой контроль. Технология, уровни контроля и оценки.
18. ГОСТ Р ИСО 16811-2016. Ультразвуковой контроль. Настройка чувствительности и диапазона.
19. РД 153-34.1-003-01 (РТМ-1С). Сварка, термообработка и контроль трубных систем котлов и трубопроводов при монтаже и ремонте энергетического оборудования.
20. РД 34.17.302-97 (ОП 501 ЦД-97). Котлы паровые и водогрейные. Трубопроводы пара и горячей воды, сосуды. Сварные соединения. Контроль качества. Ультразвуковой контроль. Основные положения.
21. РД РОСЭК-001-96. Машины грузоподъемные. Конструкции металлические. Контроль ультразвуковой. Основные положения.
22. СТО 00220256-005-2005. Швы стыковых, угловых и тавровых сварных соединений сосудов и аппаратов, работающих под давлением. Методика ультразвукового контроля.
23. СП 70.13330.2012. Свод правил. Несущие и ограждающие конструкции.
24. СДОС-11-2015. Методические рекомендации о порядке проведения ультразвукового контроля металлических конструкций технических устройств, зданий и сооружений.
25. АПЯС.412231.040 РЭ. Дефектоскоп ультразвуковой A1550 IntroVisor. Руководство по эксплуатации.
26. АПЯС.412231.040 РЭ. Дефектоскоп ультразвуковой A1525 Solo. Руководство по эксплуатации.

27. Шевалдыкин В.Г., Самокрутов А.А., Смородинский Я.Г. Термины ультразвукового контроля с антенными решётками и что они означают. // Дефектоскопия. 2018. № 9. С. 31 – 40.

#### 1.4. Термины и определения

Настоящая инструкция базируется на терминах и их определениях, приведенных в ГОСТ Р ИСО 5577, ГОСТ Р 20415, ГОСТ 23829, ГОСТ Р 55724.

**А-Скан** – представление ультразвуковых сигналов, в котором по оси абсцисс (оси  $X$ ) откладывается время, по оси ординат (оси  $Y$ ) — амплитуда сигнала.

**В-Скан** (томограмма) – представление результатов ультразвукового контроля в виде сечения объекта контроля, перпендикулярного поверхности ввода и параллельного направлению прозвучивания (плоскости падения пучка).

Термин **S-Скан**, который используется в фазированных антенных решётках, не употребляется, вместо него используется **В-Скан**. Способ получения изображения и способ фокусировки в методе цифровой фокусировки апертуры один (метод SAFT-C), поэтому не требуется вводить различные названия сканов для различных способов настройки изображения.

**С-Скан** (томограмма) – представление результатов ультразвукового контроля в виде сечения объекта контроля в плане параллельного поверхности сканирования.

**Д-Скан** (томограмма) – представление результатов в виде поперечного сечения объекта контроля перпендикулярного к поверхности сканирования и перпендикулярного к проекции оси ультразвукового пучка на поверхность сканирования. Обычно изображение Д-Скан перпендикулярно изображению В-Скан.

**Активная апертура линейной решётки** – размер рабочей поверхности решётки, через которую происходит излучение и приём ультразвуковых колебаний, вдоль линии расположения элементов.

**Антенная решётка** – общее название любой группы ультразвуковых преобразователей, как обособленных, так и элементов, объединённых в общем корпусе. Главный признак решётки – совместное использование её элементов для получения информации о внутренней структуре объекта контроля. По расположению элементов на поверхности объекта контроля различают решётки линейные, матричные и специальной формы. Наиболее распространены линейные решётки, в которых элементы расположены в один ряд вдоль прямой линии.

**Антенная решётка наклонная** – решётка, у которой максимумы диаграмм направленности элементов в объекте контроля отклонены от нормали к поверхности объекта контроля на заданный угол с целью преимущественно наклонного ввода ультразвуковых волн в объект контроля. Для пьезоэлектрических решёток наклонный ввод ультразвуковых волн достигается за счёт применения общей клиновидной призмы или отдельных призм для каждого элемента.

**Антенная решётка прямая** – решётка, у которой максимумы диаграмм направленности элементов направлены по нормали к поверхности объекта контроля. Область обзора пространства такой решёткой расположена

непосредственно под её апертурой, аналогично прямому ультразвуковому преобразователю.

**АРД-диаграмма** двумерная (диаграмма «Амплитуда-Расположение-Диаметр») – рассчитанное или измеренное семейство зависимостей интегральных амплитуд образов дисковых отражателей разных диаметров от их координат в объекте контроля (горизонтальной дальности и глубины) при условии ориентации каждого отражателя перпендикулярно линии, соединяющей его центр с центром апертуры решётки, принятым за начало координат.

**Зона сканирования** – область поверхности объекта контроля, по которой перемещается антенная решётка в процессе ультразвукового контроля.

**Линейное сканирование** – перемещение решётки, задаваемое только одной координатой. Линейное сканирование является однонаправленным и проводится по линейной траектории. Оно характеризуется скоростью сканирования, границами траектории сканирования и шагом между точками, в которых происходит запись данных.

**Ложный сигнал** – сигнал, не связанный с дефектом, т. е. сигнал, полученный от разных типов волн, пришедший от конструктивных отражателей.

**Метод SAFT** (Synthetic Aperture Focusing Technique) – наиболее известный метод реконструкции. Полностью созвучный этому термину вариант сокращения на русском языке **САФТ** (Синтезированная Апертура, Фокусируемая в Точку). Сущность этого метода содержится в названии – путём применения расчётных времён задержки эхосигналов для каждой точки томограммы производится когерентное сложение эхосигналов, выбранных из каждой реализации. В результате происходит фокусировка апертуры в каждую точку визуализируемой области объекта контроля. Для массива реализаций, полученных путём комбинационного зондирования, был разработан метод САФТ-С, т. е. САФТ при комбинационном зондировании. В англоязычной литературе ему соответствует термин **TFM** (Total Focusing Method).

**Метод реконструкции** – метод пространственно-временной обработки реализаций ультразвуковых колебаний, полученных от антенной решётки. Метод характеризует основную физическую суть обработки, а не конкретный алгоритм, которых существует множество.

**Направляющий угол** – угол между направлением на отражатель и нормалью к поверхности объекта контроля. Он проходит через центр апертуры антенной решётки и максимум амплитуды образа отражателя.

**Образ на томограмме** – обособленная индикация на томограмме, контрастирующая с основным фоном.

**Образ реальный** – образ на томограмме, вызванный реально существующей несплошностью или неоднородностью материала объекта контроля или его границей с внешней средой.

**Образ фантомный** – образ, не соответствующий реальной физической аномалии материала объекта контроля, а вызванный, например, помехами от ультразвуковых волн нерабочих типов, реверберационными колебаниями в решётке или помехами от боковых лепестков диаграммы направленности.



**Опорный сигнал** – сигнал от искусственного или естественного отражателя в образце из материала с заданными свойствами или сигнал, прошедший контролируемое изделие, который используют при определении и настройке опорного уровня чувствительности и (или) измеряемых характеристик несплошности.

**Опорный уровень чувствительности** – уровень чувствительности, при котором опорный сигнал имеет заданную высоту на экране дефектоскопа.

**Пассивная апертура линейной решётки** – размер рабочей поверхности решётки, через которую происходит излучение и приём ультразвуковых колебаний в направлении перпендикулярном линии расположения элементов. У высокочастотных решёток – это размер элемента в перпендикулярном к активной апертуре направлении, т. е. длина элемента.

**Поперечная несплошность** – несплошность, проекция условных размеров которой на поперечную ось сварного соединения является наибольшей.

**Продольная несплошность** – несплошность, проекция условных размеров которой на продольную ось сварного соединения является наибольшей.

**Пространственная регулировка чувствительности (ПРЧ)** – выравнивание в зоне контроля амплитуд образов от идентичных отражателей малых волновых размеров или рассеивающих ультразвуковых колебаний ненаправленно в плоскости визуализации. В частности, это могут быть боковые отверстия.

**Растровое сканирование (поперечно-продольное)** – перемещение решётки по двум координатам относительно объекта контроля. Характеризуется скоростью перемещения, зоной перемещения и шагом смещения.

**Реализация** – это последовательность ультразвуковых сигналов, принимаемых элементом решётки в течение заданного интервала времени от момента зондирующего сигнала, преобразованная в электрические колебания и записанная в память прибора. В реализации наряду с полезными эхоимпульсами всегда присутствуют разные помехи, шум структуры металла и шум приёмного тракта.

**Реконструкция (восстановление) изображения (томограммы)** – процесс работы вычислительного блока дефектоскопа, заключающийся в преобразовании по определённому алгоритму массива реализаций ультразвуковых колебаний, принятых из объекта контроля, в массив данных об отражательной способности точек визуализируемого пространства объекта контроля.

**Сканограмма** – изображение, полученное путем накопления томограмм при сканировании объекта контроля с выбранным шагом.

**Томограмма** – представление результатов ультразвукового контроля в виде сечения объекта контроля. Вследствие специфики ультразвукового эхометода томограмма является изображением распределения отражательной способности точек визуализируемого пространства объекта контроля в плоскости сечения. Под точкой здесь понимается некий минимальный элемент пространства (объёмный или плоскостной), размер которого меньше длины волны ультразвуковых колебаний.

**Цифровая фокусировка апертуры (ЦФА)** – работа решётки в режиме комбинационно-синтезированной апертуры с фокусировкой ультразвуковых сигналов в каждую точку визуализируемой области объекта контроля.

ЦФА – это, в сущности, полный алгоритм работы прибора от зондирования объекта контроля до выдачи реконструированного изображения. Он включает в себя процесс сбора полного набора (матрицы) комбинационных реализаций и процесс реконструкции изображения по алгоритмам комбинационно-синтезируемой фокусируемой апертуры САФТ-С. Это соединение двух процессов в англоязычной литературе обозначают как **ФМС+TFM**.

**Шум** – беспорядочно распределенные сигналы на экране прибора, обусловленные отражениями от структуры материала и электрическими шумами аппаратуры.

### 1.5. Сокращения

АР – антенная решётка;

АРД-диаграмма двумерная – «Амплитуда-Расположение-Диаметр».

Позволяет вычислять эквивалентную площадь найденных в объекте контроля отражателей;

АСД – автоматическая сигнализация дефектов;

БО – ближний отражатель;

БЦО – опорный отражатель типа бокового цилиндрического сверления;

ВРЧ – временная регулировка чувствительности;

ДО – дальний отражатель;

ЗТВ – зона термического влияния;

КО – калибровочный образец (мера);

ЛНК – лаборатория неразрушающего контроля;

МУЗК – механизированный ультразвуковой контроль;

НО – настроечный образец;

НТД – нормативно-техническая документация;

ОК – объект контроля;

ПДО – опорный отражатель типа плоскодонное отверстие;

ПРЧ – пространственная регулировка чувствительности;

ПЭП – пьезоэлектрический преобразователь;

РЭ – руководство по эксплуатации;

СС – сварное соединение;

УЗК – ультразвуковой контроль;

ФАР – фазированная антенная решётка;

ЦФА – цифровая фокусировка апертуры.

## 2. СУЩНОСТЬ И СВОЙСТВА ТОМОГРАФИЧЕСКОГО РЕЖИМА

### 2.1. Антенные решётки и сканы (томограммы)

Дефектоскоп в режиме ТОМОГРАФ воспроизводит на экране изображения сечений материала контролируемого объекта. Будем называть их томограммами. В этом режиме для излучения и приёма ультразвука используются многоэлементные антенные решётки продольных и поперечных УЗ волн. В приборе в качестве базовых используются 16-элементные линейные антенные решётки. Устройство данных антенных решёток схематично показано на рисунке 2-1.

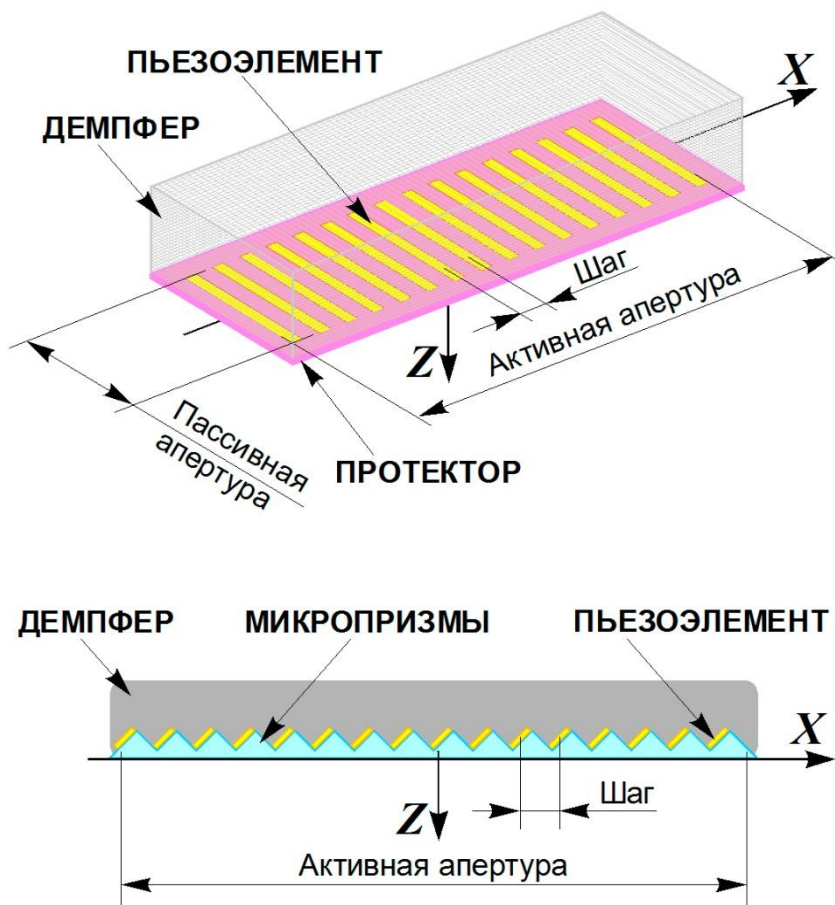


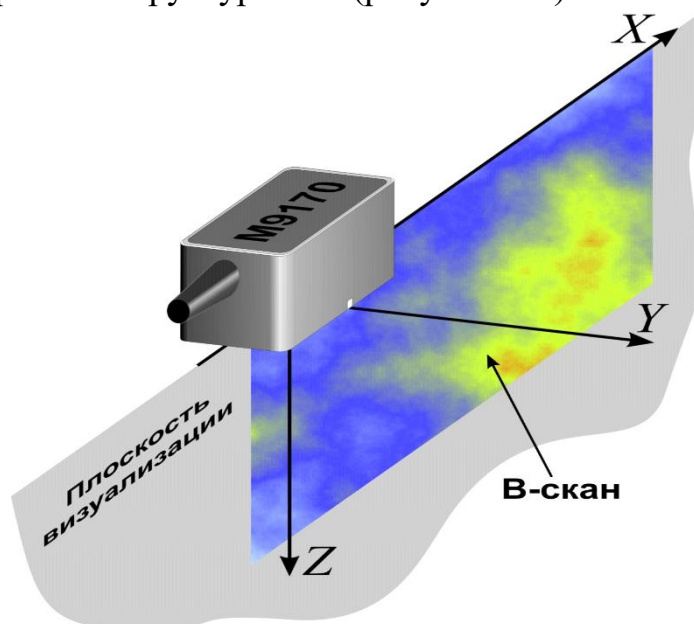
Рисунок 2-1 – Устройство антенных решёток. Прямая решётка продольных УЗ волн (вверху), наклонная решётка поперечных УЗ волн (внизу)

Решётка продольных волн представляет собой ряд одинаковых прямоугольных пьезоэлементов, приклеенных к тонкому протектору из твёрдой керамики. Они уложены длинными сторонами друг к другу с некоторым шагом. Каждый пьезоэлемент решётки является прямым совмещённым УЗ преобразователем. Весь ряд пьезоэлементов расположен вдоль продольной оси рабочей поверхности решётки, совпадающей с осью координат  $X$ . Общая длина этого ряда в направлении продольной оси образует **активную апертуру** решётки. Длина одного пьезоэлемента (она перпендикулярна продольной оси решётки) называется **пассивной апертурой**.



Антенная решётка поперечных волн отличается от решётки продольных волн только тем, что в ней каждый пьезоэлемент установлен на свою клинообразную микропризму. Благодаря трансформации продольной волны в поперечную при преломлении УЗ колебаний на границе призма – металл в ОК излучаются поперечные УЗ волны. В этой решётке каждый пьезоэлемент является, по сути, наклонным УЗ преобразователем.

Основной тип томограмм, который используется для анализа информации при ручном контроле – **В-томограмма** или **В-Скан**. Это изображение сечения ОК, плоскость которого перпендикулярна поверхности объекта и совпадает с продольной осью рабочей поверхности антенной решётки. В этой плоскости лежат акустические оси всех элементов решётки, и в этой плоскости происходит визуализация внутренней структуры ОК (рисунок 2-2).



**Рисунок 2-2 – Взаимное расположение антенной решётки и реконструируемой В-томограммы в системе координат**

Плоскость визуализации по терминологии традиционной дефектоскопии можно назвать также плоскостью падения или основной плоскостью.

Все вероятные нарушения сплошности материала ОК, границы раздела сред (металл – воздух, металл – жидкость), а также возможные проявления нерабочих типов УЗ волн отображаются на экране прибора в виде засветок (точек, пятен, полос) другой яркости или цвета по отношению к фону. Эти засветки будем называть образами. Их форма, размеры и яркость (цвет) зависят от вызвавшей их причины.

Часто, (но не всегда), форма образа может быть похожа на форму отражающей границы достаточно крупной несплошности металла, попавшей в визуализируемое сечение. Малоразмерные несплошности дают образы в виде сосредоточенных пятен.

При сканировании ОК в направлении поперечной оси рабочей поверхности антенной решётки (в направлении оси  $Y$ , как показано на рисунке 2-3) с использованием датчика пути происходит последовательная запись в память прибора В-томограмм с некоторым выбранным шагом между томограммами. При этом на экран выводятся изображения С-типа и D-типа (кратко С-Скан и D-Скан). Эти изображения извлекаются из массива записываемых В-Сканов.

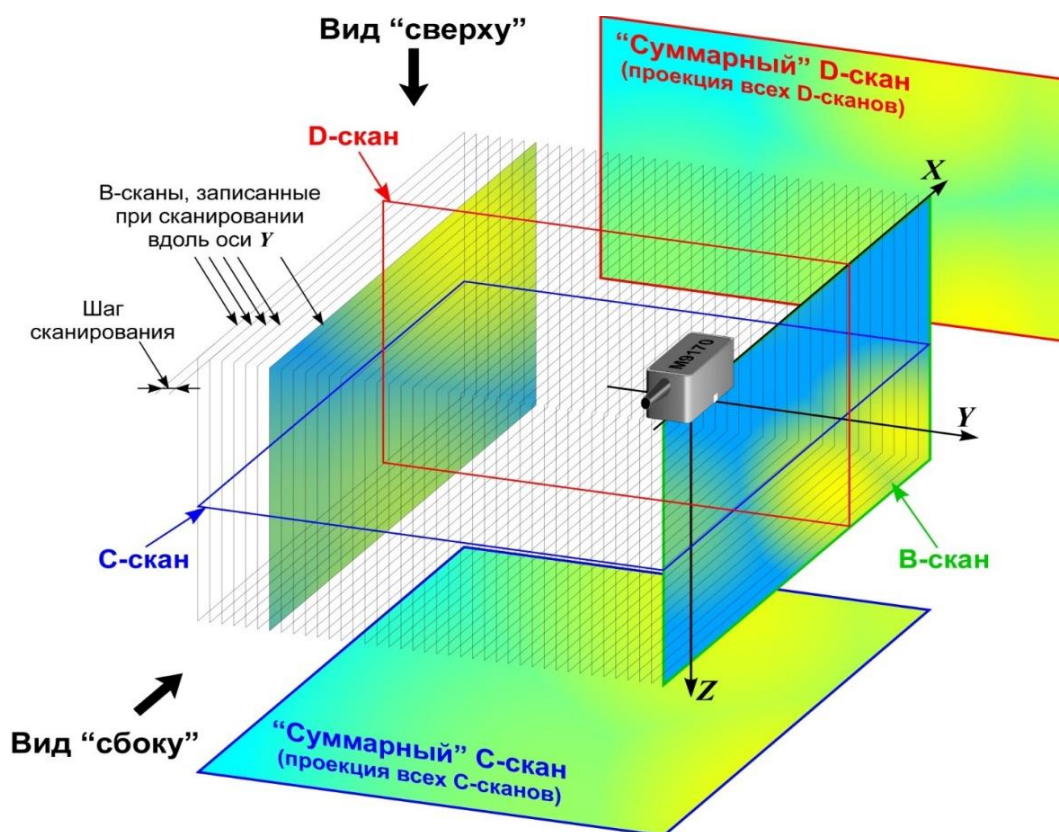


Рисунок 2-3 – Взаимное расположение антенной решётки и всех изображений дефектоскопа, реконструируемых в процессе сканирования решёткой объекта контроля

**С-Скан** – изображение вида «сверху». Оно представляет собой изображение сечения ОК, плоскость которого параллельна внешней поверхности ОК и расположена на некоторой выбранной глубине.

**D-Скан** – изображение вида «сбоку». Оно отображает сечение ОК, перпендикулярное его поверхности и параллельное направлению сканирования.

Все три сечения ОК, отображаемые томограммами В-, С- и D- типов, взаимно перпендикулярны.

## 2.2. Принцип действия томографа

Принцип действия томографа значительно отличается от действия приборов с фазированными антенными решётками. Излучение и приём УЗ колебаний в томографе происходит поочерёдно отдельными парами пьезоэлементов (элементов) антенной решётки. Эту очерёдность поясняет рисунок 2-4.

Очерѐдность такова:

- первый – излучатель, он же – приёмник;
- затем второй – излучатель, первый снова – приёмник;
- далее третий – излучатель, первый опять – приёмник;

– и так до последнего 16-го элемента решѐтки, посылающего в ОК зондирующий импульс. Т. е. первый элемент решѐтки по очереди принимает УЗ сигналы от каждого элемента решѐтки.

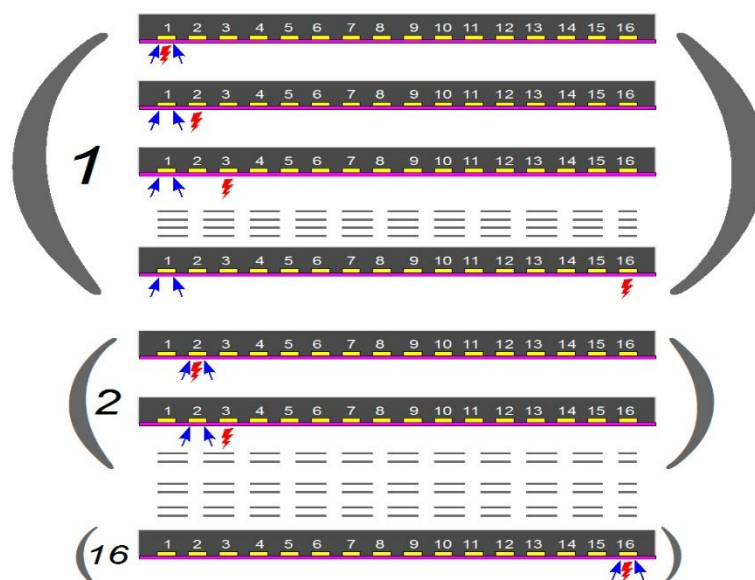


Рисунок 2-4 – Очерѐдность посылок зондирующих импульсов в ОК и приѐма УЗ колебаний элементами антенной решѐтки

Далее очерѐдность повторяется, но со второго элемента, затем с третьего и т.д.

Полный цикл излучения и приѐма сигналов заканчивается, когда последний 16-й элемент антенной решѐтки пошлѐт в ОК зондирующий импульс и он же примет УЗ сигналы из него.

При такой работе в прибор попадают полностью независимые друг от друга реализации УЗ колебаний от каждой пары элементов антенной решѐтки (излучатель – приёмник).

**Реализация** – это последовательность УЗ сигналов, принимаемых элементом решѐтки в течение заданного интервала времени от момента зондирующего сигнала, преобразованная в электрические колебания и записанная в память прибора. В реализации наряду с полезными эхоимпульсами всегда присутствуют разные помехи, шум структуры металла и шум приёмного тракта.

Независимость реализаций заключается в том, что каждая из них является откликом материала ОК только на один зондирующий импульс одного элемента решѐтки. Никаких сложений акустических полей от нескольких и даже двух

элементов решётки здесь нет, поэтому нет никаких УЗ пучков и управления ими. В любой момент времени есть только рассеянное слабонаправленное излучение УЗ импульса с таким же малонаправленным приёмом УЗ колебаний из ОК (рисунок 2-5).

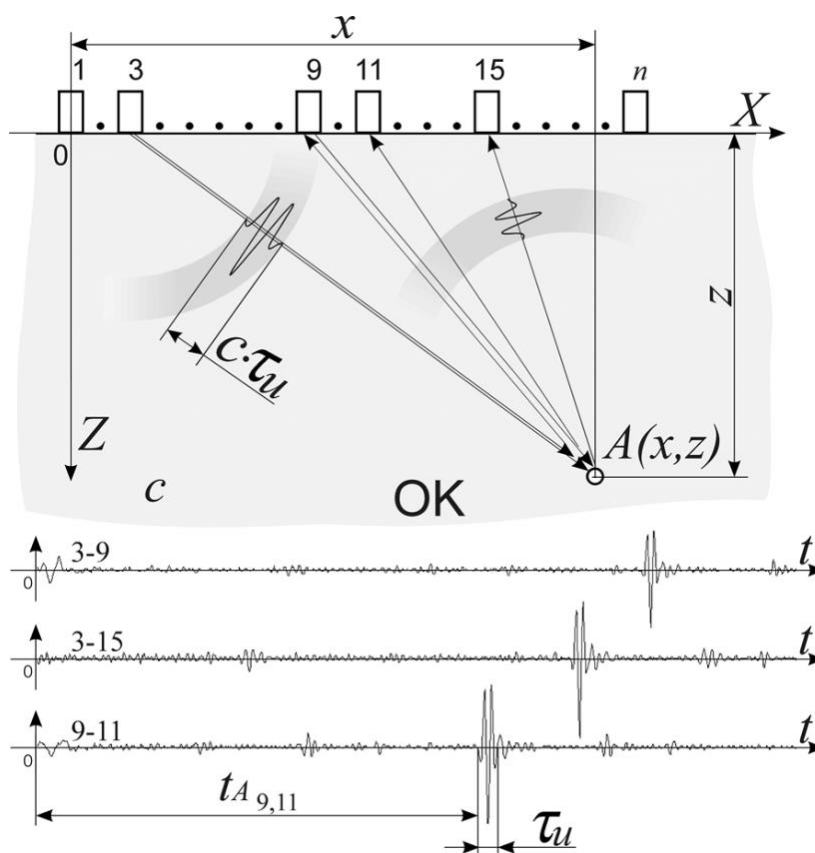


Рисунок 2-5 – Схема излучения – приема в режиме ЦФА

После полного перебора всех пар элементов антенной решётки с излучением и приёмом УЗ колебаний цикл зондирования начинается снова по приведённой схеме. В каждом таком цикле реконструируется одна В-томограмма. Перебор пар элементов в цикле происходит очень быстро, частота смены изображений на экране прибора составляет от 20 до 60 Гц.

Реконструкция (восстановление) изображения (томограммы) – это процесс работы вычислительного блока томографа, заключающийся в преобразовании по определённому алгоритму массива реализаций УЗ колебаний, принятых из ОК, в массив данных об отражательной способности точек визуализируемого пространства ОК.

Реконструкция томограммы происходит следующим образом (рисунок 2-6).

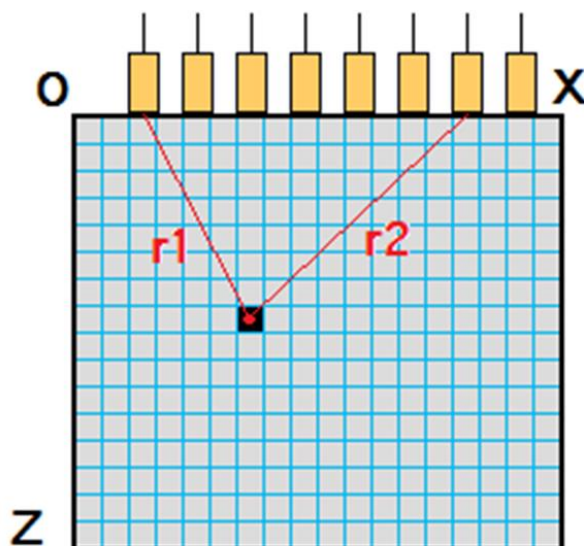


Рисунок 2-6 – Точки (пиксели) томограммы

Для каждой точки томограммы из каждой принятой реализации выбираются короткие отрезки колебаний длительностью равной длине зондирующего импульса ( $c \cdot \tau_i$ ) (где  $c$  – скорость УЗ волны,  $\tau_i$  – длительность зондирующего импульса) и временем пролёта УЗ импульса от излучившего зондирующий сигнал элемента решётки к визуализируемой точке материала ОК и обратно к приёмному элементу. Эти выбранные отрезки суммируются, и результирующая сумма (в виде такого же отрезка колебаний) записывается в отдельную ячейку памяти. Если в какой-либо визуализируемой точке ОК есть неоднородность материала, то эхосигналы от неё, присутствующие в каждой реализации, накапливаются (складываются в фазе) в ячейке памяти, соответствующей этой точке ОК. Если неоднородности нет, то в памяти накапливаются только колебания шумов (рисунок 2-7).

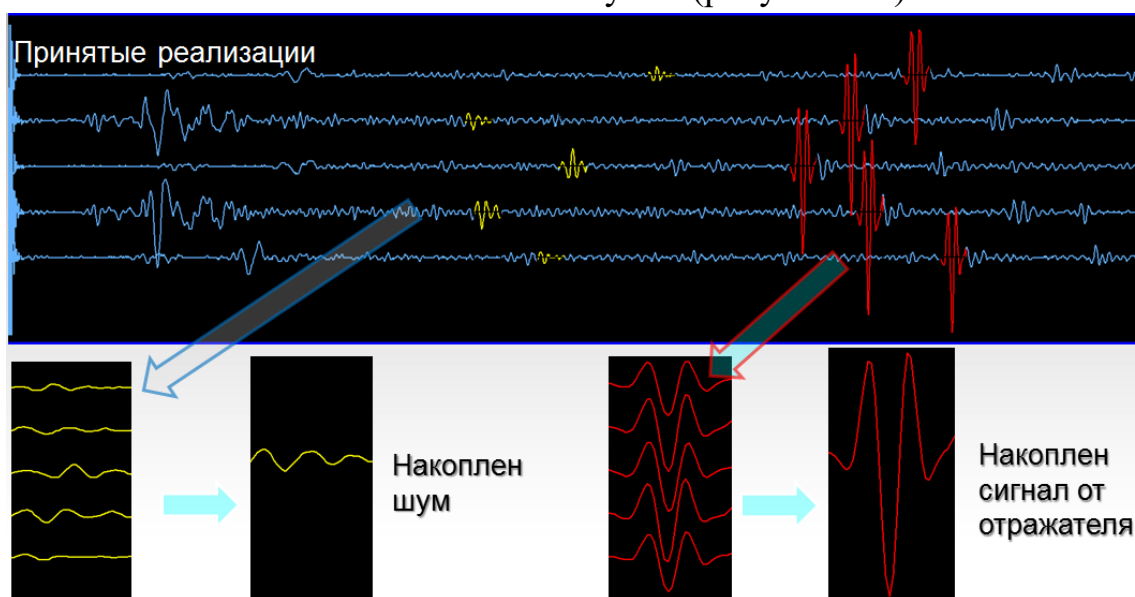


Рисунок 2-7 – Накопление сигналов



Затем колебания в этих ячейках детектируются, и результирующие числа, пропорциональные отражательной способности соответствующих точек материала ОК, отображаются на экране в виде точек разной яркости или цвета.

Таким образом, томограмма представляет собой прямоугольный растр точек, яркость или цвет которых пропорциональны отражательной способности соответствующих точек материала ОК. Причём каждая точка томограммы получена как результат виртуальной фокусировки всех элементов решётки в соответствующую ей точку ОК.

### 2.3. Фокальная зона линейной антенной решётки

Поскольку АР фокусируется в каждую точку пространства, именно фокальная зона решётки и определяет все амплитудные и геометрические зависимости образа несплошности от её координат, размеров, типа и ориентации.

**Фокальной зоной** любой акустической фокусирующей системы является область пространства вокруг фокуса, в пределах которой амплитуда акустических колебаний превышает определённый уровень относительно её значения в фокусе. Для режима излучения-приёма это область, внутри которой точечный отражатель даёт эхосигнал с амплитудой, превышающей определённый уровень от значения амплитуды эхосигнала от отражателя в фокусе.

Для оценки качества изображения, разрешающей способности прибора и его измерительных свойств особое значение имеют размеры фокальной зоны в основной плоскости падения УЗ волн антенной решётки  $XOZ$  (В-Скан) (рисунок 2-8).

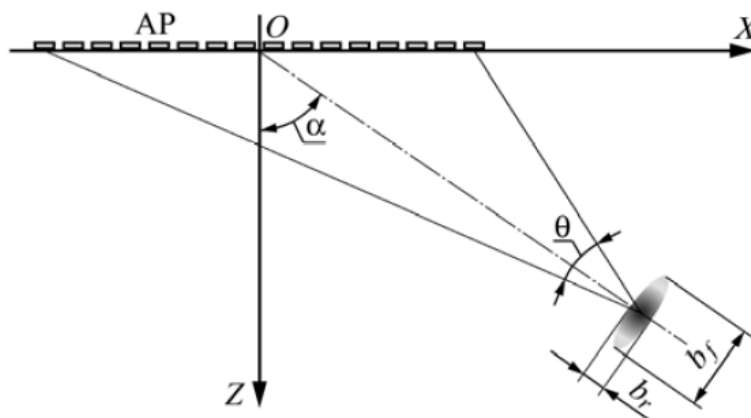


Рисунок 2-8 – Схема сечения ОК в плоскости визуализации (В-Скан) в принятой системе координат с элементами линейной антенной решётки и фокальной зоной

Размер  $b_r$  – размер фокальной зоны вдоль направления на фокус (лучевой размер фокальной зоны) почти не зависит от фокусного расстояния, если оно превышает размер активной апертуры решётки. В этом случае  $b_r$  в основном

определяется длиной зондирующего импульса дефектоскопа:

$$b_r \approx c \cdot \tau, \quad (1)$$

где  $c$  – скорость УЗ волн в ОК;

$\tau$  – длительность зондирующего импульса.

Главное значение имеет размер  $b_f$  – **фронтальный размер фокальной зоны** в направлении перпендикулярном линии, проходящей через центр апертуры антенной решётки и точку фокуса. Именно этот размер зависит от фокусного расстояния и от угла  $\alpha$  между нормалью к апертуре решётки и направлением на точку фокуса. Угол  $\alpha$  назовем **направляющим углом**.

Размер  $b_f$  фокусирующей системы, работающей на излучение и приём, по уровню минус 6 дБ от максимума зависит от длины УЗ волны  $\lambda$  и угла  $\theta$ , под которым «видна» активная апертура системы из точки фокусировки и может быть вычислен по формуле:

$$b_f \approx \frac{\lambda}{2 \cdot \sin \frac{\theta}{2}}. \quad (2)$$

На рисунке 2-9 приведен график зависимости фронтального размера  $b_f$  фокальной зоны от координат  $x, z$  для антенной решётки поперечных волн М9170 с апертурой  $A = 28$  мм и рабочей частотой 4 МГц. Длина волны в стали  $\lambda = 0,8$  мм. На графике величина  $b_f$  представлена линиями равных значений в миллиметрах.

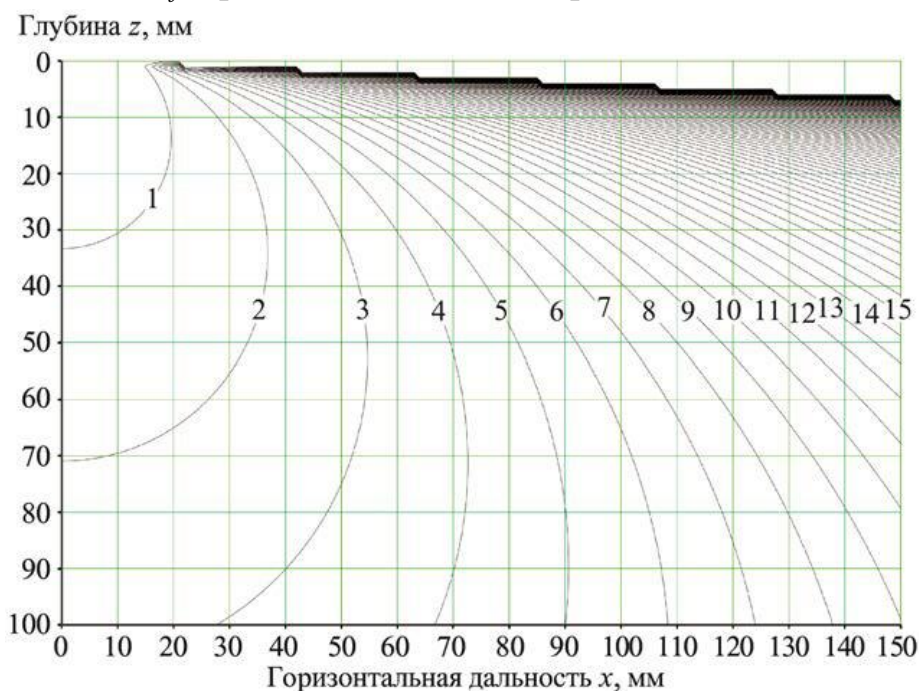


Рисунок 2-9 – Зависимость фронтального размера фокальной зоны антенной решётки М9170 от координат в плоскости визуализации

Видно, что с увеличением фокусного расстояния и направляющего угла  $\alpha$ , размер  $b_f$  фокальной зоны увеличивается. Так, например, в точке с координатами  $x = 140$  мм и  $z = 65$  мм фокальная зона равна 10,5 мм, а при той же глубине и  $x = 50$  мм – порядка 2,9 мм. При углах  $\alpha$  больше  $80^\circ$  даже при небольших расстояниях от АР параметр  $b_f$  становится большой.

Причина ухудшения фокусировки антенной решётки с ростом направляющего угла  $\alpha$  в монотонном уменьшении её эффективной апертуры  $A_{\text{э}} = A \cos \alpha$  вплоть до нуля при  $\alpha = 90^\circ$ . Поэтому этот сектор между углами  $80^\circ$  и  $90^\circ$  малопригоден при контроле. Стоит определить границу, за которой фокусировка антенной решётки малоэффективна. Критерием может служить примерное равенство фронтального размера фокальной зоны ширине пучка УЗ волн от несфокусированного преобразователя. Согласно фундаментальному правилу, фокусировка возможна только в пределах ближнего поля синфазного (несфокусированного) излучателя, границей является дальность, равная протяженности ближней зоны излучателя. А ширина пучка несфокусированного преобразователя на границе ближней зоны в эхо-режиме по уровню  $-6$  дБ от максимума приблизительно равна четверти апертуры преобразователя.

Поскольку антенная решётка наклонная, то каждому направляющему углу  $\alpha$  соответствует своя апертура  $A_{\text{э}}$  и наклонная дальность  $R_{\text{б}}$ , определяющая границу ближней зоны:

$$R_{\text{б}} \approx \frac{A_{\text{э}}^2}{4 \cdot \lambda}. \quad (3)$$

Поэтому граница ближней зоны антенной решётки тоже зависит от угла  $\alpha$ . И этой границей для конкретной антенной решётки служит одна из кривых на поле графика зависимости фронтального размера фокальной зоны от координат фокуса (рисунок 2-9). Это кривая со значением размера  $b_f$ , равным четверти активной апертуры  $A$  антенной решётки.

В частности, для антенной решётки М9170 граница ближней зоны – это кривая  $b_f = 7$  мм, так как её апертура равна 28 мм. Область графика на рисунке 2-9 внутри этой кривой (левее и ниже) – ближняя зона. Вне этой кривой (правее и выше) – дальняя зона, в которой фокусировка почти отсутствует и далее совсем пропадает, то есть антенная решетка работает как обычный преобразователь.

При реконструкции томограммы фокальная зона решётки последовательно «помещается» в каждую визуализируемую точку пространства ОК в пределах выбранной зоны обзора. Помещается, конечно, виртуально, путем выборок соответствующих отрезков реализаций УЗ колебаний, принятых элементами



антенной решётки, и когерентного суммирования этих отрезков для получения отражающей способности каждой точки материала ОК. Образ отражателя на томограмме формируется как результат наложения образов точечных отражателей (блестящих точек), из которых состоит отражатель. Если его физические размеры меньше длины УЗ волны или соизмеримы с ней, то он представляет собой всего одну блестящую точку. Тогда на томограмме отображается образ фокальной зоны, подобный образу на рисунке 2-10.

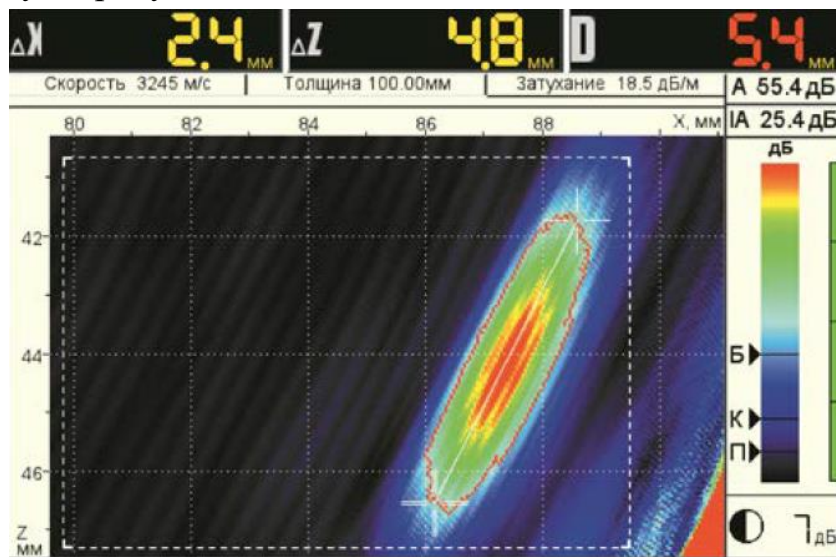


Рисунок 2-10 – Образ точечного отражателя (отверстия с полусферическим дном) на экране прибора. Образ оконтурен по уровню минус 6 дБ от его амплитудного значения

Если отражатель больше нескольких длин волн, то он может содержать несколько блестящих точек, которые дают изображение слившейся группы образов фокальных зон. Поэтому размеры и амплитуда образа отражателя на томограмме зависят от соотношения физических размеров отражателя и размеров фокальной зоны антенной решётки там, где расположен отражатель (рисунок 2-11).

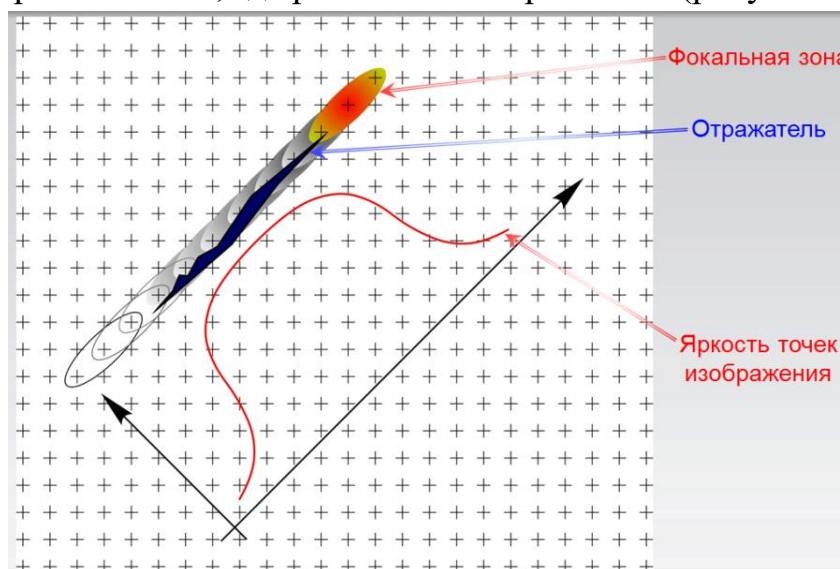


Рисунок 2-11 – Формирование образа отражателя, размер которого больше нескольких длин волн

Эти зависимости можно использовать для решения задач определения типа дефекта – объёмный / плоскостной и измерения физических размеров дефектов. Но в рамках данного документа данные решения не рассматриваются.

## 2.4. Специальные алгоритмы обработки реализаций (режимы реконструкций)

В практике ультразвукового контроля встречаются объекты с плоскопараллельными поверхностями с известным расстоянием между ними, например, поковки, прокат с известной толщиной, сварные соединения с удалёнными валиками усиления. Для них можно использовать специальные алгоритмы реконструкции, которые учитывают отражения от параллельных стенок.

В плоскопараллельном слое материала ультразвуковые волны от элементов антенной решётки распространяются не только по кратчайшим траекториям, но и претерпевают отражения от донной поверхности и поверхности сканирования. На пути к любой точке  $A$  в ОК от каждого элемента антенной решётки таких отражений может быть несколько (рисунок 2-12).

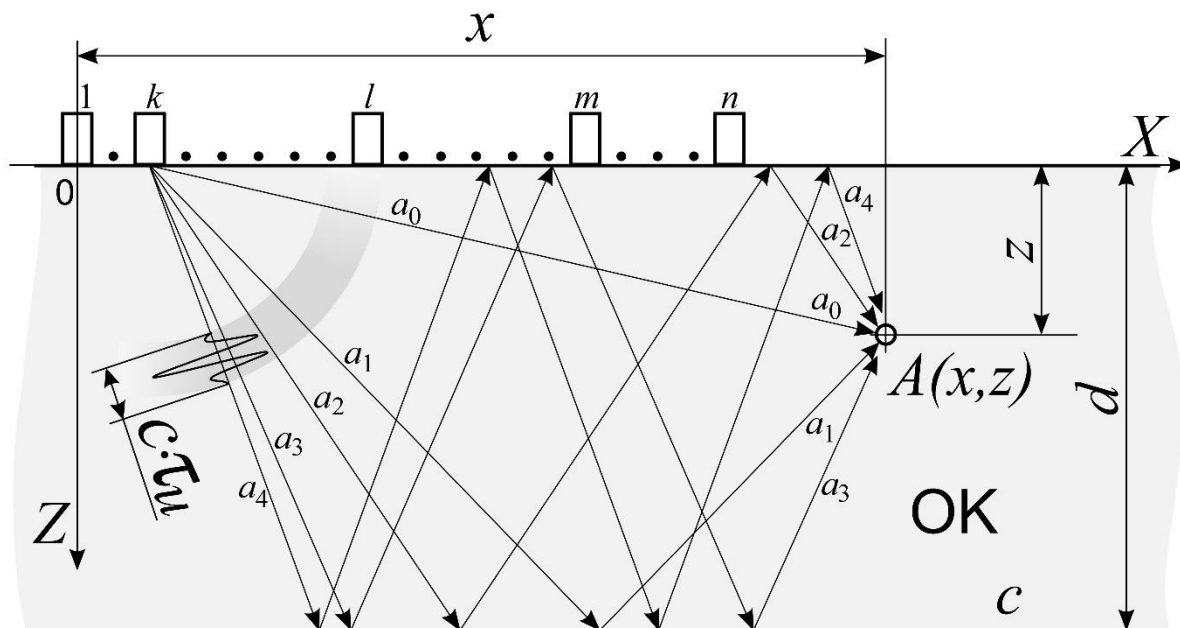


Рисунок 2-12 – Траектории ультразвуковых волн в плоскопараллельном ОК

В режиме ЦФА, благодаря независимому доступу к любому фрагменту каждой реализации, можно при реконструкции изображения выбирать разные группы фрагментов, соответствующие определённым траекториям распространения УЗ сигналов в ОК.

Так, если использовать сигналы с чётным количеством отражений (**чётный алгоритм**) от границ ОК, то в изображении будут присутствовать образы несплошностей, диффузно отражающих УЗ колебания.

Если использовать сигналы с нечётным количеством отражений (**нечётный алгоритм**), то на экране будут прорисованы зеркально отражающие несплошности.

с преимущественно вертикальной ориентацией по нормали к поверхностям ОК (рисунок 2-13).

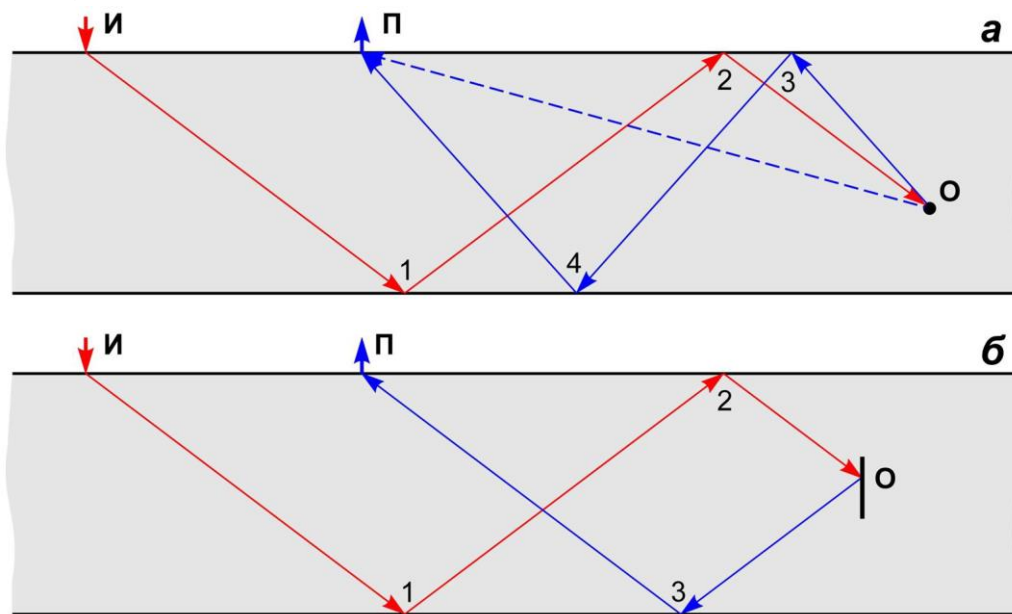




Рисунок 2-13 – Примеры чётной (а) и нечётной (б) траекторий распространения УЗ сигнала от излучающего элемента решётки («И») к приёмному («П»). Цифрами обозначены номера отражений сигнала от границ ОК. «О» – отражатель

Также можно использовать все сигналы, как с чётным, так и с нечётным числом отражений, при этом будет обеспечиваться наилучшая прорисовка поверхностей несплошностей, имеющих сложную форму. Такой алгоритм обработки называется **мульти-алгоритмом**.

Таким образом, меняя алгоритмы обработки реализаций, можно реконструировать изображение одного и того же сечения ОК, выделяя отражатели разного вида. Включив мульти-алгоритм возможно увидеть изображение, которое может повторять реальную поверхность несплошности.

Рассмотрим применение различных алгоритмов обработки реализаций на примере построения изображения БЦО диаметром 6 мм в мере СО-2.

Активация переключения режимов реконструкций в приборе производится клавишей **F3**. Выбор нужного режима осуществляется клавишами  .

На рисунке 2-14 показаны направления хода некоторых пучков ультразвуковой волны до отверстия и их отражение от него.

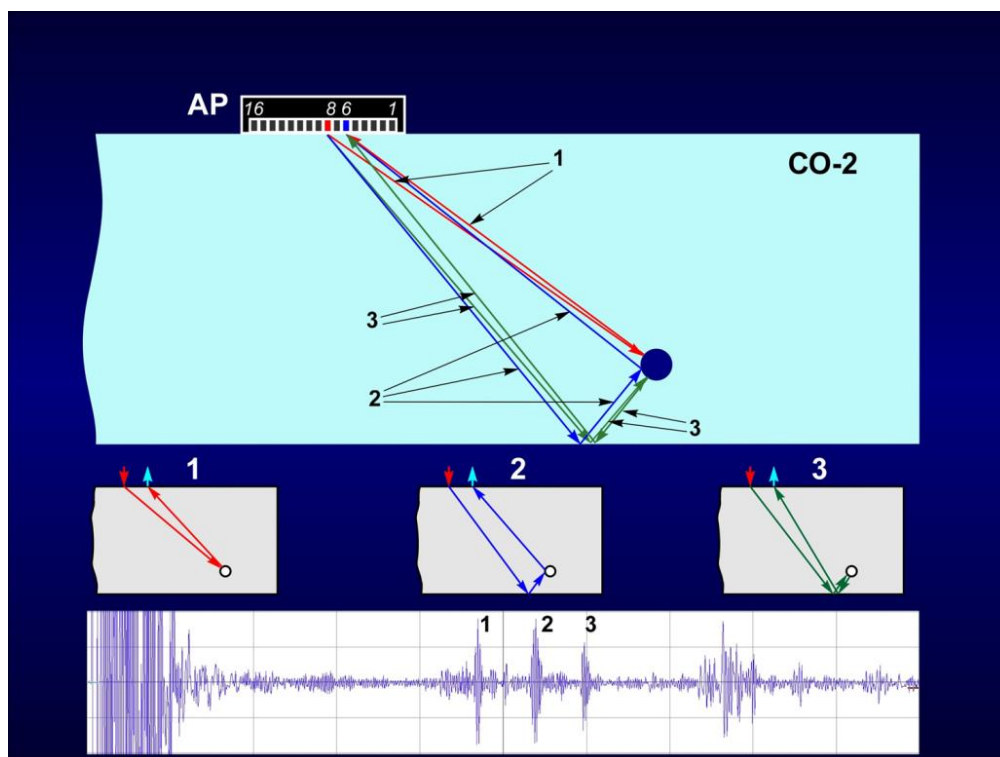
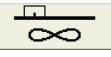


Рисунок 2-14 – Направление некоторых пучков ультразвуковой волны и их отражение от поверхности БЦО

Эхо-сигнал 1 получен пучком, который достиг БЦО без отражений от границ меры СО-2. Визуализация только этого пути возможна с применением обычного алгоритма без учёта отражений  (алгоритм полупространства). Данный алгоритм является тоже чётным алгоритмом. Под образом, полученным по пути 1, наблюдаем образ, полученный по пути 3 (рисунок 2-15).

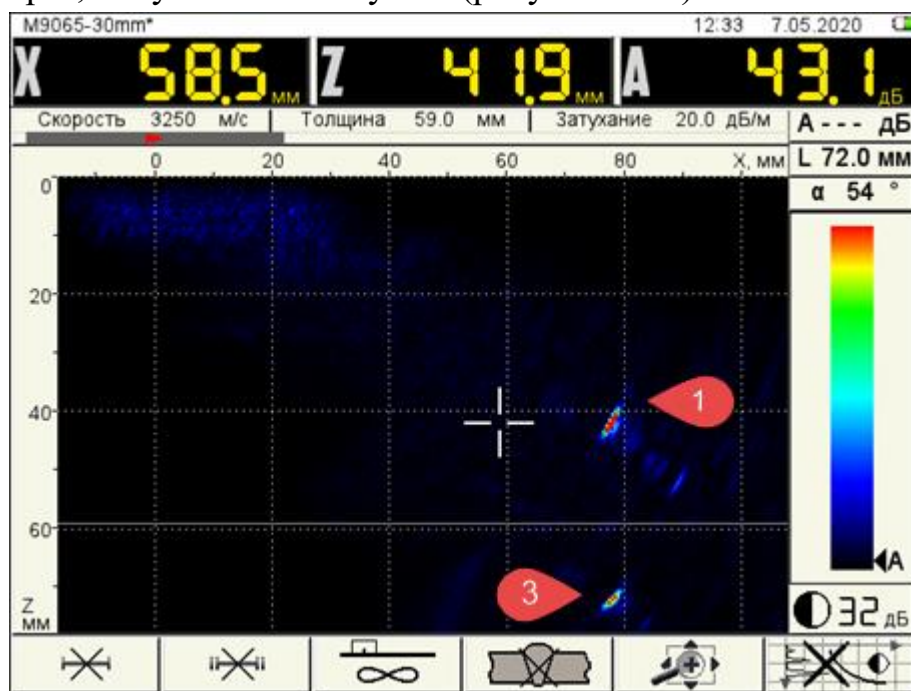


Рисунок 2-15 – Сигнал по траектории 1. Режим полупространство

Эхо-сигнал 3 получен с двумя отражениями от донной границы меры. Визуализация только его возможна с применением алгоритма, который называется «Режим приповерхностных дефектов» и тоже является чётным алгоритмом (рисунок 2-16).

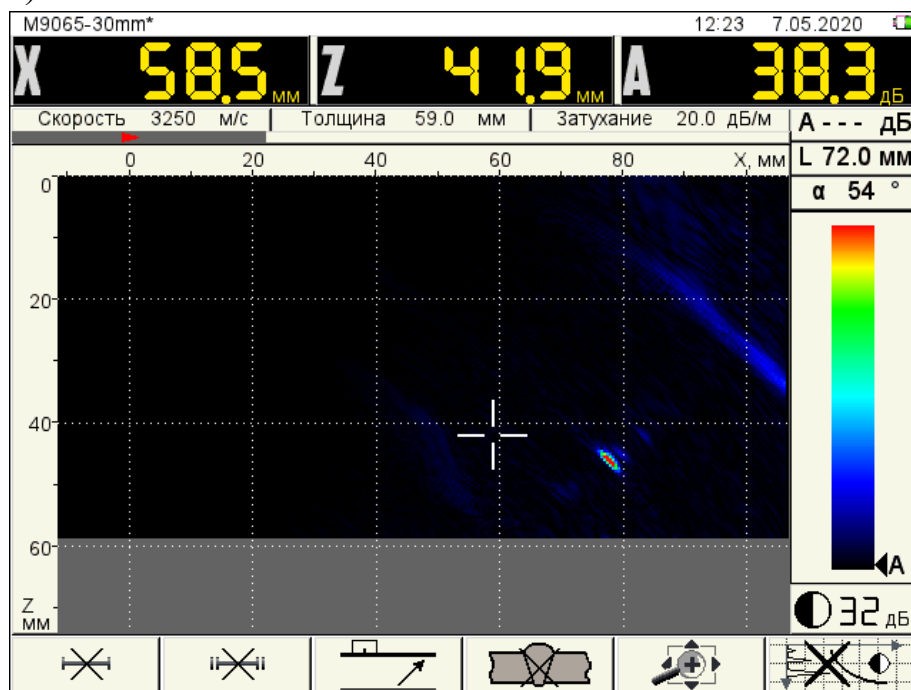


Рисунок 2-16 – Сигналы по траектории 3. Режим приповерхностных дефектов

Если включить «Режим пластины», то мы увидим образы, полученные по пути 1 и пути 3 вместе (рисунок 2-17).

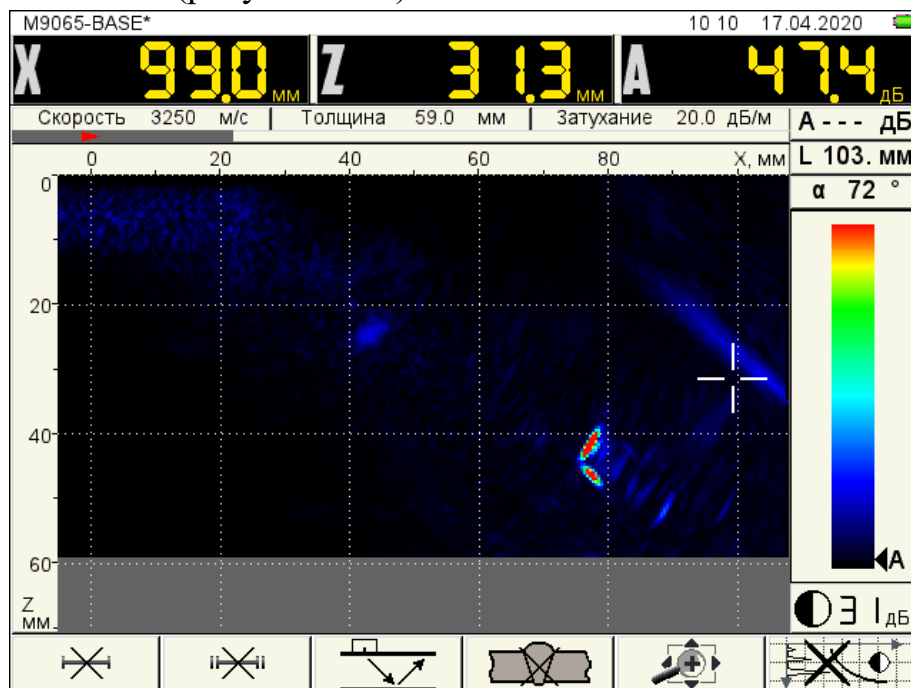


Рисунок 2-17 – Сигналы по траекториям 1 и 3. Режим пластины. Чётный алгоритм



Эхо-сигнал 2 получен с одним отражением от донной границы образца, визуализация его возможна только с применением нечётного алгоритма, который называется «Режим вертикальных трещин» (рисунок 2-18).

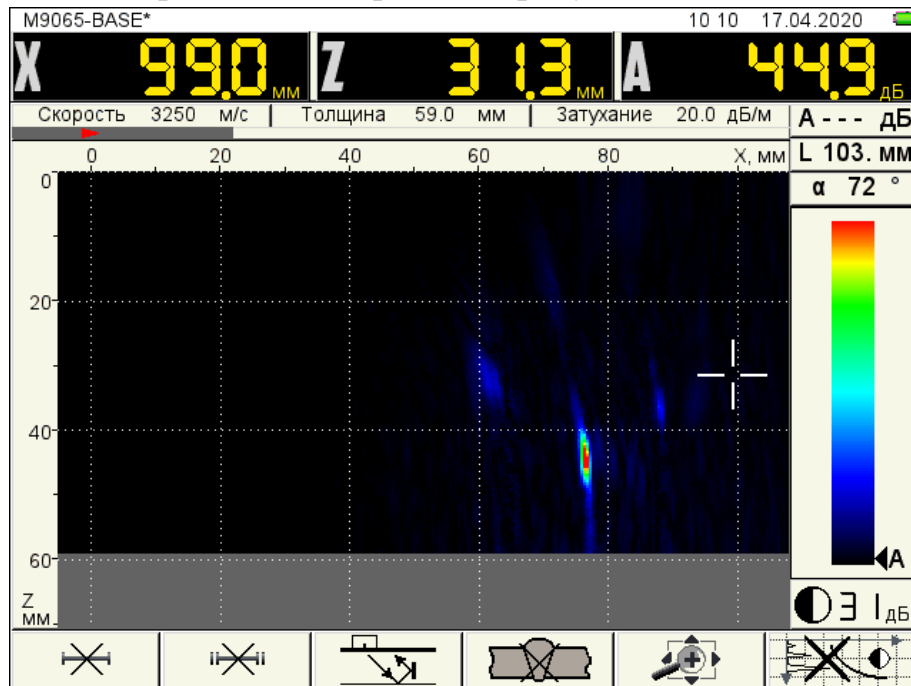


Рисунок 2-18 – Сигналы по траектории 2. Нечётный алгоритм

Если включить мульти-алгоритм (режим нескольких алгоритмов), то на экране дефектоскопа получим изображение по всем трём путям (рисунок 2-19). Оно очень похоже на реальную поверхность отверстия.

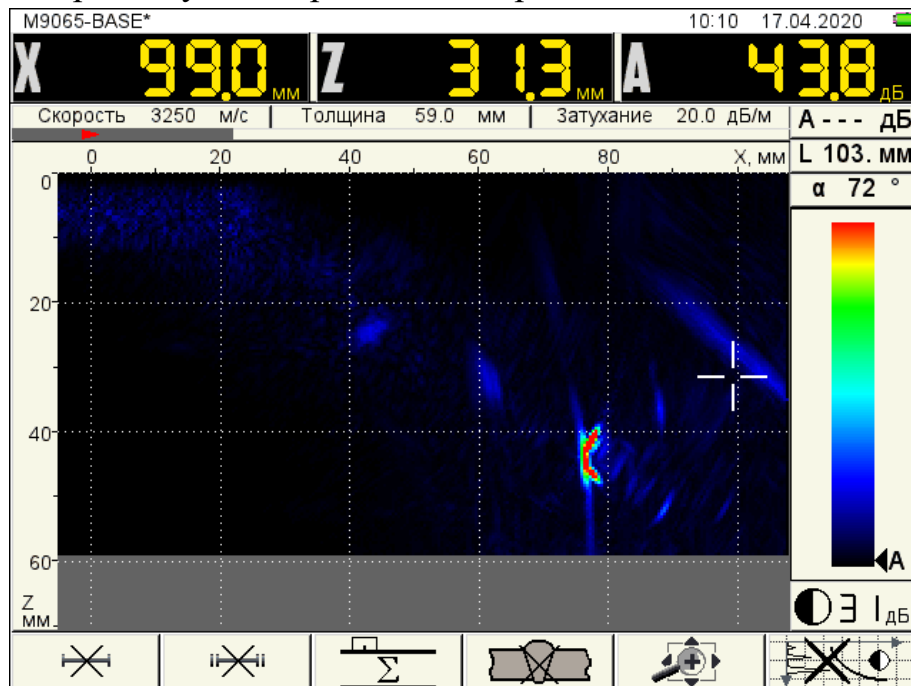



Рисунок 2-19 – Сигналы по траекториям 1, 2, 3. Мульти-алгоритм


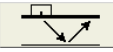

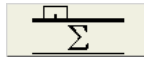
Показанные выше изображения получены при установленном в параметре «Макс. число отражений SAFT» значении «3». Данный параметр находится на <https://a3-eng.com/>

второй странице режима НАСТРОЙКА и определяет количество отражений от поверхностей, которое будет участвовать в реконструкции изображения.

Фактическое число отражений ультразвуковых сигналов от донной и верхней границ ОК на траектории от АР к визуализируемому отражателю и обратно к АР приведено в таблице 1.

**Таблица 1**

Число отражений SAFT	Алгоритм реконструкции изображений				
					
2	2	2	—	1	2
3	2	2	—	3	3
4	4	4	—	3	4
5	4	4	—	5	5
6	6	6	—	5	6
7	6	6	—	7	7

В нашем случае, при установленном по умолчанию значении параметра «Макс. число отражений SAFT» – «3» при выборе режимов реконструкции ,  в реконструкции принимают участие сигналы, которые претерпели два отражения от поверхностей (чётный алгоритм), при выборе режима  анализируются сигналы до трёх отражений (нечётный алгоритм), при выборе  анализируются и чётный и нечётный алгоритм.

### 3. ВЫБОР АНТЕННОЙ РЕШЁТКИ

Дефектоскопы рассчитаны на работу совместно с 16-элементными линейными антенными решётками продольных и поперечных УЗ волн.

Основные свойства АР, серийно выпускаемых к данным дефектоскопам:

– **M9060** – решётка продольных УЗ волн с нормальным вводом УЗ колебаний (по нормали к поверхности ОК), активная апертура 40 мм, пассивная апертура 10 мм, номинальная частота 4 МГц, шаг элементов 2,5 мм;

– **M9171** – решётка продольных УЗ волн с нормальным вводом УЗ колебаний, активная апертура 28 мм, пассивная апертура 10 мм, номинальная частота 4 МГц, шаг элементов 1,75 мм;

– **M9174** – решётка поперечных УЗ волн с наклонным вводом УЗ колебаний, активная апертура 20 мм, пассивная апертура 6 мм, номинальная частота 7,5 МГц, шаг элементов 1,25 мм;

– **M9170** – решётка поперечных УЗ волн с наклонным вводом УЗ колебаний, активная апертура 28 мм, пассивная апертура 10 мм, номинальная частота 4 МГц, шаг элементов 1,75 мм;

– **M9065** – решётка поперечных УЗ волн с наклонным вводом УЗ колебаний, активная апертура 40 мм, пассивная апертура 10 мм, номинальная частота 4 МГц, шаг элементов 2,5 мм;

– **M9055** – решётка поперечных УЗ волн с наклонным вводом УЗ колебаний, активная апертура 40 мм, пассивная апертура 10 мм, номинальная частота 2,5 МГц, шаг элементов 2,5 мм.

Наряду с представленными АР совместно с прибором могут поставляться решётки с другой рабочей частотой, с криволинейными (притёртыми) рабочими поверхностями, а также специализированные решётки релеевских волн и двухмодовые, т. е. решётки с наклонным вводом одновременно продольных и поперечных УЗ волн.

Из списка основных антенных решёток видно, что две решётки с большой активной апертурой (40 мм) и две с малой апертурой (28 мм). Причём одна из каждой пар – с нормальным вводом продольных УЗ волн (назовём её кратко «прямая»), а другая – с наклонным вводом поперечных волн («наклонная»).

Выбор между решётками с нормальным и наклонным вводом УЗ волн аналогичен выбору между прямыми и наклонными УЗ преобразователями.

Для контроля можно использовать любую решётку, в зависимости от того, какой тип или вид несплошностей ожидается в контролируемом объекте. Горизонтальные расслоения и им подобные несплошности лучше выявляются решёткой с нормальным вводом УЗ колебаний. Вертикально и наклонно



расположенные трещины и малые объёмные включения или поры лучше искать решёткой с наклонным вводом поперечных УЗ волн.

Для контроля сварных соединений с валиком усиления шва следует использовать решётки с наклонным вводом УЗ колебаний.


Варианты использования АР в зависимости от толщины ОК:

- М9060, прямая – от 20 до 270 мм;
- М9171, прямая – от 15 до 150 мм;
- М9174, наклонная – от 4 до 10 мм;
- М9170, наклонная – от 8 до 50 мм;
- М9065, наклонная – от 30 до 70 мм;
- М9055, наклонная – от 40 до 100 мм.

Варианты имеют рекомендательный характер, выбор АР зависит от толщины и акустических свойств конкретного материала. Антенные решётки с апертурой 40 мм следует использовать для контроля изделий с относительно большими толщинами – более 30 мм. Эти решётки обеспечивают высокое качество изображений в широком диапазоне глубин. Для изделий с меньшими толщинами лучше использовать решётки с апертурой 28 мм, т. к. в них элементы расположены ближе друг к другу, вследствие чего качество изображений на малых глубинах (менее 20 – 30 мм) получается выше. Кроме того, решётки с меньшей апертурой менее требовательны к неровностям и кривизне поверхности ввода.

Условия использования АР с плоской контактной поверхностью на криволинейных объектах такие же, как и у классических преобразователей и определяются руководящим документом на контроль.

## 4. МЕНЮ НАСТРОЙКИ ТОМОГРАФА

Меню настройки появляется на экране при входе в режим НАСТРОЙКА по нажатию клавиши . Меню состоит из нескольких страниц (закладок), открыть которые можно в произвольном порядке с помощью функциональных клавиш **F1 ... F6**. Пиктограммы на экране в режиме НАСТРОЙКА отображают физическую суть той группы настраиваемых параметров, страница которой открывается соответствующей функциональной клавишей (рисунок 4-1).

Структура, содержание и назначение страниц режима НАСТРОЙКА:

- **F1** – главная страница настройки, с помощью которой оператор устанавливает все главные параметры контроля и задаёт способ оценки обнаруживаемых дефектов. Т. е. здесь он создаёт конфигурацию параметров под определённый ОК и запоминает её под уникальным именем, чтобы затем пользоваться этой настройкой, выбрав её по имени;

- **F2** – страница используемых антенных решёток. На этой странице можно просмотреть и отредактировать все основные параметры каждой из решёток для рационального выбора для конкретной ситуации УЗ контроля;

- **F3** – страница установки рабочего усиления в приёмном тракте прибора, просмотра аналоговых сигналов от любой пары элементов антенной решётки и установки параметров аналоговой ВРЧ;



- **F4** – страница со списком геометрических параметров сварного шва. На этой странице можно создать схему сварного соединения любого вида, пользуясь его чертежом. Затем при контроле эту схему можно вывести на экран, что упростит анализ расположения найденных в соединении несплошностей;

- **F5** – здесь страница отсутствует. Эта клавиша в режиме настройки основного рабочего режима ТОМОГРАФ резервная. В режиме СКАНЕР на этой странице представлены параметры сканирования;

- **F6** – страница системных настроек.

### 4.1. Главная страница настройки (F1)

На рисунке 4-1 представлена главная страница настройки прибора.

При входе в главную страницу настройки из любого состояния прибора в ней может быть активной либо левая колонка с именами конфигураций, либо две другие колонки. Активная часть страницы – на светлом фоне. Выбор активной части страницы производится с помощью клавиш  .

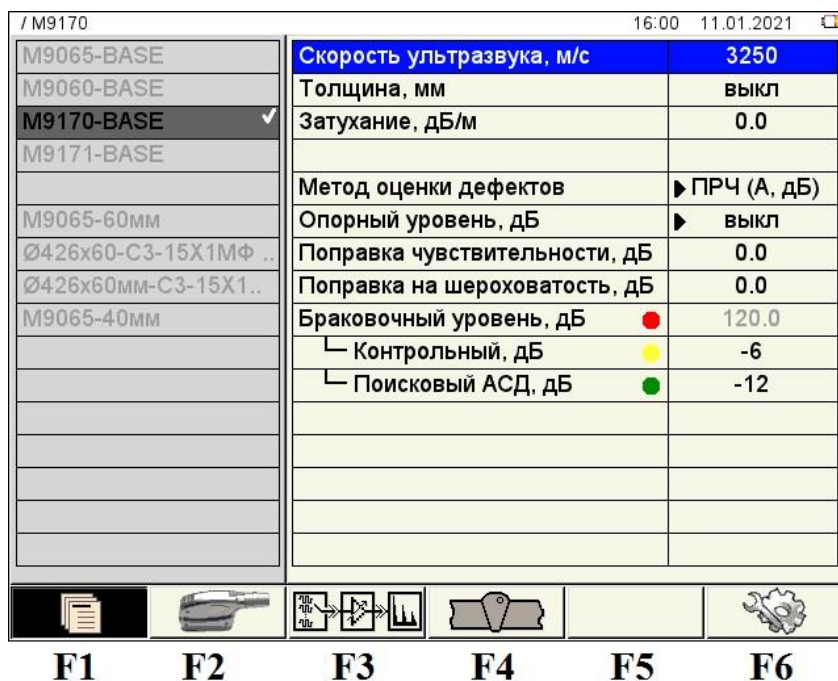


Рисунок 4-1 – Главная страница режима НАСТРОЙКА


На данной странице присутствуют следующие параметры выбранной активной конфигурации:

– **Скорость ультразвука, м/с** – скорость распространения в материале изделия того типа волн, которые излучает и принимает используемая антенная решётка;


– **Толщина, мм** – толщина объекта контроля. Нужна для установки маски сварного шва и (или) когда предполагается использовать алгоритмы реконструкции томограмм, в которых обрабатываются эхосигналы, отражённые от донной поверхности ОК;

– **Затухание, дБ/м** – установка коэффициента затухания в материале, как правило, используется совместно с параметром «Компенсация расхождения лучей» для настройки чувствительности;

– **Метод оценки дефектов. ► ПРЧ (А, дБ)** – пространственная регулировка чувствительности, которая используется при линейном сканировании вдоль сварного соединения.

При нажатии клавиши  прибор входит в режим настройки пространственной регулировки чувствительности, которая позволяет провести выравнивание сигналов в зоне контроле (зоне первого строга). Как правило, настраивается по боковым цилиндрическим отверстиям, на толщинах до 20 мм может настраиваться по зарубкам.

– **Опорный уровень. ► дБ** – амплитуда эхо-сигнала от установленного контрольного отражателя.

При нажатии клавиши  прибор входит в режим настройки и сохранения опорного уровня;

– **Поправка чувствительности, дБ** – смещение браковочного уровня относительно опорного уровня. Значение поправки берется из нормативной документации или рассчитывается вручную;

– **Поправка на шероховатость, дБ** – смещение браковочного уровня относительно опорного уровня. Поправка учитывает разницу в шероховатости и волнистости поверхности между настроечным образцом и объектом контроля;

– **Браковочный, дБ** – уровень чувствительности, относительно которого оценивают обнаруженные несплошности по шкале «годен – брак». Он является вычисляемым и равен сумме децибелов опорного уровня и поправок чувствительности. Его значение индицируется серым цветом;

– **Контрольный, дБ (уровень фиксации)** – уровень чувствительности, при котором происходит регистрация несплошностей и оценка их допустимости по условным размерам и количеству;

– **Поисковый АСД, дБ** – поисковый уровень чувствительности и уровень срабатывания системы АСД (автоматической сигнализации дефектов). При ручном контроле по достижении этого уровня сканирование по регламентированной схеме заменяется сканированием для нахождения максимального сигнала от обнаруженной несплошности.

#### 4.2. Страница используемых антенных решёток (F2)

На этой странице, представленной на рисунке 4-2, как и на предыдущей (F1), три колонки:

– **слева** – список имён антенных решёток, серым цветом показываются АР, которые не могут быть использованы в данной конфигурации;

– **в центре** – список параметров той антенной решётки, имя которой выделено, например, М9170. Значок «✓» около имени решётки означает, что данная решётка используется в задействованной в настоящий момент конфигурации параметров контроля;

– **справа** – значения параметров выделенной антенной решётки.

/ M9170	16:00	11.01.2021
M9065	<b>Антенная решётка</b>	<b>M9170</b>
M9060	Тип решётки	наклонная
<b>M9170</b> ✓	Рабочая частота, МГц	4.0
M9171	Импульс возбуждения, периоды	1.0
	Шаг, мм	1.75
M9055	Задержка, мкс	1.5
M9055-11	Стрела, мм	15.5
M9055-85		
M9065-40	Нижняя граница обзора, °	30
	Верхняя граница обзора, °	80
	Угловая коррекция	выкл
	Компенсация расхождения лучей	выкл
	Макс. число отражений SAFT	3
	Ноль оси X	фронт AP

### Рисунок 4-2 – Страница антенных решёток

Параметры AP, представленные на данной странице:

– **Антенная решётка** – наименование АР. Параметр не доступен для редактирования. Устанавливается на основании АР, выбранной для текущей конфигурации;

– **Тип решётки** – параметр не доступен для редактирования. Характеризует преимущественное направление распространения рабочего типа УЗ волн и тип рабочей волны. Для контроля используются решётки следующих типов:

**наклонная** – решётка с наклонным вводом поперечных УЗ волн;

**прямая** – решётка с вводом продольных УЗ волн по нормали к поверхности объекта контроля;

– **Рабочая частота, МГц** – частота, соответствующая максимальной амплитуде спектра акустического сигнала, излученного и (или) принятого АР, так как элементы АР являются широкополосными, рабочую частоту можно изменять. Например, при контроле больших толщин или материала с большим затуханием можно понизить частоту, что может привести к улучшению отношения сигнал / шум;

– **Импульс возбуждения, периоды** – форма зондирующего импульса для возбуждения элементов АР, выраженная в количестве периодов меандра. Увеличение количества периодов приводит к увеличению интенсивности ультразвуковой волны, но при этом длительность всех сигналов возрастает, что приводит к увеличению лучевого размера фокальной зоны;

– **Шаг, мм** – расстояние между центрами элементов антенной решётки в направлении её активной апертуры. Параметр доступен для редактирования при включении специального «Экспертного режима»;

– **Задержка, мкс** – общее время задержки акустического сигнала при его прохождении через детали конструкции антенной решётки при излучении и приёме. Этими деталями являются призма элемента наклонной решётки или протектор прямой решётки. У решётки с плоской рабочей поверхностью времена задержки акустического сигнала всех элементов равны. У решётки с притёртой рабочей поверхностью (под гиб или стык) параметр «Задержка» характеризует среднее время задержки сигнала в деталях конструкции элементов антенной решётки, задержка не калибруется и не изменяется в процессе работы АР, значение берётся из паспорта АР;

– **Стрела, мм** – расстояние от центра активной апертуры антенной решётки до передней грани её корпуса;

– **Нижняя граница обзора, °** – (для наклонных АР). Определяет нижнюю границу сектора обзора АР. Увеличение значения относительно установленного по умолчанию  $30^\circ$  не имеет практического смысла, уменьшение значения приводит к визуализации сигналов продольной волны и появления шумов в области малых углов;

– **Верхняя граница обзора, °** – (для наклонных АР). Определяет верхнюю границу сектора обзора АР. Увеличение значения относительно значения  $80^\circ$ , установленного по умолчанию, до значения  $85^\circ$  может улучшить отображение образов на больших углах озвучивания, уменьшение значения практического смысла не имеет;

– **Границы обзора  $\pm$ , °** – (для прямых АР). Определяет правую и левую границу сектора обзора. Рекомендуется использовать значение, установленное по умолчанию;

– **Угловая коррекция** – автоматическая функция выравнивания амплитуды сигналов на разных углах прозвучивания. Эта функция аналогична регулировке усиления по углу (ACG) для фазированных АР. Разница заключается в том, что функция ACG строится для БЦО, а угловая коррекция для ПДО. Режимы ручной настройки нет;

– **Компенсация расхождения лучей** (автоматическая ВРЧ) – автоматическая функция компенсации уменьшения амплитуды эхо-сигналов из-за расхождения ультразвукового пучка от источника ультразвука. Данная функция не учитывает затухание в материале объекта контроля и поэтому используется вместе с параметром «Затухание, дБ/м».



– **Максимальное число отражений SAFT** – требуется при работе с режимами реконструкции, которые учитывают отражения от плоских и параллельных границ ОК. Задается значение от 1 до 7. С увеличением значения количество путей ультразвуковой волны, которые принимают участие в построении изображения увеличивается, что приводит к дополнительной информации об реконструированном образе, но это приводит к замедлению скорости работы прибора. Для толщин до 10 мм рекомендуется устанавливать значение от 5 до 7, для больших толщин достаточно значения 3.

– **Ноль оси X** – для прямых АР по умолчанию установлено значение «Середина АР», для наклонных АР по умолчанию установлено значение «Фронт АР», что делает удобным измерение координаты  $X$  путём прикладывания линейки к фронту АР.

### 4.3. Страница установки рабочего усиления, просмотра А-Сканов и установки аналоговой ВРЧ (F3)

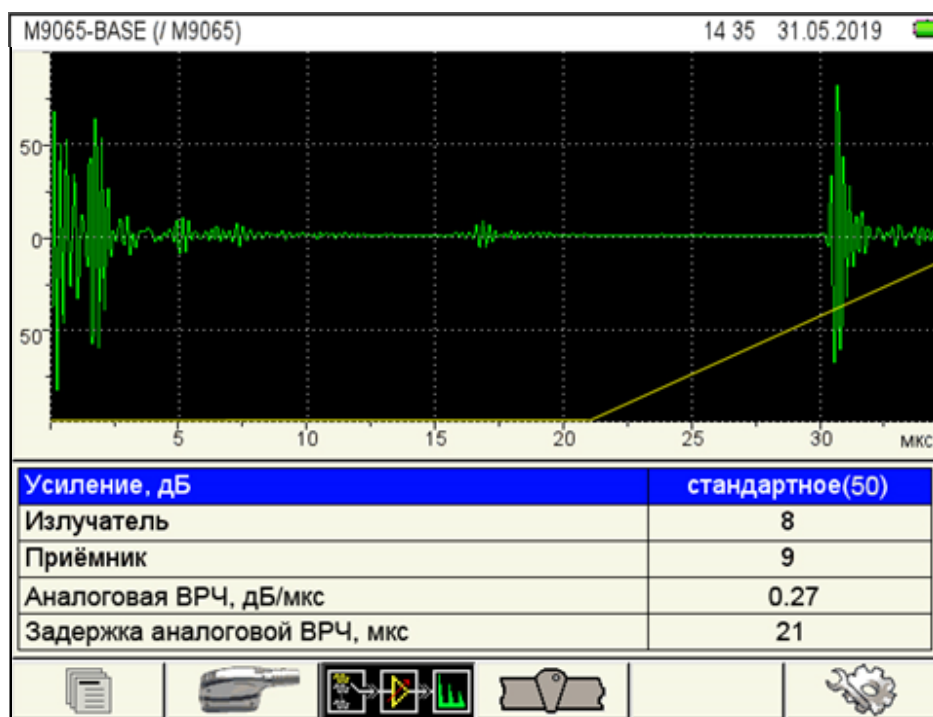


Рисунок 4-3 – Страница установки усиления, А-Сканов, аналоговой ВРЧ

– **Усиление, дБ** – процедура установки рабочего усиления заключается в определении оптимального значения для того, чтобы в рабочем режиме на экране прибора было оптимальное соотношение яркости интересующих нас отражателей и минимальной яркости шума. Если полезные сигналы на А-Сканах будут выходить за пределы 100 % шкалы амплитуд, амплитуда сигналов будет измеряться с дополнительной погрешностью. Данная процедура будет подробно рассмотрена на конкретных примерах. Усиление не влияет на настройку чувствительности и его можно менять в процессе контроля;

- **Излучатель** – номер элемента излучателя АР, А-Скан которого выводится на экран прибора;
- **Приёмник** – номер элемента приёмника АР, А-Скан которого выводится на экран прибора;
- **Аналоговая ВРЧ, дБ/мкс** (ручная ВРЧ – аналог функции TCG) – значение характеристики ВРЧ, которое следует установить для выравнивания амплитуд сигналов на разном расстоянии от АР;
- **Задержка аналоговой ВРЧ, мкс** – начало ВРЧ, которое устанавливается как правило по эхо-сигналу от ближнего отражателя.

#### 4.4. Приёмы выравнивания чувствительности в режиме ТОМОГРАФ

Одна из основных задач при настройке ультразвукового контроля это выравнивание чувствительности в зоне контроля. В приборе это можно сделать различными способами.

Для этих целей в приборе в режиме НАСТРОЙКА есть следующие параметры:

На первой странице – «Затухание» и «ПРЧ».

На второй странице – «Угловая коррекция» и «Компенсация расхождения лучей».

На третьей странице – «Аналоговая ВРЧ».

При контроле сварных соединений рекомендуются следующие варианты использования этих параметров:

##### 1) Растровое сканирование (поперечно-продольное)

- Вариант 1 (ручной) – настроить аналоговую ВРЧ на настроенном образце.
- Вариант 2 (автоматический) – включить параметр «Компенсация расхождения лучей», установить параметр «Затухание» и проверить чувствительность на настроенном образце.

*Можно дополнительно включить параметр «Угловая коррекция». Однако использование данного параметра часто приводит к увеличению шумов и возникновению фантомных образов на малых и больших углах озвучивания, поэтому нужно использовать его с осторожностью.*

##### 2) Линейное сканирование, механизированный контроль

- Вариант 3 – проводится настройка ПРЧ на образце с боковыми цилиндрическими сверлениями. Настройку ПРЧ можно накладывать на сделанную настройку по варианту 1 или 2 для растрового сканирования.



## 5. ПРОВЕДЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ НАКЛОННЫМИ АНТЕННЫМИ РЕШЁТКАМИ M9170, M9065, M9055

Данные АР предназначены для контроля изделий поперечными волнами. Рассмотрим проведение контроля на конкретных примерах.

### 5.1. Пример № 1 АР M9170, толщина 30 мм

Приёмочный контроль сварных соединений металлоконструкций:

- материал сталь С345;
- стыковое сварное соединение С17 по ГОСТ 5264-80;
- толщина 30 мм;
- ширина верхнего валика 38 мм;
- угол разделки 25°;
- оценка качества по СП 70.13330.2012 с Изменениями 1, 3 «Свод правил.

Несущие и ограждающие конструкции»;

- браковочная эквивалентная площадь  $S = 7 \text{ мм}^2$ ;
- допустимая протяжённость дефекта – не более 20 мм;
- допустимое число одиночных дефектов – 3 на оценочном участке 30 мм, таблица 10.10 [23].

- калибровочные образцы – мера СО-3 или калибровочный образец V2/25;
- настроечный образец – образец UCB 007 с боковыми цилиндрическими сверлениями диаметром 3 мм и плоскодонным отверстием диаметром 3 мм на глубине 60 мм, угол 50°. Сталь 20. Шероховатость Ra2,5.

Контроль данного сварного соединения можно проводить АР M9065 и M9170. Выберем M9170.

В зоне сканирования удалены брызги сварки, поверхность зачищена лепестковым кругом, шероховатость поверхности соответствует Rz 20-40. На сварном шве нет чётко выраженного обратного валика, поэтому мешать он не будет, принимаем решение проводить сканирование классическим методом, а именно, поперечно-продольным перемещением АР (растровый метод) с поворотом её на 10°–15°.

#### 5.1.1. Калибровка задержки антенной решётки и скорости ультразвука на мере СО-3

Установить АР M9170 на меру СО-3.

В приборе на третьей странице режима НАСТРОЙКА (F3) установить:

- Излучатель – 8;
- Приёмник – 9.

Перемещая АР, найти максимум сигнала от цилиндрической поверхности и установить параметр «Усиление» таким образом, чтобы сигнал не уходил в ограничение (был в пределах экрана) (рисунок 5-1).

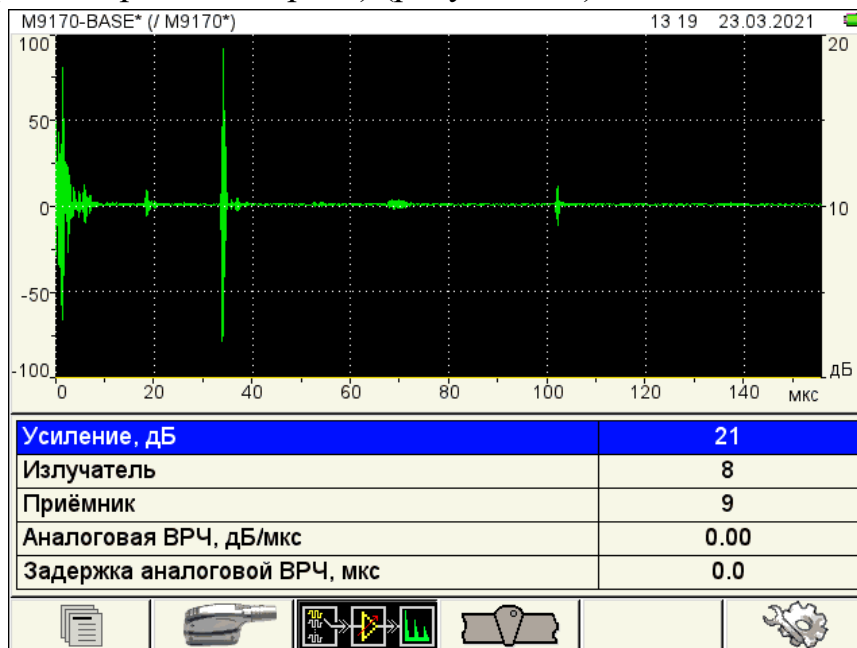


Рисунок 5-1 – Сигнал на СО-3 на паре 8-9. Усиление 21 дБ

Рассмотрим случай, когда скорость ультразвука в мере СО-3 неизвестна.

Аккуратно, не перемещая АР, перейти в рабочий режим и установить масштаб изображения так, чтобы видеть два изображения цилиндрической поверхности образца.

Первое изображение поместить в первый строб. В параметре  $L$  (путь по лучу) наблюдаем значение 55,3 мм (рисунок 5-2).

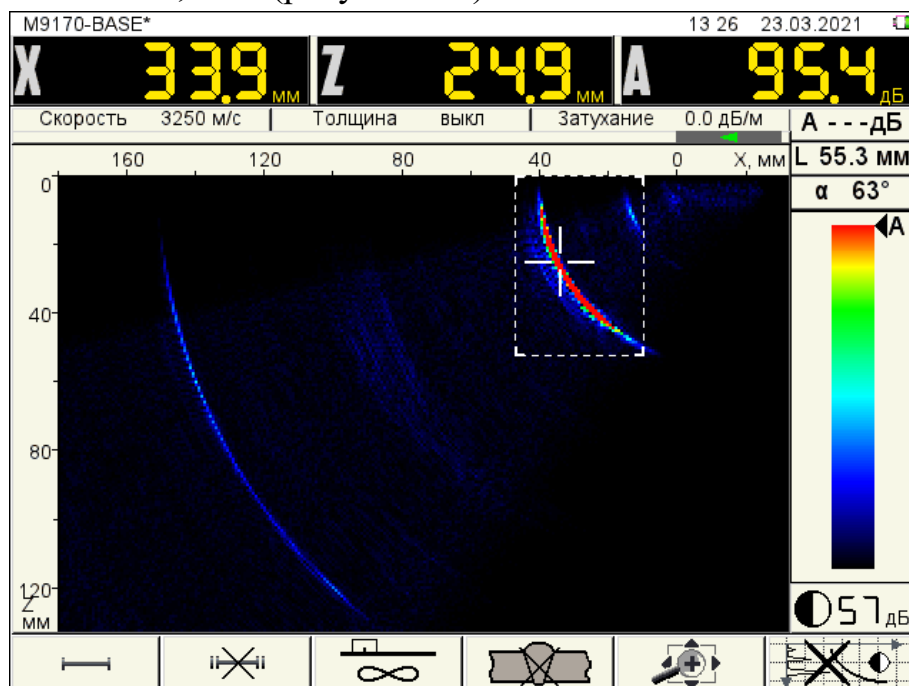


Рисунок 5-2 – Включён первый строб. Путь по лучу  $L_1 = 55,3$  мм

Включить второй строб и поместить в него второй образ цилиндра (рисунок 5-3). Путь по лучу  $L_2 = 166,0$  мм.

*Когда включены два строба, второй всегда имеет приоритет и измерения сигналов проводятся в нём. Для того, чтобы измерения проводились в первом стробе, второй строб следует отключить.*

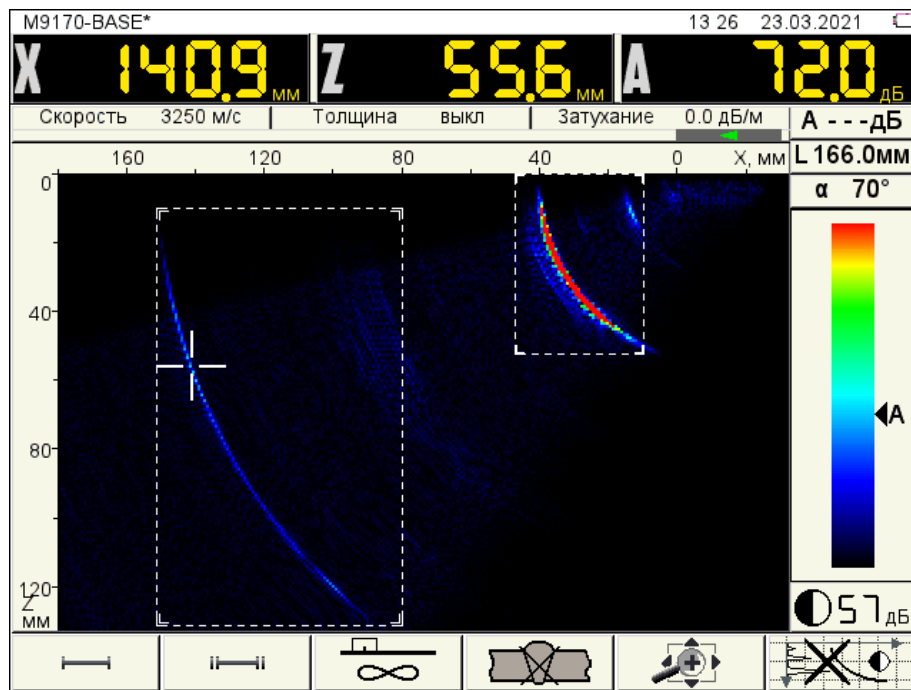


Рисунок 5-3 – Включён второй строб. Путь по лучу  $L_2 = 166,0$  мм

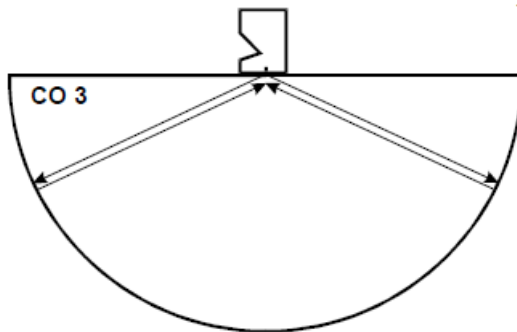


Рисунок 5-4 – Путь ультразвукового луча при формировании первого и второго образа цилиндрической поверхности

Вычислить разницу

$$L_3 = \frac{L_2 - L_1}{2} = \frac{166,0 - 55,3}{2} = 55,35 \text{ мм}$$

Выключить второй строб на второй странице режима НАСТРОЙКА (F2).

Установить в параметре «Задержка» такое значение, при котором путь  $L_1$  (первый образ) будет равен  $L_3$ , т. е. 55,35 мм. Но они равны изначально, изменение параметра «Задержка» приводит к значениям отличным от рассчитанного, поэтому

установленное по умолчанию значение параметра «Задержка» равно 1,5 мкс, верно.

Изменить параметр «Скорость» до такого значения, при котором  $L_1$  будет равно 55,0 мм (рисунок 5-5), а  $L_2 = 165,0$  мм (рисунок 5-6). Правильное значение скорости  $c = 3230$  м/с.

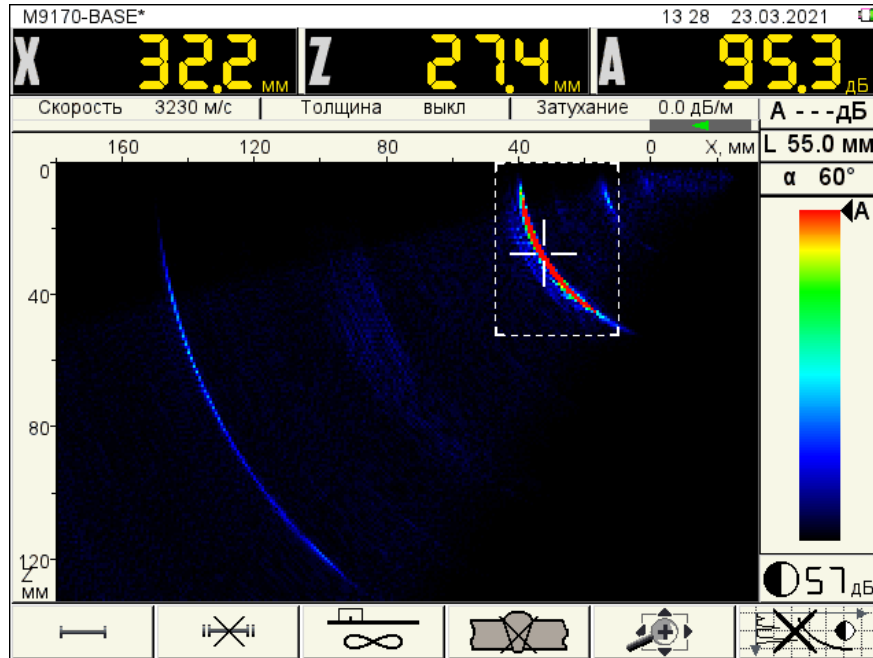


Рисунок 5-5 – Путь  $L_1 = 55.0$  при правильной задержке 1,5 мкс и правильной скорости  $c = 3230$  м/с

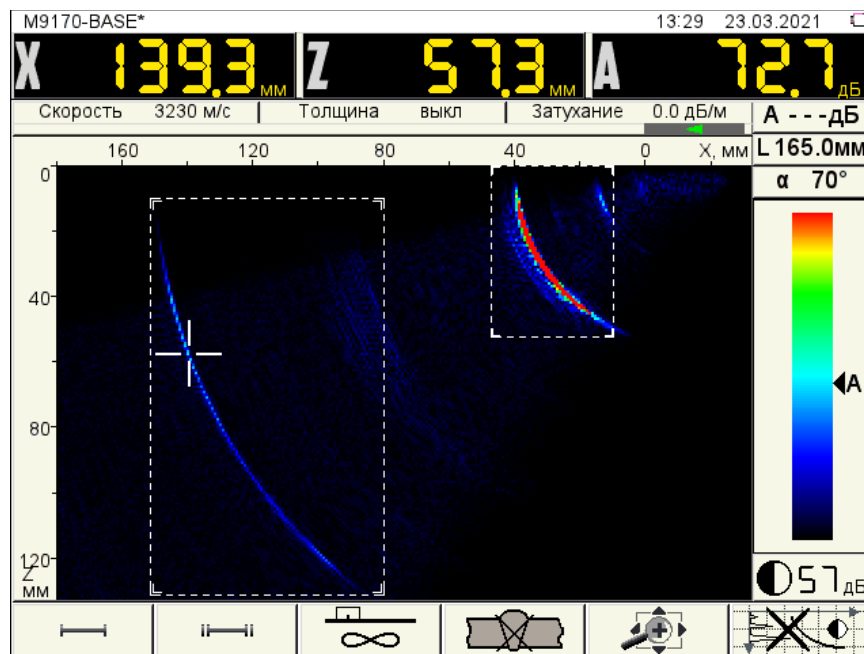


Рисунок 5-6– Путь  $L_2 = 165,0$  мм при правильной задержке 1,5 мкс и правильной скорости  $c = 3230$  м/с

Калибровка задержки AP и скорости ультразвука завершена.

### 5.1.2. Калибровка задержки антенной решётки и скорости ультразвука по калибровочному образцу V2/25

Установить АР М9170 на калибровочный образец V2/25.

Направить АР на цилиндр диаметром 50 мм.

В приборе на третьей странице режима НАСТРОЙКА (F3) установить:

– Излучатель – 8;

– Приёмник – 9.

Перемещая АР, найти максимум сигнала от цилиндрической поверхности и установить параметр «Усиление» таким образом, чтобы сигнал не уходил в ограничение (был в пределах экрана) (рисунок 5-7).

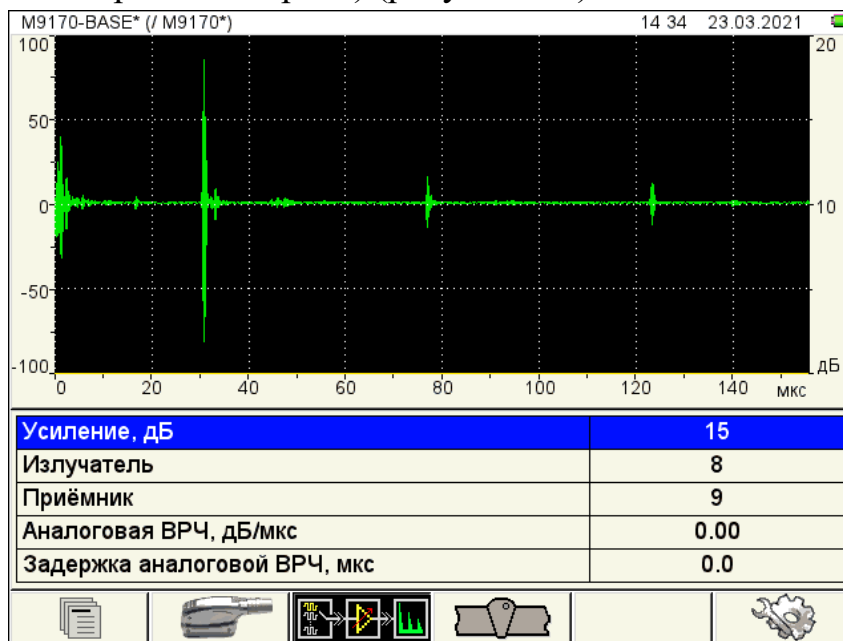


Рисунок 5-7 – Сигнал на V2/25 на паре 8-9. Усиление 15 дБ

Рассмотрим случай, когда скорость ультразвука в образце V2/25 неизвестна.

Аккуратно, не перемещая АР, перейти в рабочий режим и установить масштаб изображения так, чтобы видеть два изображения цилиндрической поверхности образца.

Первое изображение поместить в первый строб. В параметре  $L$  (путь по лучу) наблюдаем значение 50,2 мм (рисунок 5-8).

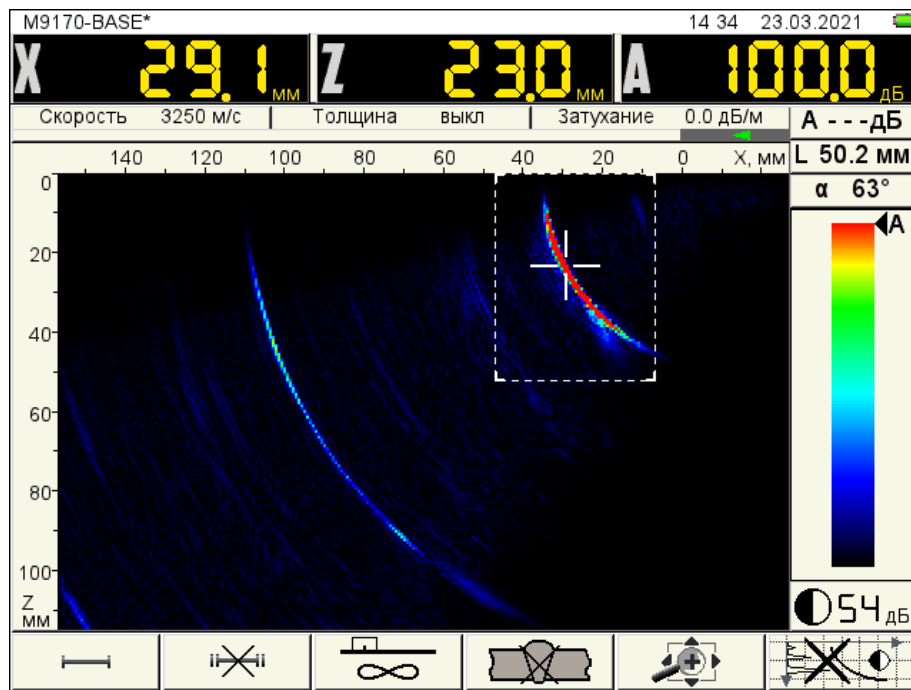


Рисунок 5-8 – Путь по лучу  $L_1 = 50,2$  мм

Включить второй строб и поместить в него второй образ цилиндра (рисунок 5-9).

Когда включены два строба, второй всегда имеет приоритет и измерения сигналов проводятся в нём. Для того чтобы измерения проводились в первом стробе, второй строб следует отключить.

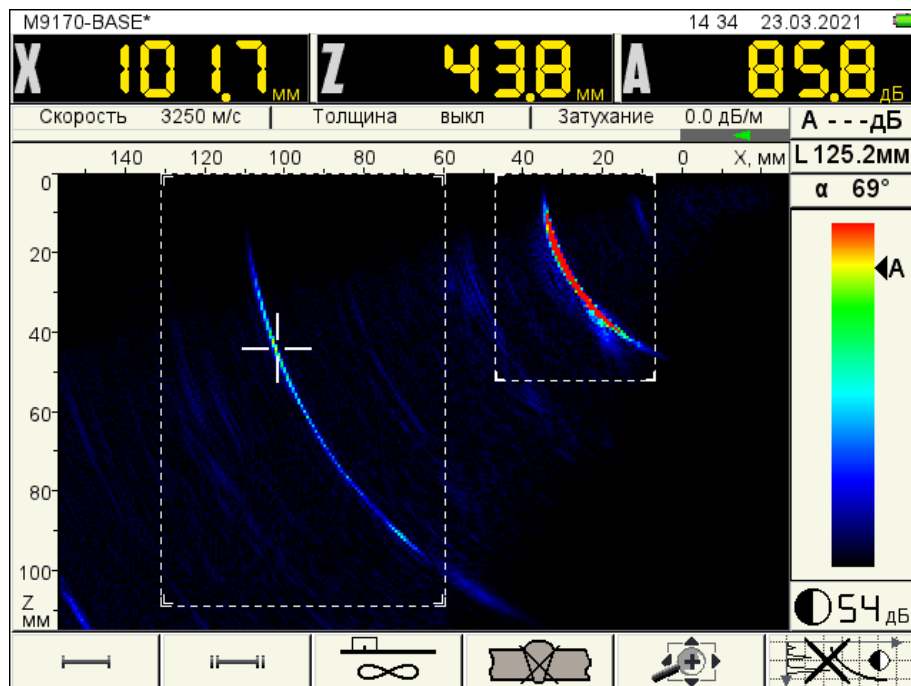


Рисунок 5-9 – Путь по лучу  $L_2 = 125,2$  мм



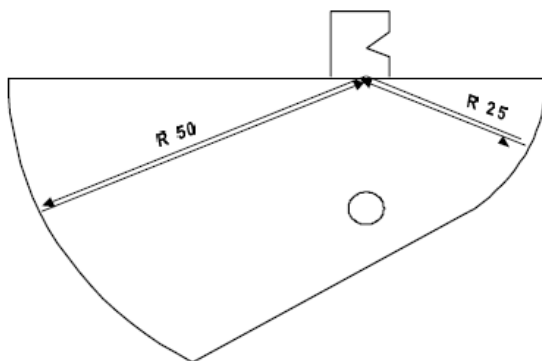


Рисунок 5-10 – Путь ультразвукового луча при формировании первого и второго образа цилиндрической поверхности образца V2/25

Вычислить разницу

$$L_3 = \frac{(L_2 - L_1) \cdot 2}{3} = \frac{(125,2 - 50,2) \cdot 2}{3} = 50,0 \text{ мм}$$

Выключить второй строб на второй странице режима НАСТРОЙКА (F2).

Установить в параметре «Задержка» такое значение, при котором путь  $L_1$  (первый образ) будет равен  $L_3$ , т. е. 50,0 мм. Установка значений, отличных от установленного по умолчанию – 1,5 мкс, не приводит к значению 50,0 мм, поэтому установленное по умолчанию значение параметра «Задержка» равное 1,5 мкс верно.

Изменить параметр «Скорость» до такого значения, при котором  $L_1$  будет равен 50,0 мм (рисунок 5-11), а  $L_2 = 125,0$  мм (рисунок 5-12). Это получается при  $c = 3240$  м/с.

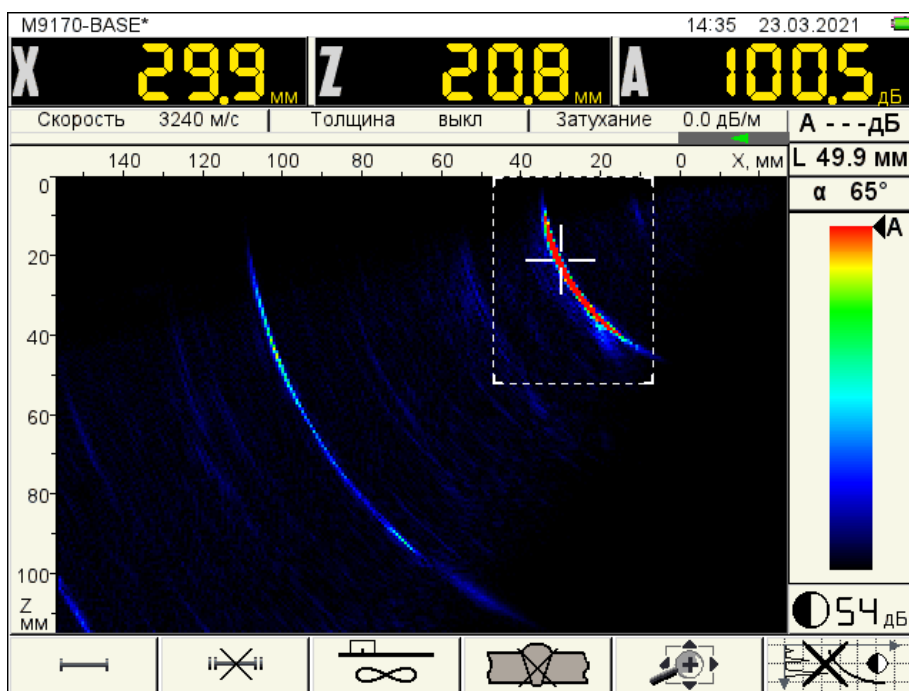


Рисунок 5-11 – Путь  $L_1 = 49,9$  мм при правильной задержке 1,5 мкс и правильной скорости  $c = 3240$  м/с

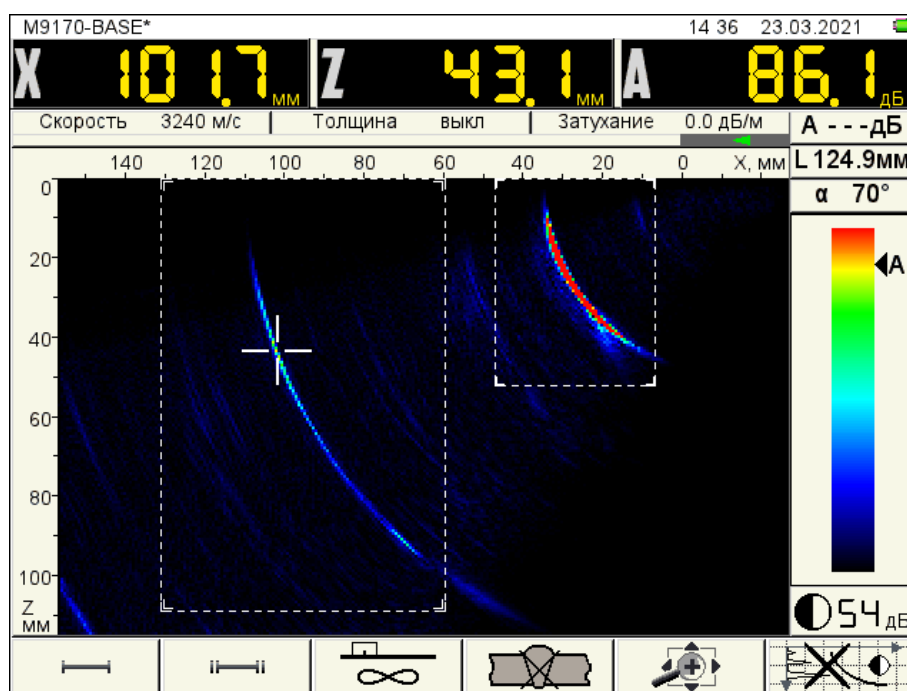


Рисунок 5-12 – Путь  $L_2 = 124,9$  при правильной задержке 1,5 мкс и правильной скорости  $c = 3240$  м/с

Калибровка задержки AP и скорости ультразвука завершена.

### 5.1.3. Установка рабочего усиления

Данная процедура проводится на калибровочных, настроечных образцах по сигналам от любых искусственных отражателей.

*При работе с наклонными AP не следует устанавливать рабочее усиление прибора по сигналам от вогнутой поверхности (например, мера СО-3) или плоской поверхности перпендикулярной углу наибольшей чувствительности.*

Подключаем AP к прибору.

*Подключать и отключать AP можно на включенном приборе.*

Войти в режим НАСТРОЙКА .

Перейти на главную страницу **F1** и выбрать базовую конфигурацию M9170-BASE.

Перейти на третью страницу, нажав клавишу **F3**.

Положить образец UCB 007 на боковую поверхность (плашмя).

Установить AP на образец и направить на прямой угол на глубине 30 мм (рисунок 5-13).

Можно с уверенностью сказать, что это максимальный сигнал, который может встретиться в сварном шве, например, в случае, когда сварили две кромки деталей без разделки путем наложения облицовочного валика.



Рисунок 5-13 – Установка AP M9170 на образец UCB 007

На А-Скане виден большой сигнал в районе 30 мкс, который пришёл от излучателя 8 на приёмник 7 (рисунок 5-14).

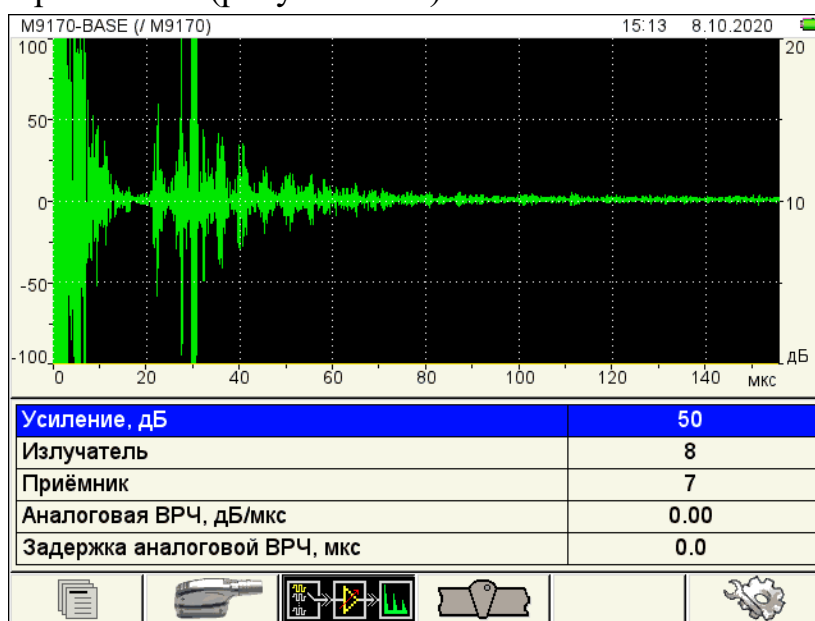


Рисунок 5-14 – А-Скан при большом усилении

По вертикальной шкале амплитуд видно, что сигнал от угла выходит за пределы экрана.

В строке «Усиление» уменьшить значение, чтобы сигнал оказался в пределах экрана (рисунок 5-15). Пару Излучатель-Приёмник можно выбрать любую, но их значения должны отличаться между собой не более чем на 1, например, 7-7, 7-8, 8-7, 8-8 и т.д. Не рекомендуется проводить настройку по элементам с 1 по 6, так как на А-Скане появляется мешающий сигнал от поверхностной волны. Настройку усиления достаточно провести по одной паре элементов.

Если в объекте контроля значение коэффициента затухания отличается от значения в образцах, то рекомендуется данную процедуру делать на прямоугольном торце объекта контроля.

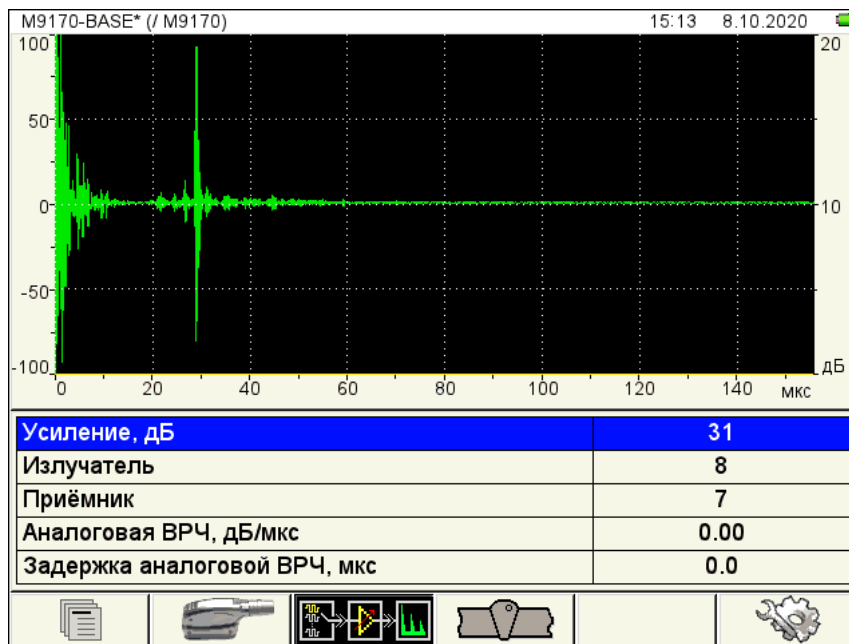



Рисунок 5-15 – А-Скан при правильном выборе параметра «Усиление»

#### 5.1.4. Процедура проверки элементов антенной решётки

На третьей странице режима НАСТРОЙКА (F3) предусмотрена процедура проверки элементов антенной решётки. Данную процедуру рекомендуется делать один раз в неделю или при подозрении, что чувствительность АР ухудшилась.

При активной строке «Излучатель» или «Приёмник» нажать клавишу . Демонстрация А-Сканов перейдёт в режим показа совмещённых режимов, т. е. с излучателя на приёмник с одинаковыми номерами.

Включая последовательно все пары элементов, следим за тем, чтобы на каждом А-Скане присутствовали следующие сигналы:

- зондирующий импульс;
- сигналы от отражателей.

Сигнал отражения от угла может уменьшаться или пропадать при переключении, так как на разных парах максимум сигнала находится в разных положениях АР относительно угла. При переключении необходимо следить за тем, чтобы сигнал от угла по высоте не выходил за пределы экрана.

На паре 1–1 (также на парах 2–2, 3–3, 4–4, далее практически незаметен) наблюдаем сигнал от поверхностной волны перед сигналом от угла в районе 20 - 25 мкс (его можно пальпировать). Данный сигнал по вертикали выходит за пределы экрана (рисунок 5-16). Отстраивать усиление по этому сигналу, конечно же, не нужно.

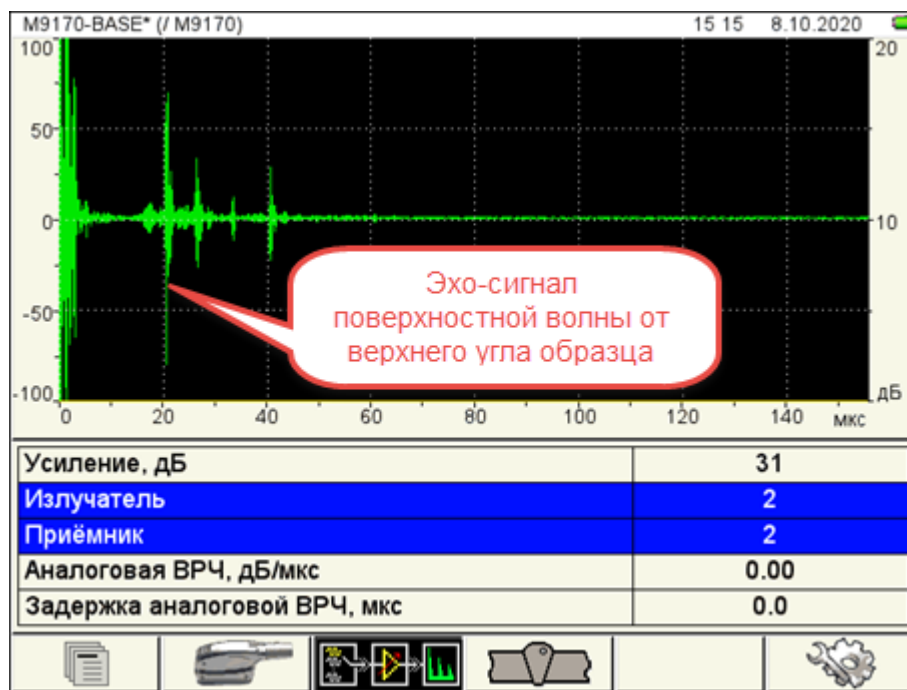


Рисунок 5-16 – Сигналы на паре элементов 2-2. Наблюдается сигнал от поверхностной волны

На рисунке 5-17 наблюдается сигнал с пары 15-15.

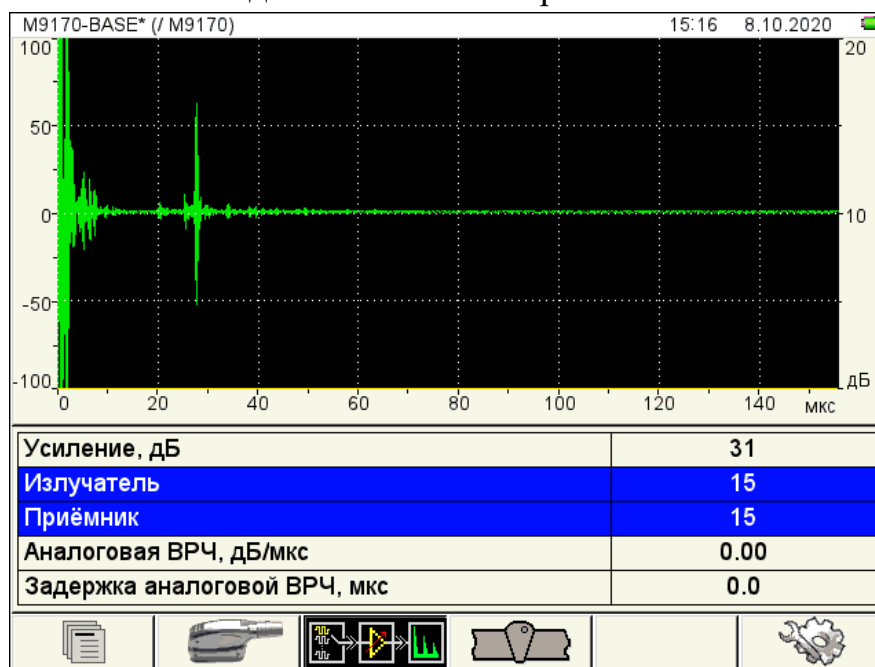


Рисунок 5-17 – Сигналы на паре элементов 15-15

На рисунке 5-18 видим ситуацию отсутствия каких-либо сигналов. Такая ситуация возникает, когда элемент АР вышел из строя.

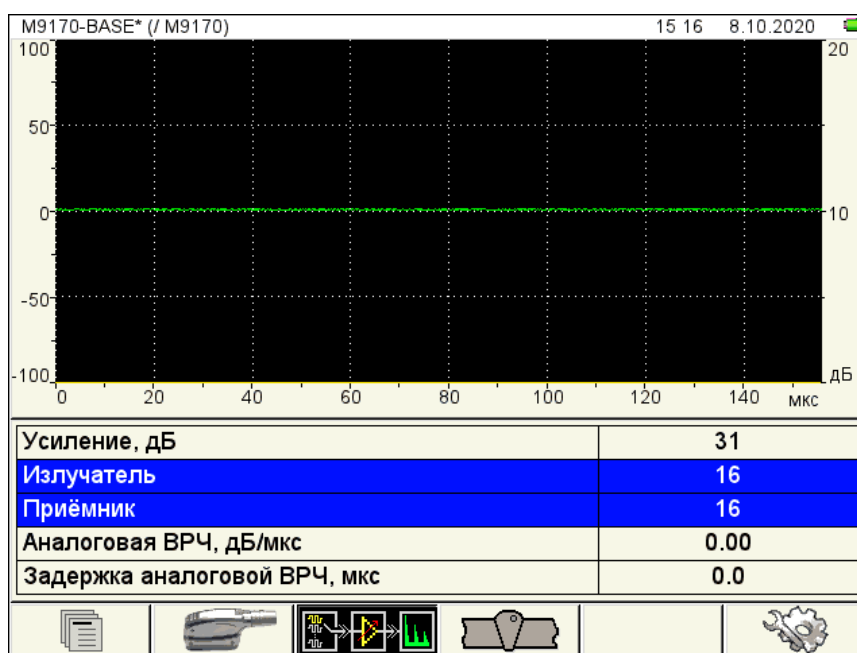


Рисунок 5-18 – Вид экрана при неработающем элементе № 16

*Допускается проводить контроль при двух неработающих элементах АР, если они расположены не рядом. При трёх неработающих элементах акустический модуль требуется заменить.*

### 5.1.5. Настройка масштаба изображения (скорости развертки), зоны контроля и маски сварного шва


Особенностью интерфейса прибора является наличие ассоциативного меню пиктограмм, которые расположены в шести прямоугольных окнах в нижней части экрана.

Пиктограммы представляют собой символические изображения, ассоциированные с объектом или свойством, которым они управляют. Каждый режим имеет свой набор пиктограмм.

Пиктограммы могут находиться в пассивном или активном состоянии. Активное состояние означает, что возможно изменение свойств или параметров прибора, соответствующих активной пиктограмме.

**Примечание** - Далее по тексту используется условная нумерация от **F1** до **F6** слева направо окон пиктограмм и соответствующих им функциональных клавиш (рисунок 5-19).

Установим АР на образец UCB 007. Паспортное значение скорости ультразвука в данном образце  $c = 3250$  м/с. Ввести данное значение в параметр «Скорость, м/с».

Нажать клавишу  и перейти в рабочий режим. На экране видим В-Скан при начальной настройке.



Контроль сварных швов с наличием провисания корня шва, верхнего валика усиления рекомендуется проводить в режиме реконструкции «Полупространство», которое установлено по умолчанию, клавиша **F3**.

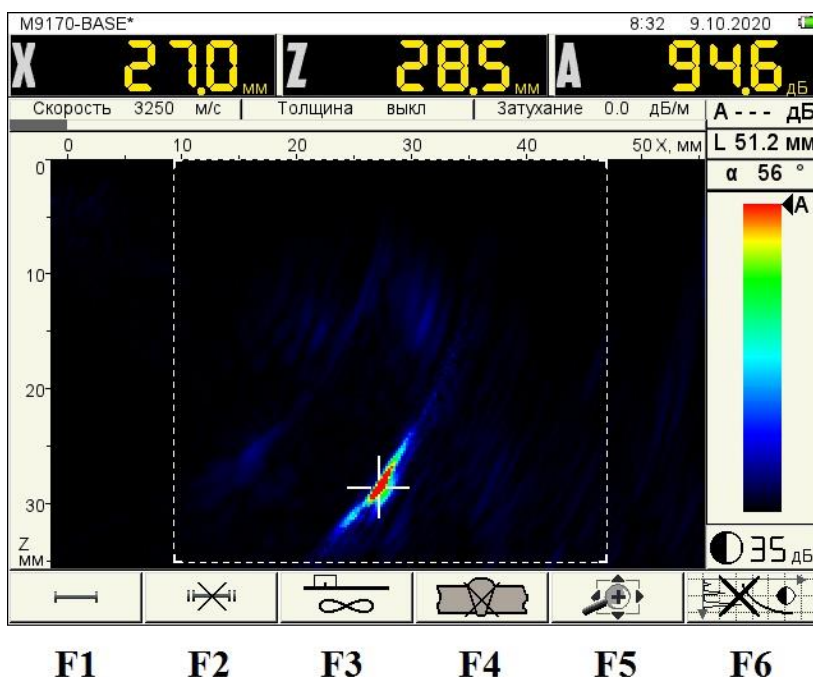


Рисунок 5-19 – Вид В-Скана при направлении АР на угол образца UCB 007

На В-Скане видим образ нижнего угла образца на глубине  $Z = 28,5$  мм.

Мы видим изображение, которое формируется при положении АР слева–направо (рисунок 5-20). Это удобно, если вы левша. Если правша, то лучше повернуть картинку на  $180^\circ$  (рисунок 5-21). Для этого нужно нажать клавишу **F5** и нажать клавишу **Enter** (рисунок 5-22).



Рисунок 5-20 – Слева–направо



Рисунок 5-21 – Справа–налево

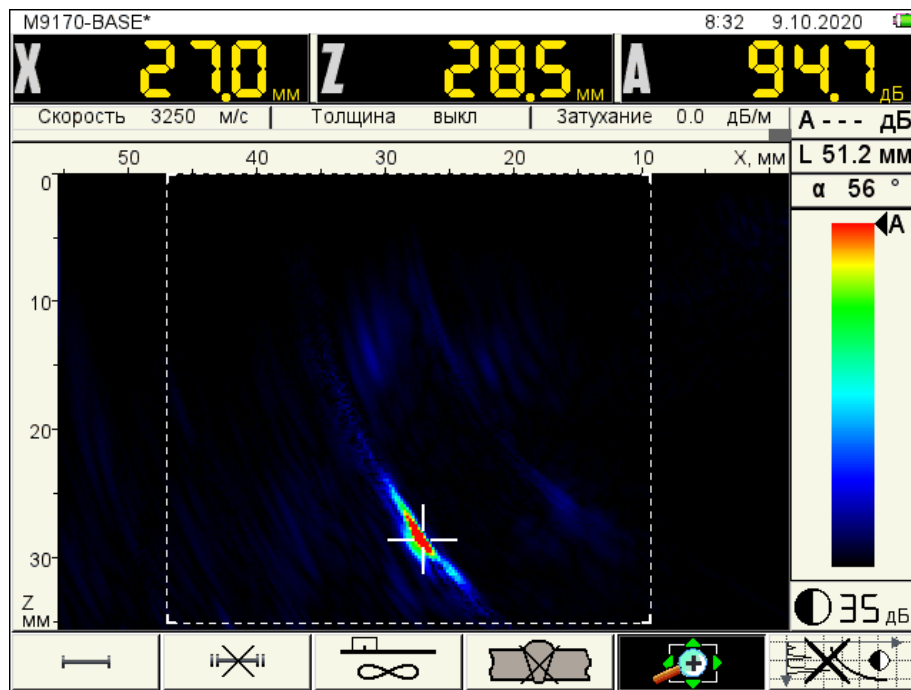



Рисунок 5-22 – Установка изображения справа-налево

При активной клавише **F5** нажать клавишу  и уменьшить масштаб изображения, чтобы увидеть верхний угол образца однократно-отражённым лучом, одновременно два угла будут хорошо видны, если немного отодвинуть АР от торца образца (рисунок 5-23).

*После нажатия функциональных клавиш **F1-F6** в меню пиктограмм они становятся активными. По окончании действий с активной клавишей не забывайте её выключать повторным нажатием.*

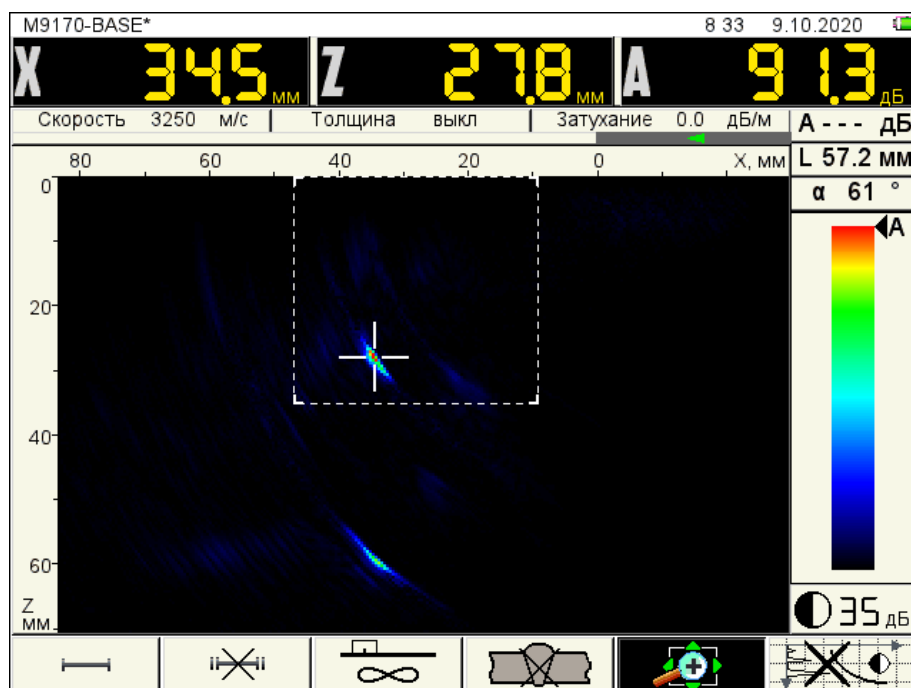


Рисунок 5-23 – Образы нижнего и верхнего угла образца UCB 007

Выключить клавишу **F5**, нажав на неё, и клавишей **+** добавить контрастность томограммы до значения, при котором будут видны образы углов образца без лишнего шума. Установим значение контрастности 40 дБ (рисунок 5-24).

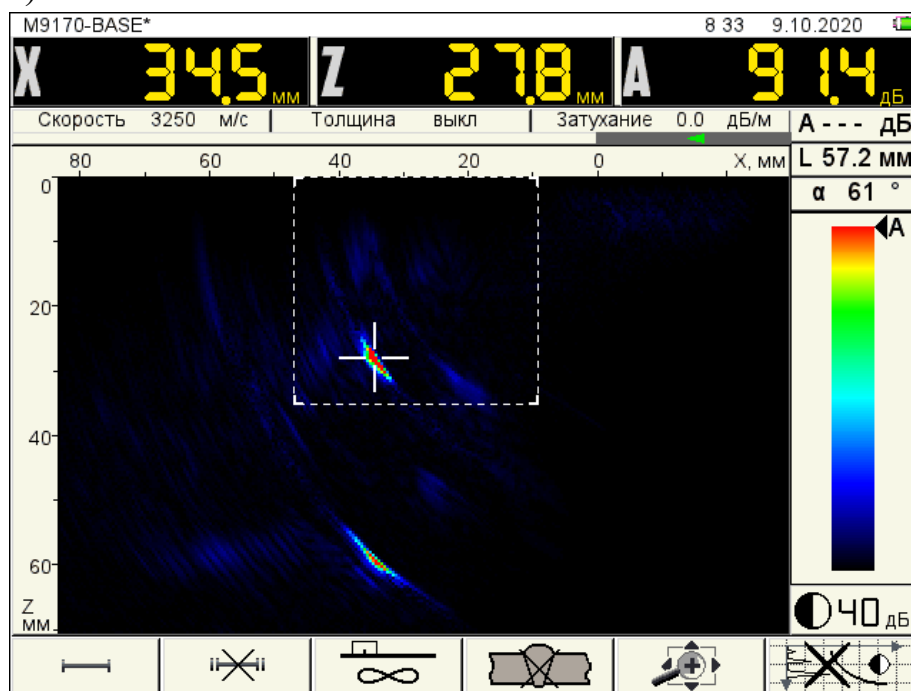


Рисунок 5-24 – Тот же В-Скан при контрастности 40 дБ

**Контрастность** – это «цветовая кодировка» сигналов в точках томограммы. Контрастность оператор устанавливает для себя так, чтобы ему было удобно рассматривать образы томограммы на фоне шумов и прочих фантомных образов. Для изменения контрастности используются клавиши **–** и **+** в состоянии прибора, когда все пиктограммы в нижней части экрана основного рабочего режима неактивны (на светлом фоне). Несмотря на то, что величина контрастности измеряется в децибелах, она никак не влияет на результаты измерений и устанавливаемые уровни чувствительности.

Установим зону контроля.

Она устанавливается с помощью редактирования первого строка. У него есть четыре границы: по оси отступов  $X1$ ,  $X2$  и по оси глубин  $Z1$ ,  $Z2$ . Как минимум, зона контроля должна охватывать область сварного соединения, которая озвучивается прямым и однократно-отражённым лучом под оптимальным направляющим углом.

Для АР M9170, M9174 оптимальный направляющий угол  $\alpha = 55^\circ$ , для АР M9065, M9055  $\alpha = 50^\circ$ .

Направляющий угол  $\alpha$  индицируется в правой верхней части экрана. На шестой странице в режиме НАСТРОЙКА можно активировать параметр «А-Скан» и увидеть линию, соединяющую центр апертуры АР и максимума амплитуды.

отражателя. Угол, образованный этой линией и нормалью к поверхности, называется направляющим (рисунок 5-25).

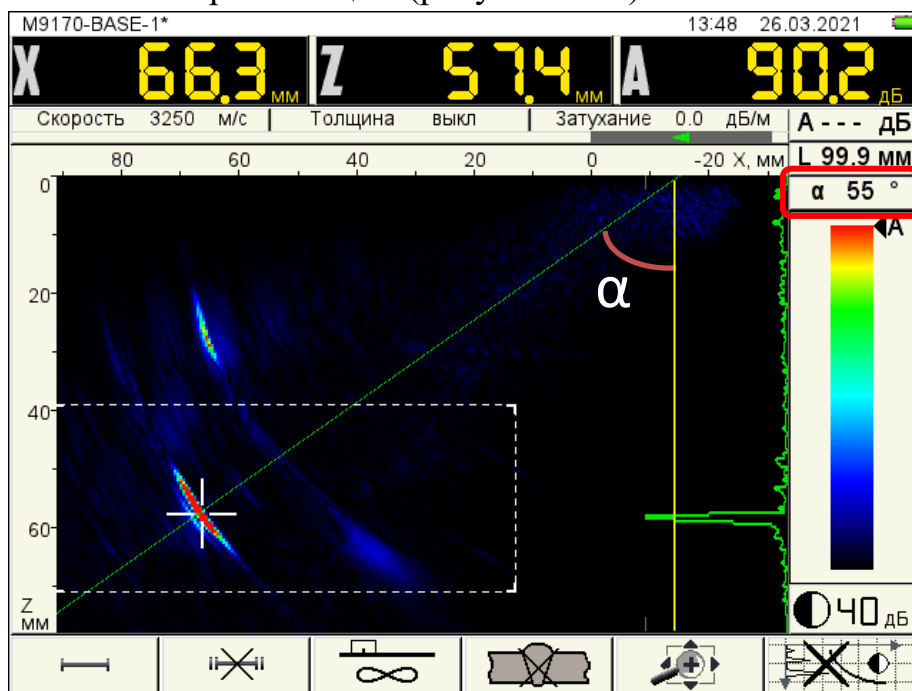


Рисунок 5-25

По оси отступов координата  $X1$  (максимальное удаление границы зоны контроля от фронта АР) определяется по следующей формуле:

$$X1 = 2 \cdot H \cdot \operatorname{tg} \alpha - \frac{A}{2} + 10, \quad (4)$$

где  $H$  – толщина;

$\alpha$  – оптимальный направляющий угол;

$A$  – размер активной апертуры для АР (для М9065 – 40 мм, для М9170 – 28 мм);

10 – 10 мм – запас на попадание всего образа дефекта в зону контроля.

*Данная формула применяется при растровом сканировании сварного соединения.*

*Данная формула верна, если ноль оси  $X$  установлен по умолчанию для наклонных АР – от фронта АР. Если ноль оси  $X$  установлен от середины АР, то вычитать член  $A/2$  не нужно.*

Рассчитаем координату  $X1$  для нашего случая:

$$X1 = 2 \cdot 30 \cdot 1,43 - \frac{28}{2} + 10 = 81,8 \text{ мм}$$

Вторую границу  $X2$  установить от фронта АР, т. е.  $X2 = 0$  мм.

По оси глубин  $Z$  установим зону контроля на прямой и однократно-отражённый луч, то есть  $Z1 = 0$  мм и  $Z2 = (60+5)$  мм (две толщины сварного соединения плюс запас 5 мм на валик усиления сварного шва).

Нажать клавишу **F1** (управление первым стробом) и выставить границы зоны контроля  $X1 = 81,8$  мм,  $X2 = 0$  мм (рисунок 5-26),  $Z1 = 0$  мм,  $Z2 = 65$  мм (рисунок 5-27).

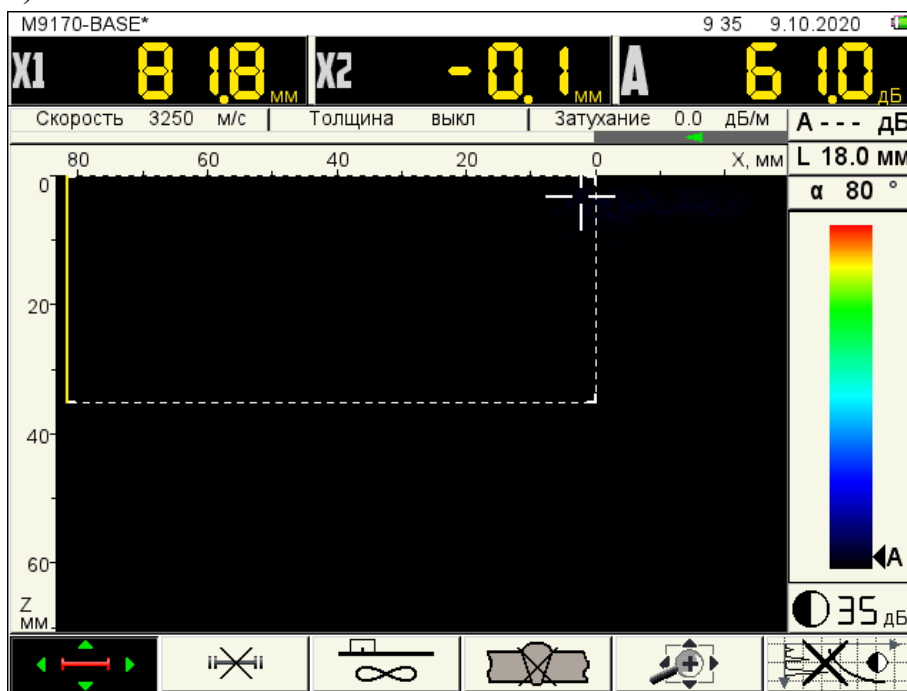


Рисунок 5-26 – Установка  $X1$  и  $X2$

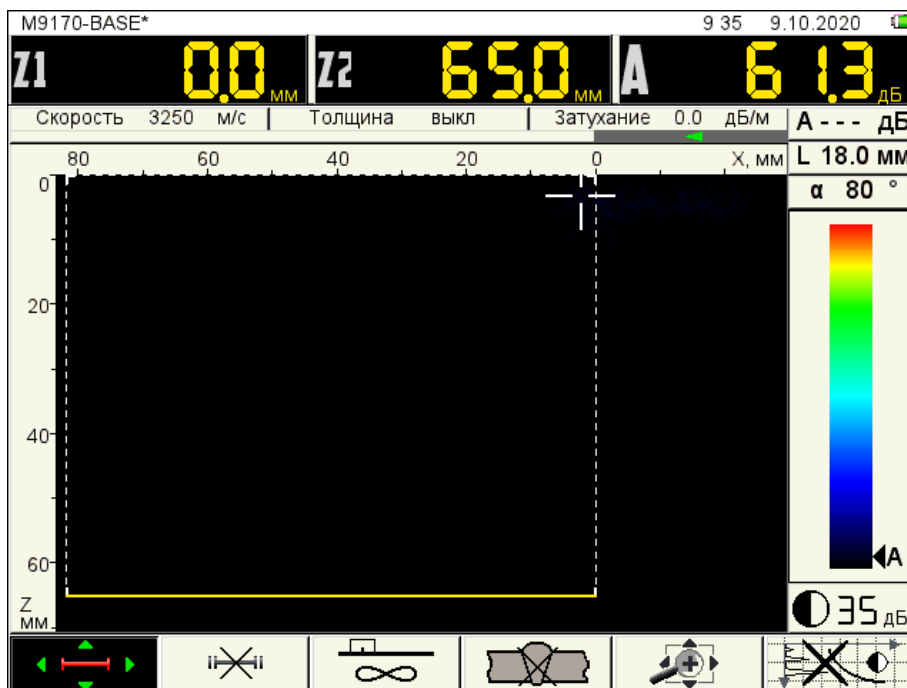


Рисунок 5-27 – Установка  $Z1$  и  $Z2$

Нажать клавишу **F5** и установить зону контроля по центру экрана, отрегулировав масштаб изображения таким образом, чтобы она занимала как можно большую площадь экрана (рисунок 5-28).

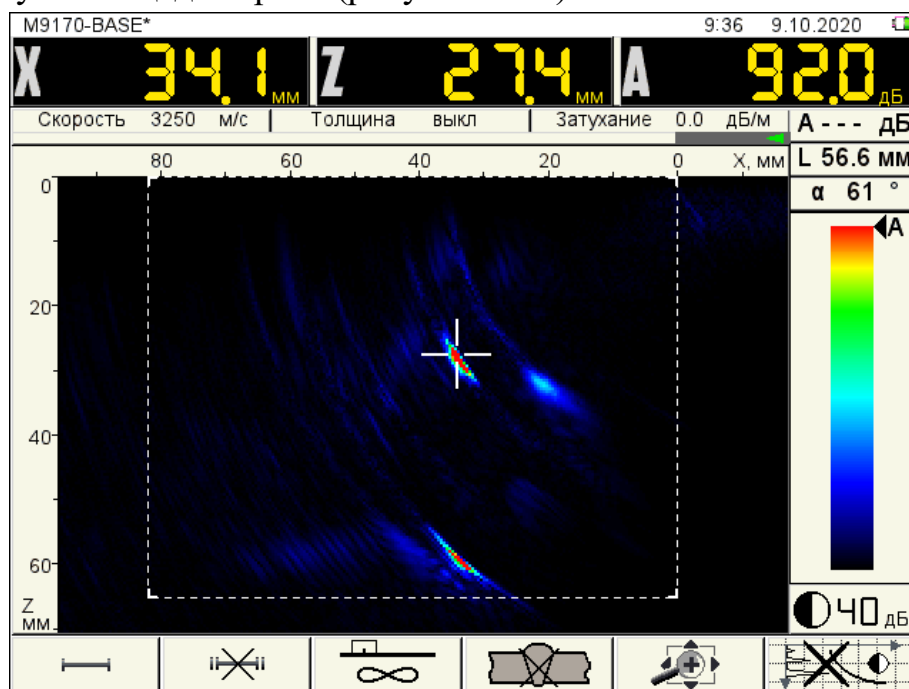


Рисунок 5-28 – Вид экрана правильного масштаба изображения, при рассчитанной зоне контроля

Не следует путать границы зоны контроля на экране прибора и зону сканирования (зону перемещения ПЭП), в которой рассчитывается параметр  $L_{max}$  (максимальное удаление АР при сканировании сварного соединения) (рисунок 5-29).

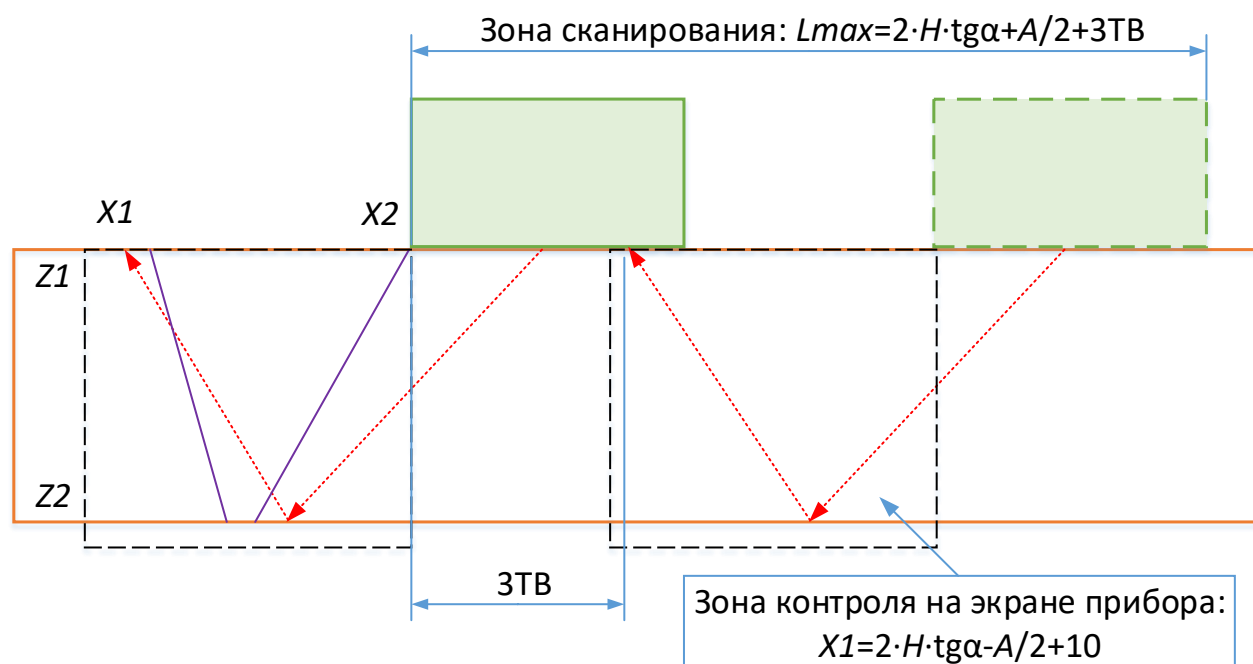


Рисунок 5-29 – Местоположение зоны контроля при перемещении АР от валика усиления сварного шва до  $L_{max}$



Формула для расчёта  $L_{max}$  следующая:

$$L_{max} = 2 \cdot H \cdot \operatorname{tg} \alpha + \frac{A}{2} + 3TB, \quad (5)$$

где 3ТВ – ширина зоны термического влияния.

В документе СП 70.13330.2012 контроль 3ТВ при контроле сварного соединения не указан. Возьмём значение из документа [24] таблица 1. Для толщины 30 мм ширина 3ТВ = 20 мм.

Рассчитываем для нашего сварного соединения:

$$L_{max} = 2 \cdot 30 \cdot 1,43 + \frac{28}{2} + 20 = 120 \text{ мм}$$

Перед тем, как рисовать маску сварного шва, зайдём в режим НАСТРОЙКА на первую страницу и установим значение толщины сварного соединения 30 мм. В рабочем режиме на экране появятся горизонтальные линии, кратные толщине ОК.

Нажать клавишу **F4** и нарисовать маску сварного шва, которая соответствует его фактическим размерам:

- ширина верхнего валика  $e = 38$  мм;
- ширина нижнего валика  $e1 = 9,9$  мм (при этом значении угол разделки рассчитывается автоматически и будет равняться  $25^\circ$ ).

Маску сварного шва установить вплотную к фронту АР, т. е. установить  $X0 = 18$  мм (расстояние от фронта АР до центра сварного шва, фактическая ширина валика усиления – 38 мм) (рисунок 5-30).

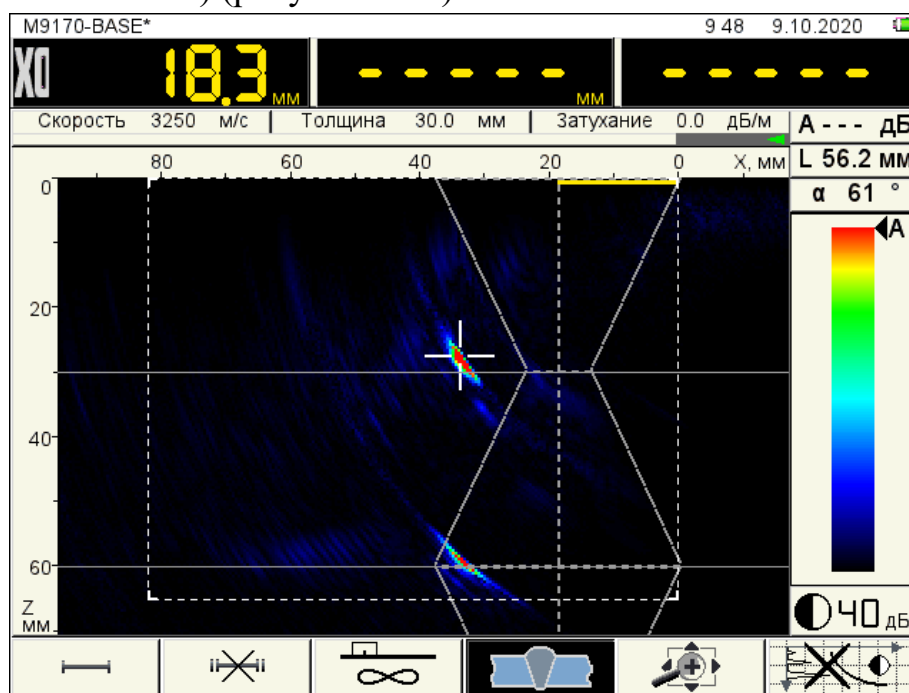


Рисунок 5-30 – Вид экрана с маской сварного шва, установленной вплотную к антенной решётке

При поперечном перемещении АР относительно сварного шва, прибор не будет иметь возможность отслеживать положение АР относительно него, поэтому правильное положение маски будет только при положении АР вплотную к валику усиления. При положении АР не вплотную к валику усиления (если есть необходимость определить положение отражателя относительно маски) необходимо линейкой измерить расстояние от фронта АР до середины сварного шва и переместить маску на это расстояние.

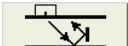
#### 5.1.6. Настройка скорости ультразвука

Настройка скорости ультразвука – это операция определения фактической скорости ультразвука, при которой будет проводиться контроль. Настройка проводится по настроенному образцу, если скорость в нём отличается не более чем на 1 % от скорости в объекте контроля. В противном случае настройка проводится на объекте контроля. Образец UCS 007 изготовлен из стали 20 с последующей термообработкой (закалка и отпуск). Металлоконструкции изготовлены из стали С345, термообработка нам неизвестна. Можно предположить, что скорости в них равны с допуском  $\pm 1$  %. Давайте это проверим. Сделаем настройку на объекте контроля и на образце UCS 007.

На объекте контроля нужно найти гладкий, фрезерованный торец (без скруглений) с прямыми углами. Нам повезло, у нас такой есть. Перпендикулярность углов и торца нужно обязательно проверить угольником из комплекта ВИК.

Для АР М9065 и М9170 данная калибровка возможна на образцах толщиной не более 60 мм.

Использование плоскости вертикального торца для калибровки скорости звука в приборе основано на том, что образ торца на экране прибора должен быть также вертикальным и не иметь изломов при разных расстояниях между торцом и антенной решёткой.

Чтобы применить этот способ включим алгоритм реконструкции для зеркально отражающих несплошностей .

Сделаем настройку на образце UCS 007 в том же положении – плашмя. Поочерёдно установим антенную решётку в несколько положений на поверхности образца на разных расстояниях от торца. В каждом положении, поворачивая решётку вокруг вертикальной оси на небольшой угол, будем добиваться того, чтобы яркость образа торца была наибольшей.

Если в этих положениях антенной решётки образ торца будет выглядеть примерно так, как показано на рисунке 5-31, то это значит, что скорость звука, установленная в приборе и в образце, не совпадают. Видно, что верхняя часть образа смещена вправо относительно центра нижней части. Данное изображение

было получено при скорости 3150 м/с, которое мы установили специально, чтобы показать излом торца.

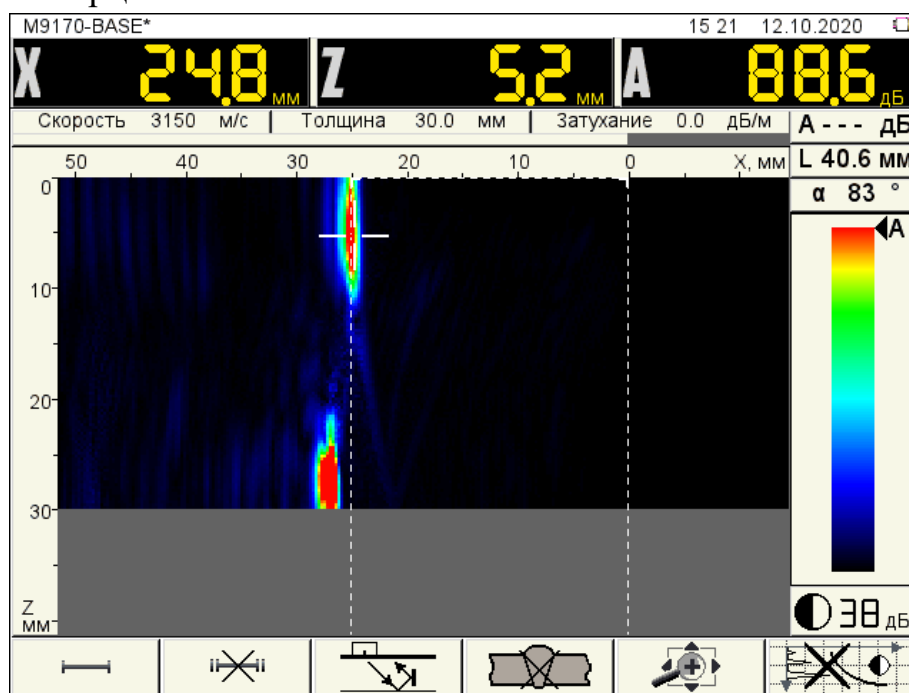


Рисунок 5-31 – Образ торца UCB 007, состоящий из двух частей (верхней и нижней) при неправильной скорости 3150 м/с

Увеличиваем значение скорости, в процессе которого наблюдаем сближение образов. При скорости 3245 м/с образы будут точно друг над другом. Это на 5 м/с меньше, чем скорость, установленная по умолчанию.

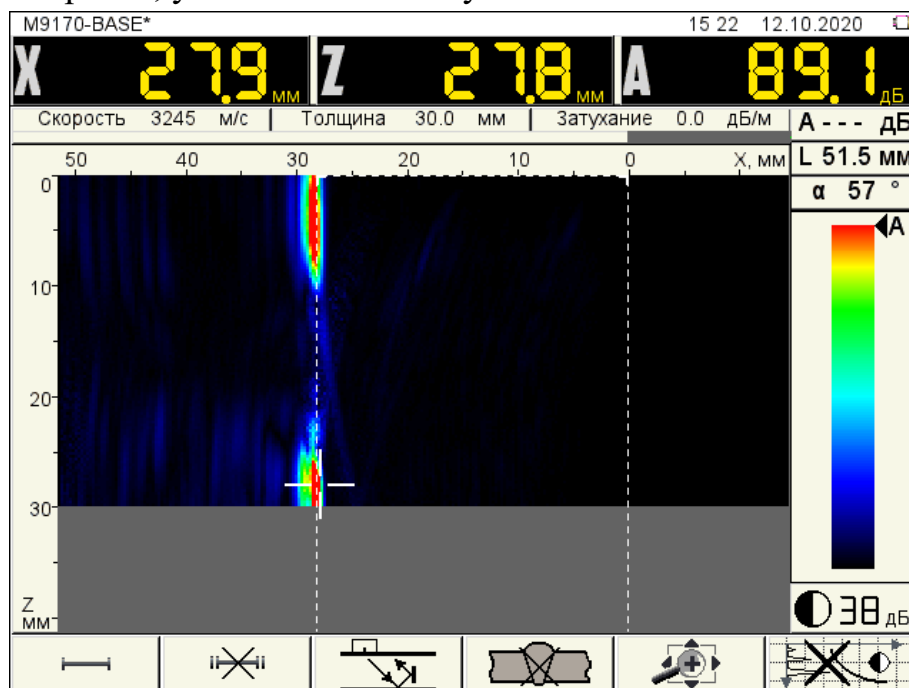


Рисунок 5-32 – Образ торца UCB 007 при скорости 3250 м/с

Сделаем точно такие же действия на объекте контроля. При скорости 3245 м/с центры образов тоже совпадают (рисунок 5-33).

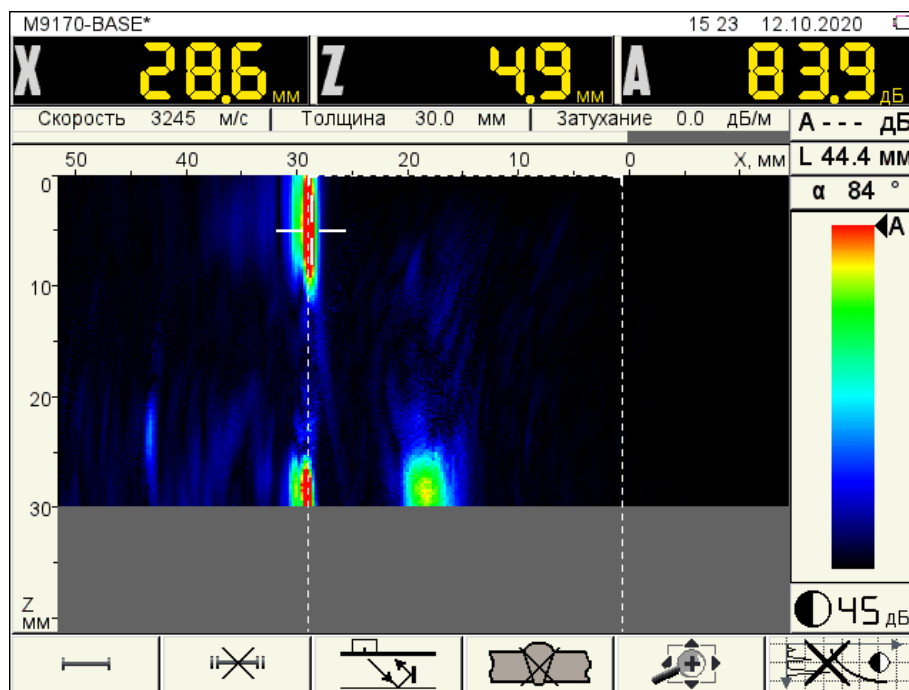


Рисунок 5-33 – Образ торца ОК при скорости 3245 м/с

Скорость в настроечном образце UCB 007 и объекте контроля одинаковая. Калибровка завершена.

Что делать, если на объекте контроля нет фрезерованного торца перпендикулярного верхней и нижней поверхности. Есть два известных способа измерить скорость поперечных волн в режиме ДЕФЕКТОСКОП.

#### 1 СПОСОБ.

- взять прямой ПЭП S3568-2.5МГц;
- откалибровать задержку на мере СО-2 или образце UCB 007;
- установить ПЭП в место на объекте контроля, где измерили толщину измерительным инструментом, например, штангенциркулем;
- поместить в строб первый донный сигнал. Если значение толщины в приборе отличается от измеренного, то изменить значение параметра «Скорость, м/с», пока показания не сравняются. Мы измерили скорость продольной волны  $c_l$ ;
- вычислить скорость поперечной волны  $c_t$  по формуле:

$$c_t = 0,55 \cdot c_l. \quad (6)$$

Данной формулой можно пользоваться для углеродистых и низколегированных конструкционных сталей.

#### 2 СПОСОБ.

Для данного способа необходимо взять два одинаковых наклонных ПЭП с углом ввода поперечной волны от 44° до 50° и выполнить следующие действия:

<https://a3-eng.com/>

- подключить ПЭП к прибору в раздельном режиме – «Тип ПЭП – разд.»;
- установить значение параметра «Задержка, мкс» 0,0 мкс;
- соединить ПЭП как показано на рисунке 5-34 и найти максимум сигнала;

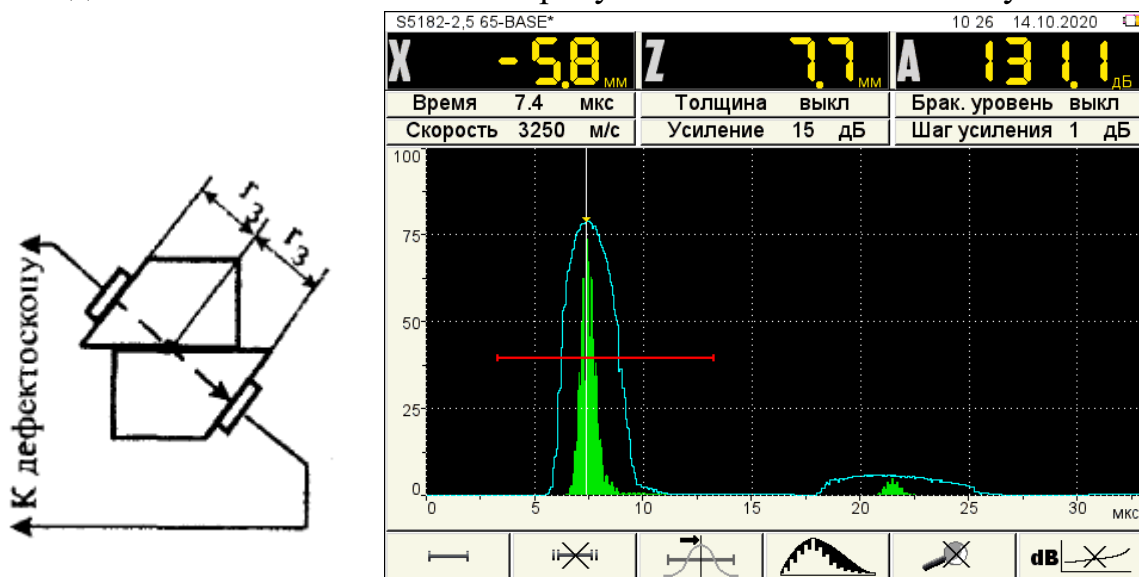


Рисунок 5-34 – Измерение времени пробега в призмах

- время пробега ультразвука в призмах ПЭП составило 7,4 мкс. Установить полученное значение в параметр «Задержка, мкс»;
- установить ПЭПы на объект контроля и направить их друг на друга (рисунок 5-35). Найти максимум сигнала прохождения;

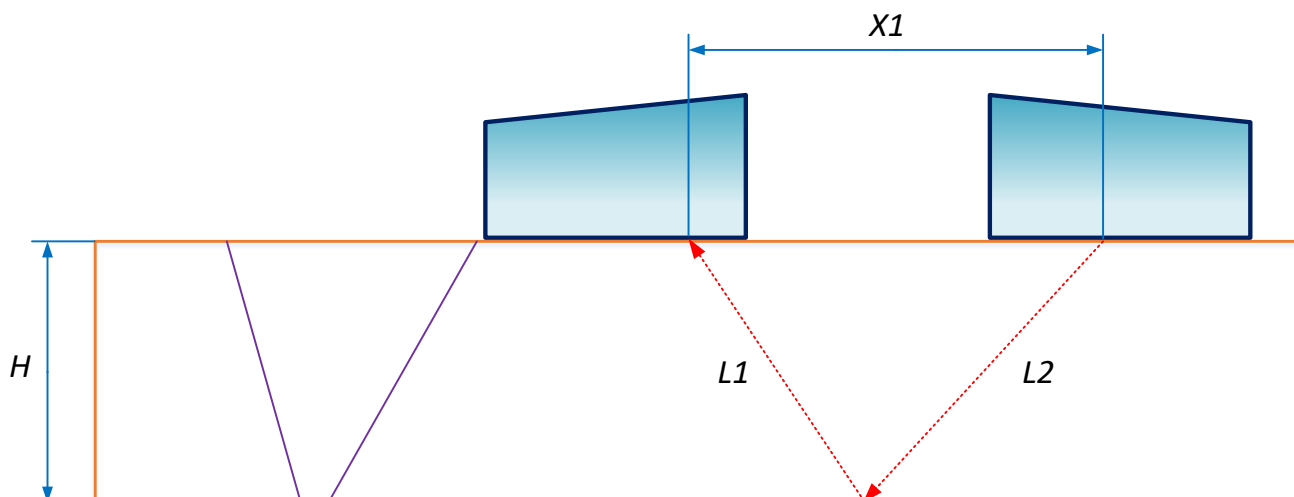


Рисунок 5-35 – Схема установки ПЭП для измерения скорости поперечных волн

- измерить линейкой расстояние между точками ввода по поверхности  $X1$  (конечно, нужно проверить точки ввода на мере СО-3). В нашем случае получили  $X1 = 72$  мм. Толщина объекта контроля  $H$  в месте измерения (измеренная откалиброванным толщиномером или дефектоскопом) составляет 29,8 мм;

– рассчитать  $L1$  по формуле:

$$L1 = \sqrt{\left(\frac{X1}{2}\right)^2 + H^2} . \quad (7)$$

В нашем случае  $L1 = 46,73$  мм;

– считать с экрана прибора время прохождения импульса  $T = 28,8$  мкс (рисунок 5-36);

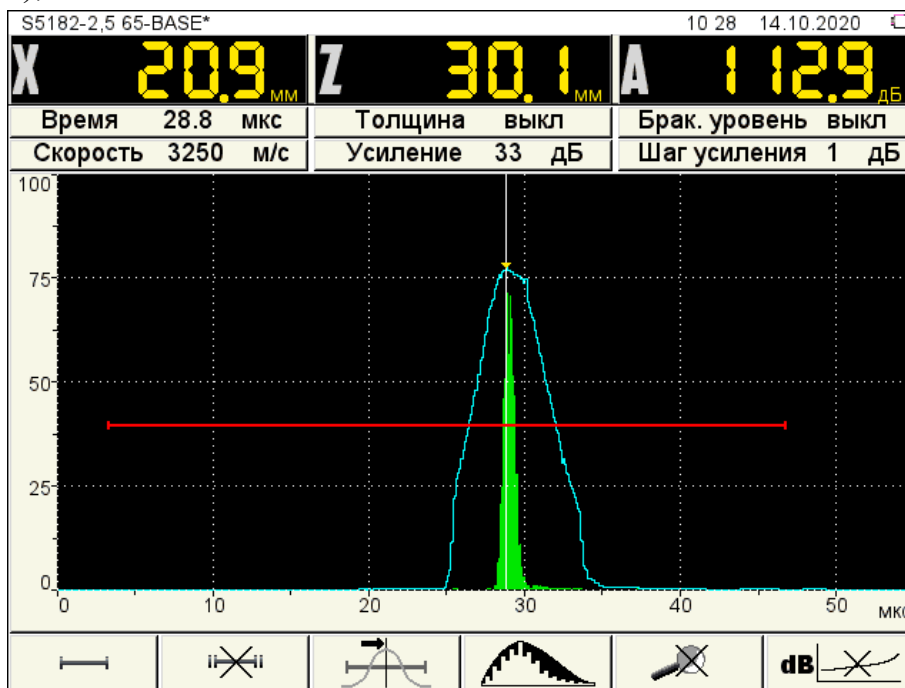


Рисунок 5-36 – Сигнал прохождения

– так как  $L1 = L2$ , рассчитать скорость ультразвука по формуле:

$$c = \frac{2 \cdot L1}{T} . \quad (8)$$

Получаем  $c = 3245$  м/с. Полученное значение совпало со значением, полученным при настройке скорости по торцу.

### 5.1.7. Проверка глубиномера

Проверку глубиномера проводить на любых отражателях, координаты которых известны. Погрешность показаний прибора должна быть не более  $\pm 1,0$  мм. В нашем случае сделаем данную процедуру по двугранным углам на образце УСВ 007 или по двугранным углам на объекте контроля.

Но при проверке на двугранных углах есть некоторые трудности. Этот отражатель (назовём его для краткости уголковым) возвращает УЗ лучи в сторону антенной решётки в узком диапазоне углов падения на него примерно от  $35^\circ$  до  $55^\circ$  для обычных сталей. При углах, меньших  $35^\circ$  и больших  $55^\circ$  поперечные волны слабо отражаются от двугранного угла. Они трансформируются в продольные и в



частности, в головные волны. И только при углах, меньше  $15^\circ$  и больше  $75^\circ$  снова появляется заметное отражение поперечных волн. Это сильно ограничивает максимальное расстояние, на которое можно отодвинуть антенную решётку от торца для правильного измерения глубины уголкового отражателя. При больших расстояниях от угла основная часть лучей УЗ волн элементов решётки, лежащая в указанном диапазоне, падает на донную поверхность, затем отражается от вертикальной поверхности торца и возвращается к решётке по смещённым вверх траекториям. Поэтому на томограмме возникает дополнительный фантомный (ложный) образ, смещённый относительно реального образа немного вверх и в сторону бóльших дальностей. Он по мере отдаления решётки от торца становится всё более ярким, и по нему уже происходит измерение координат. Более подробная информация приведена в [9] страницы 139-140.

Чтобы провести проверку глубиномера по образу, сформированному всеми элементами АР только поперечной волной, проведем проверку глубиномера при направляющем угле до  $40^\circ$ . Найдём образ нижнего угла (рисунок 5-37).

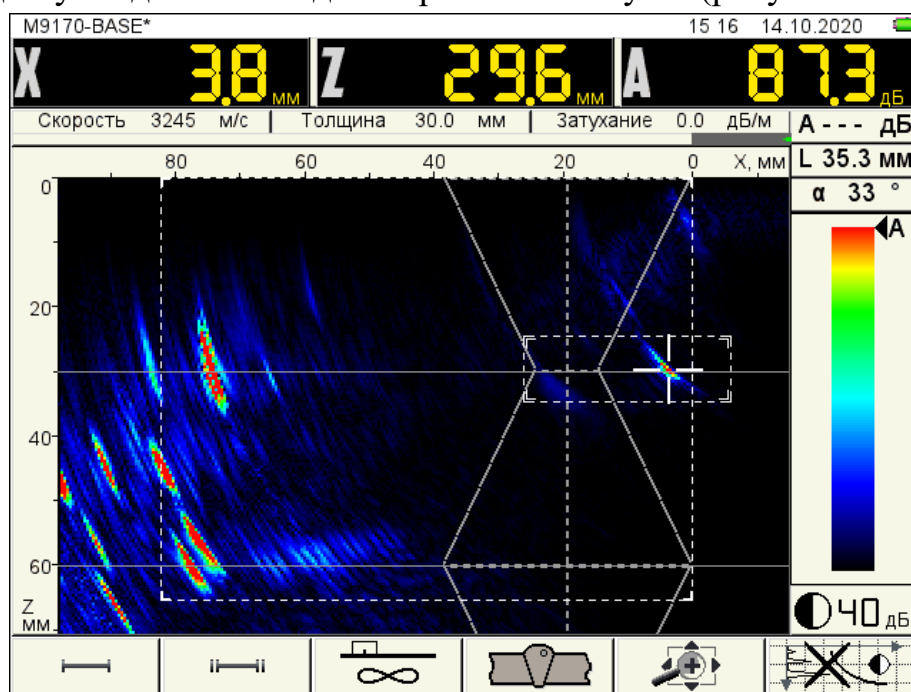


Рисунок 5-37 – Образ нижнего угла на глубине  $Z = 30$  мм при угле озвучивания  $33^\circ$

При угле озвучивания  $\alpha = 33^\circ$  значение глубины  $Z = 29,6$  мм. Значение отступа от переднего фронта АР  $X = 3,8$  мм. Измеряем линейкой фактический отступ от угла образца до фронта АР  $X = 4,0$  мм. Прибор показывает фактические значения глубины и отступа с допустимой погрешностью.

Рисунок 5-38 демонстрирует, что происходит при больших углах озвучивания – образ смещается вверх и координаты отражателя индицируются с большой погрешностью. На рисунке координата угла  $Z = 27,4$  мм, что выходит за пределы погрешности измерений.

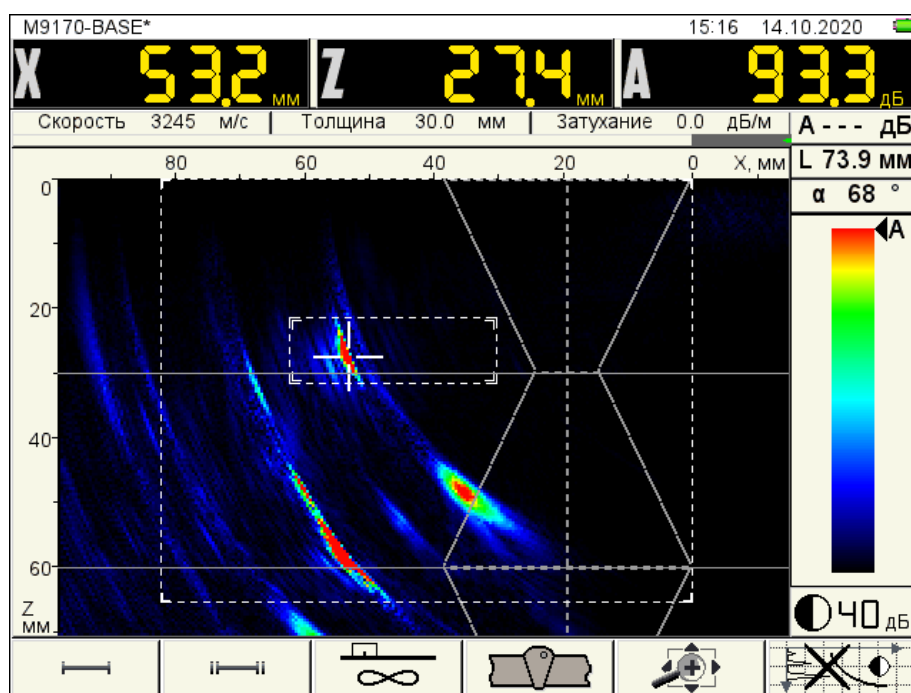


Рисунок 5-38 – Образ нижнего угла на глубине  $Z = 30$  мм при направляющем угле  $68^\circ$

Находим образ верхнего угла при угле озвучивания до  $40^\circ$  (рисунок 5-39).

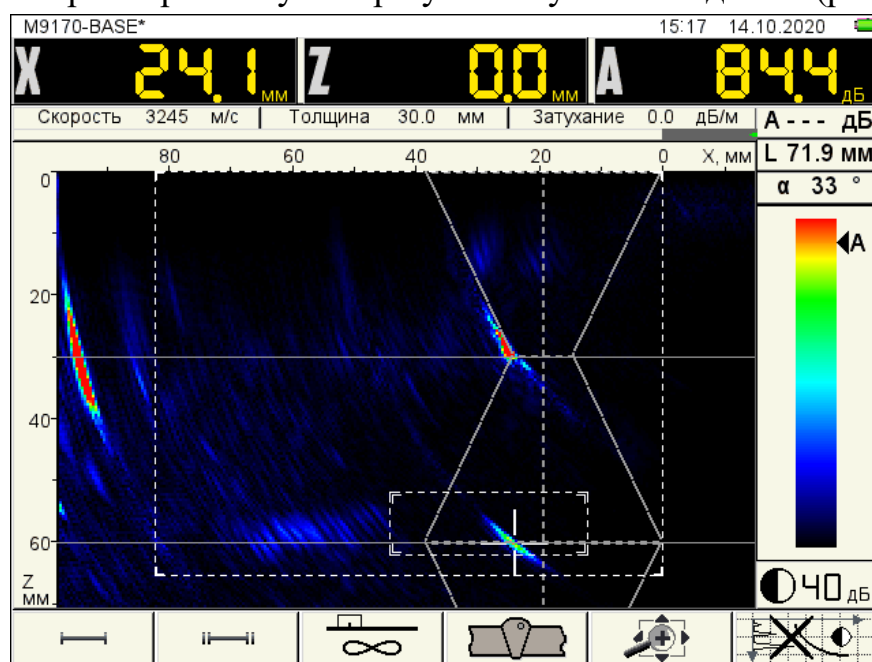


Рисунок 5-39 – Образ верхнего угла на глубине  $Z = 0$  мм

Полученное значение глубины  $Z = 0,0$  мм, значение отступа  $X = 24,1$  мм. Измеряем отступ линейкой  $XI = 24,0$  мм. Результаты в пределах допустимой погрешности. Глубиномер настроен и проверен.

### 5.1.8. Настройка чувствительности

Настройку чувствительности сделаем по Варианту № 1 путём настройки аналоговой ВРЧ.

Установить АР М9170 на образец UCB 007 и направить её на первое БЦО, центр отверстия которого находится на глубине 20 мм, найти максимум сигнала (рисунок 5-40).



Рисунок 5-40

На экране прибора виден образ БЦО на глубине 18,5 мм. Ультразвук отражает поверхность отверстия. Центр отверстия находится на глубине 20 мм, диаметр 3 мм, т. е. поверхность отверстия фактически находится на глубине 18,5 мм (точное значение глубины зависит от угла, под которым происходит озвучивание отверстия) (рисунок 5-41).

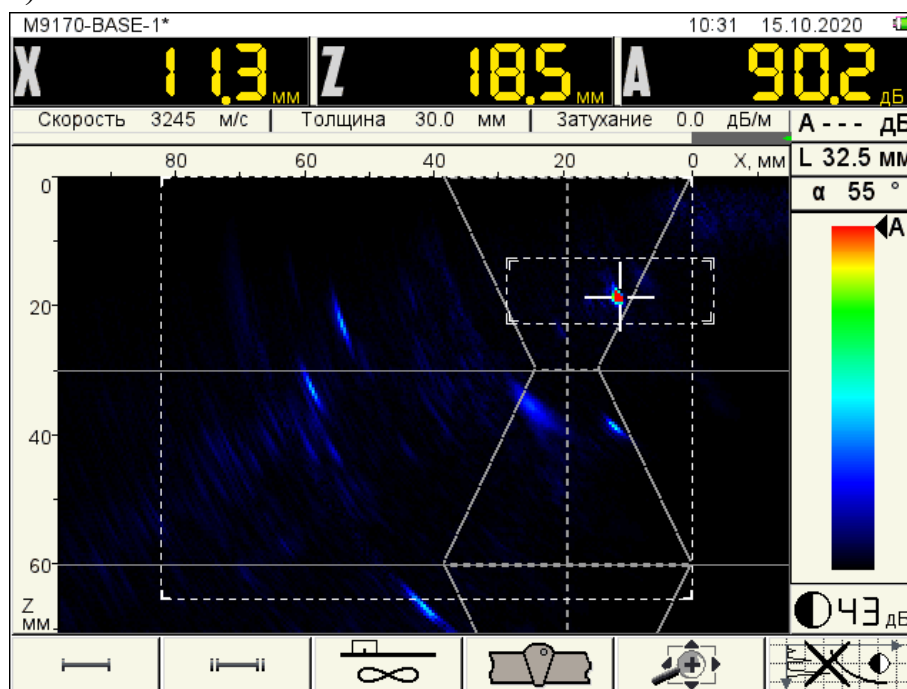


Рисунок 5-41 – Образ БЦО на глубине 18,5 мм

Амплитуда сигнала 90 дБ. Данную амплитуду примем за опорный уровень. Для этого следует войти в режим НАСТРОЙКА, выделить строку «Опорный уровень, дБ» и нажать клавишу **Enter**, убедиться что сигнал находится в стробе, нажать клавишу **Enter** и сохранить амплитуду сигнала (рисунок 5-42).

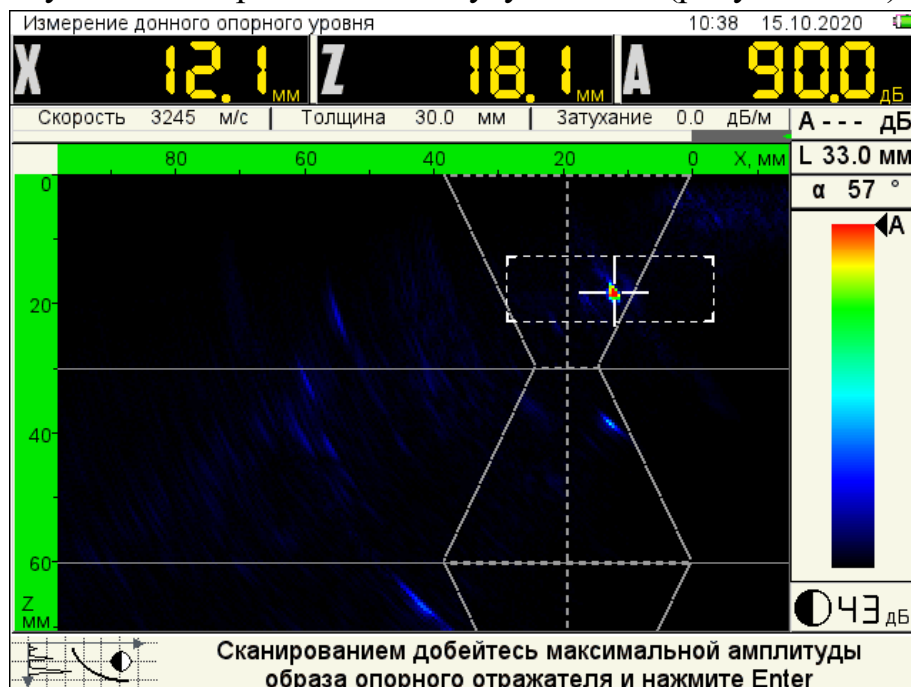


Рисунок 5-42 – Режим записи опорного уровня

Теперь амплитуда сигнала от БЦО измеряется относительно опорного уровня и составляет 0,1 дБ (рисунок 5-43).

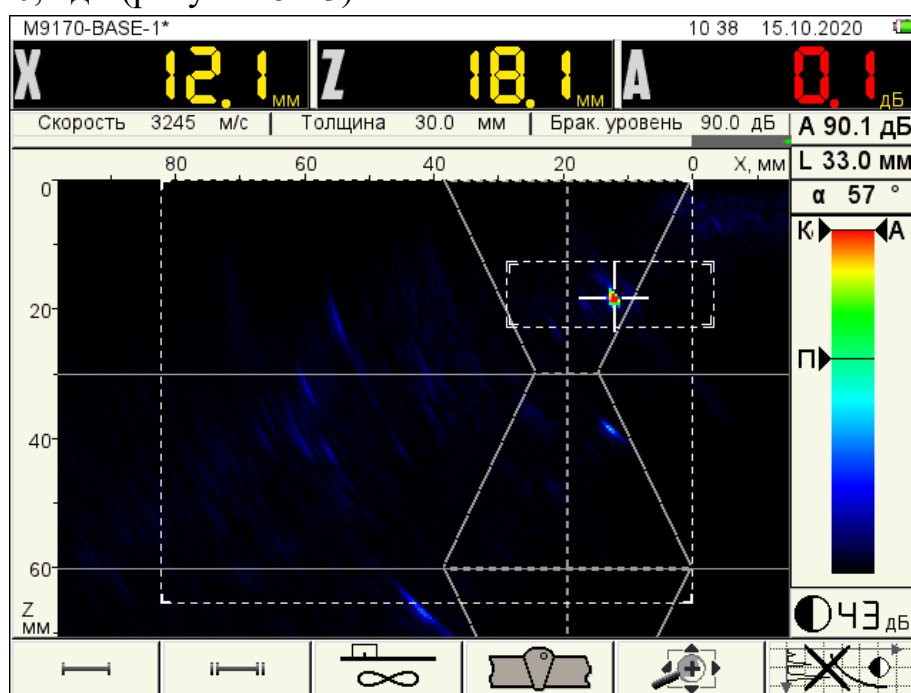


Рисунок 5-43 – Сигнал от БЦО при установленном опорном уровне

Возвращаемся в режим НАСТРОЙКА и в третьей закладке на А-Скане видим сигнал от БЦО в районе 18 – 19 мкс. В параметре «Задержка аналоговой ВРЧ, мкс» установить значение 20 мкс, т. е. немного дальше, чем сигнал от БЦО (рисунок 5-44). Данная точка будет началом нашей ВРЧ.

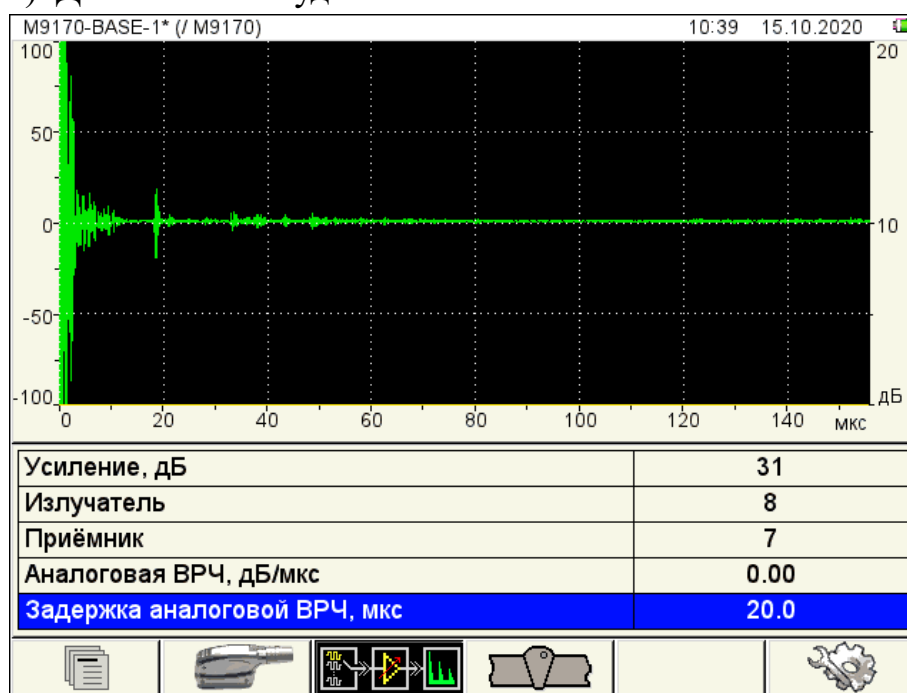


Рисунок 5-44 – Установка задержки аналоговой ВРЧ

Далее в параметре «Аналоговая ВРЧ» нужно установить такое значение, при котором все сигналы от нужных нам БЦО будут иметь амплитуду равную опорному уровню с погрешностью  $\pm 2$  дБ. Делаем это путем экспериментального подбора параметра «Аналоговая ВРЧ». При значении 0,3 дБ/мкс сигналы от трех БЦО на глубине 20, 40, 60 мм будут иметь одинаковую амплитуду с указанной погрешностью. После установки аналоговой ВРЧ необходимо убедиться, что сигналы от БЦО не уходят за пределы А-Скана по высоте (не уходят в ограничение) (рисунок 5-45).

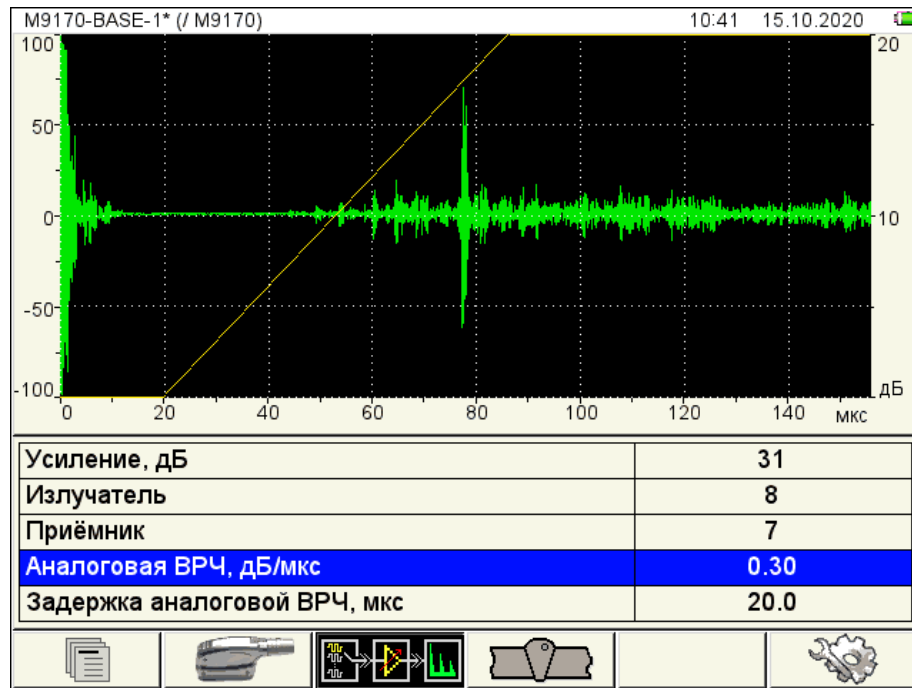


Рисунок 5-45 – Установка значения аналоговой ВРЧ

Выходим из режима НАСТРОЙКА и проверяем амплитуду всех отражателей (рисунок 5-46).

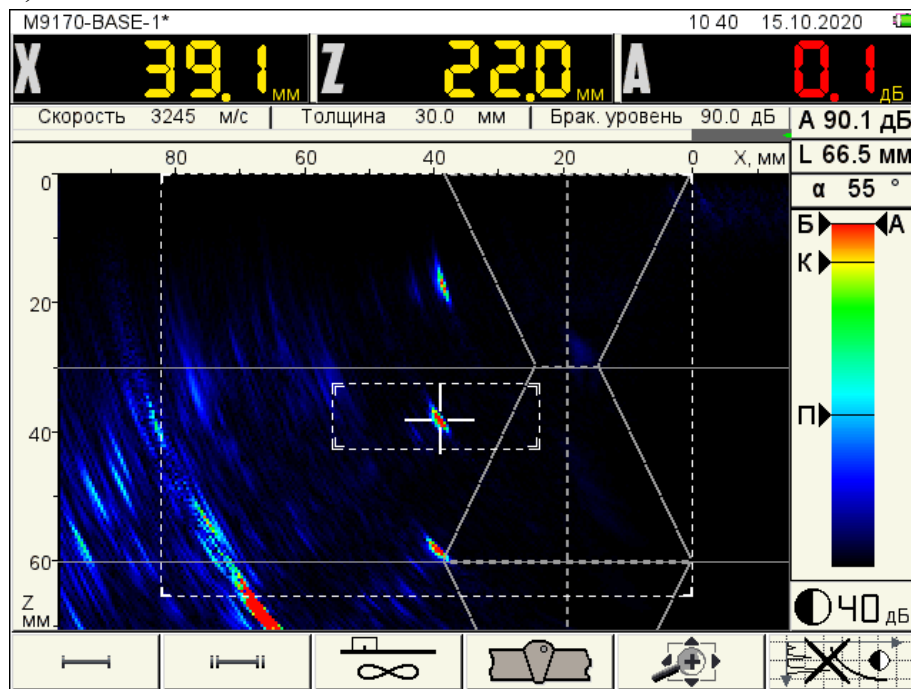


Рисунок 5-46 – Амплитуда БЦО на глубине 40 мм после установки аналоговой ВРЧ

Обратите внимание на рисунок 5-46. Измеряемое БЦО находится на глубине 40 мм, глубина, которая индицируется прибором Z = 22,0 мм. Так как в режиме НАСТРОЙКА включена толщина 30 мм, то глубиномер прибора пересчитывает глубину БЦО с учетом толщины.



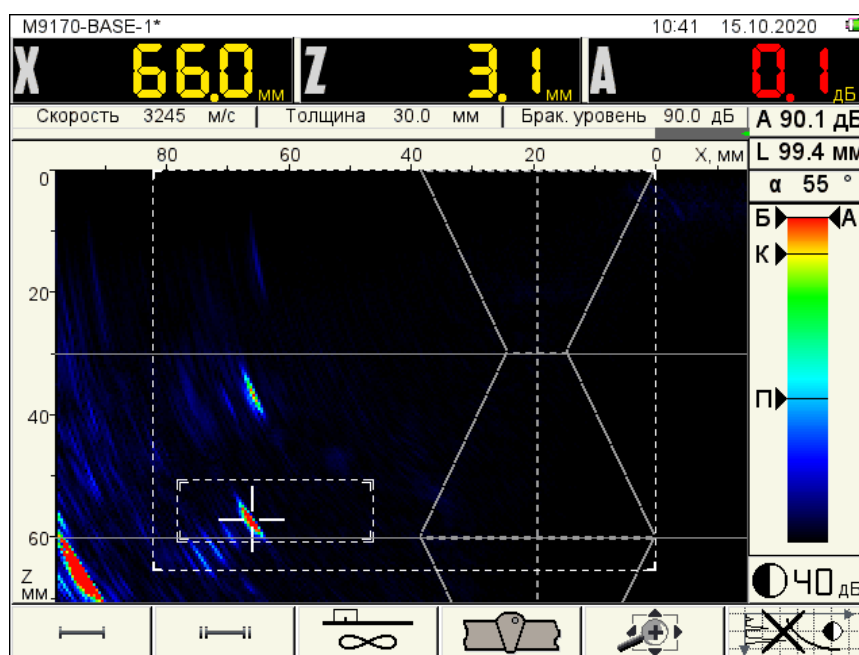


Рисунок 5-47 – Амплитуда БЦО на глубине 60 мм после установки ВРЧ

Настройка ВРЧ завершена. Теперь необходимо принять за опорный уровень сигнал от ПДО диаметром 3 мм ( $S_{э\kappa\beta} = 7,1 \text{ мм}^2$ ), так как согласно руководящему документу браковочный уровень равен  $S_{бр} = 7 \text{ мм}^2$ .

Установить АР на образец UCSB 007 напротив риски и направить её на ПДО на глубине 60 мм. Найти максимум сигнала (рисунок 5-48).

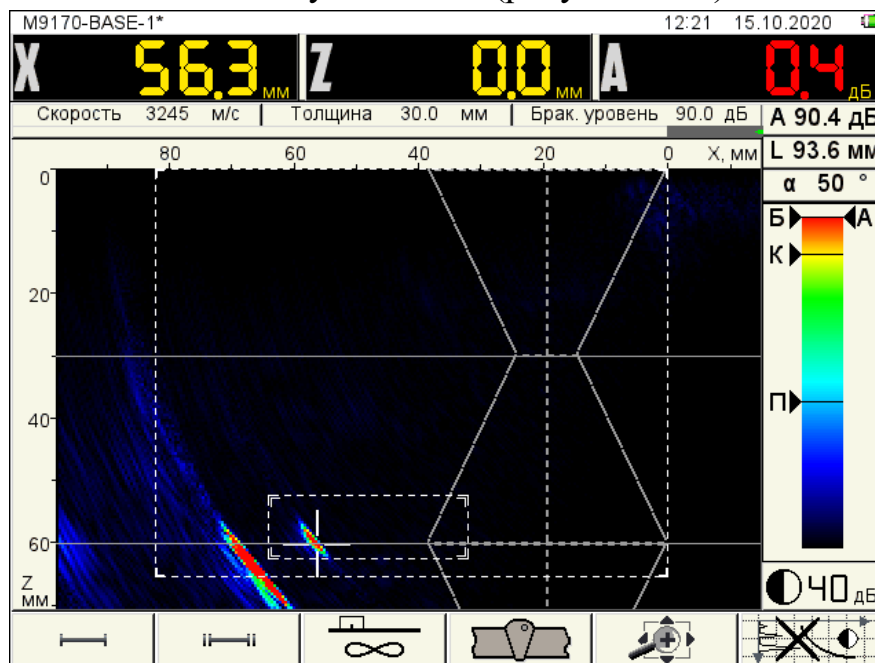


Рисунок 5-48 – Сигнал от ПДО на глубине 60 мм

Получилось, что амплитуда сигнала от ПДО диаметром 3 мм равна амплитуде от БЦО диаметром 3 мм, поэтому ранее установленный опорный уровень не меняем.

### 5.1.9. Коррекция чувствительности

Методика коррекции проводится в соответствии с ГОСТ Р ИСО 16811-2016.

Настроечные образцы, как правило, имеют более гладкую поверхность ввода и мелкозернистую структуру, соответственно малый коэффициент затухания, что не всегда совпадает с указанными характеристиками объекта контроля.

Для проверки идентичности чувствительности сравним сигналы от прямых углов на образце UCSB 007 и на объекте контроля (с помощью угольника убедиться в прямоугольности угла на свободном торце металлоконструкции). Толщина образца и ОК могут быть разные.

Значение параметра «Аналоговая ВРЧ» временно установить 0,0 дБ/мкс. Установить AP M9170 на образец UCSB 007 и найти максимум сигнала от нижнего угла прямым лучом при угле наибольшей чувствительности  $55^\circ$  (данную операцию можно делать и при других углах, но в данной процедуре они должны быть одинаковые). Считать с экрана показания  $L$  (путь по лучу) и амплитуду сигнала (рисунок 5-49).



Рисунок 5-49 – Образец UCSB 007. Значение  $L = 49,9$  мм,  $A = 3,8$  дБ

Найти максимум сигнала от верхнего угла (рисунок 5-50).

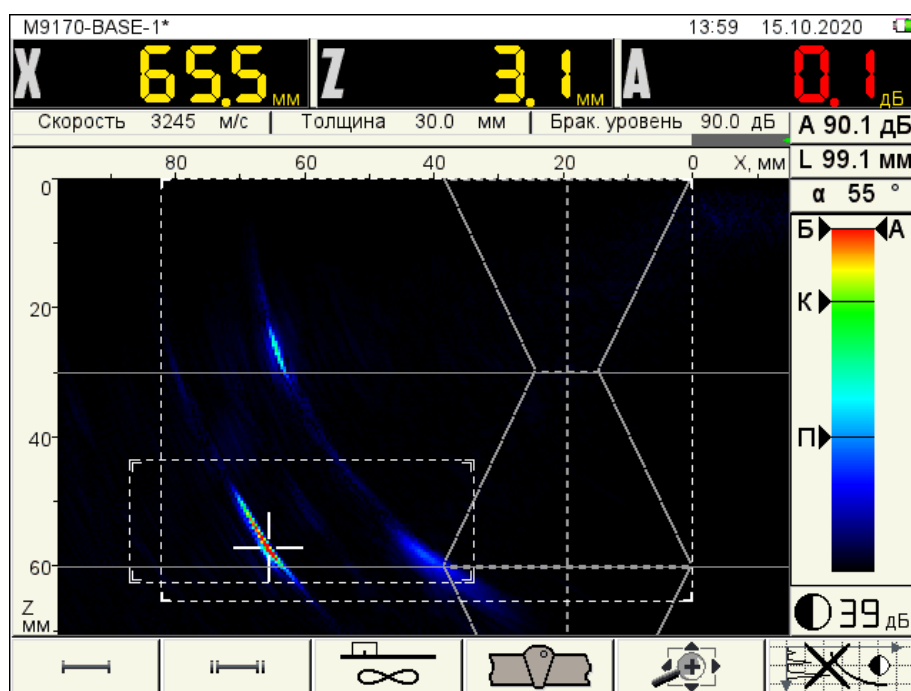


Рисунок 5-50 – Образец UCS 007. Значение  $L = 99,1$  мм,  $A = 0,1$  дБ

Установить АР М9170 на объект контроля и повторить те же операции (рисунки 5-51 и 5-52).



Рисунок 5-51 – Объект контроля. Значение  $L = 49,9$  мм,  $A = 0,6$  дБ

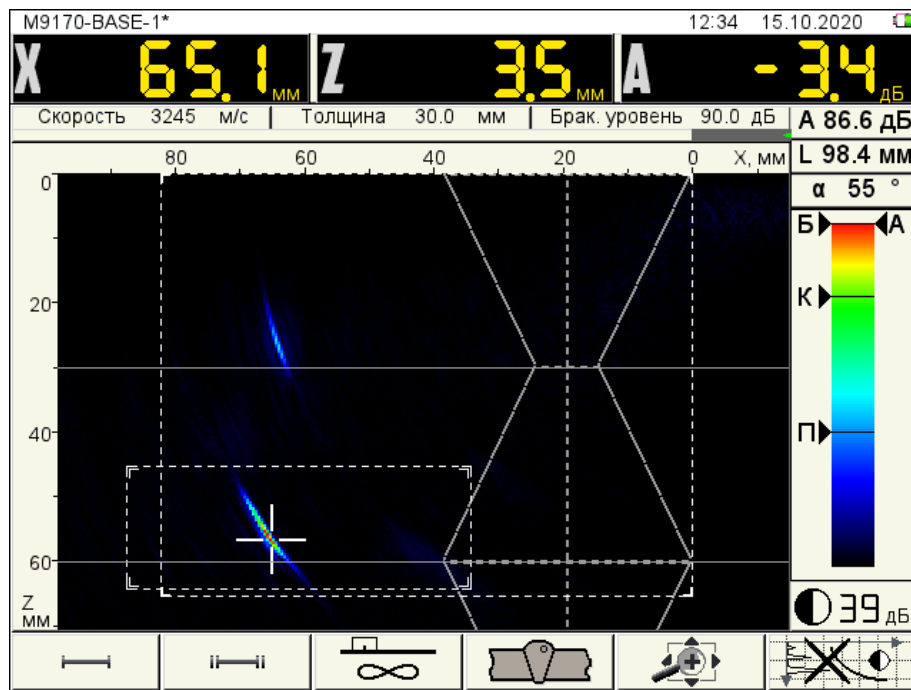


Рисунок 5-52 – Объект контроля. Значение  $L = 98,4$  мм,  $A = -3,4$  дБ

Для наглядности построим два графика с линиями тренда зависимости амплитуд от пути ультразвука, например, в MS Excel. Видно, что чувствительность к одинаковым отражателям отличается и разница чувствительности  $\Delta A$  немного увеличивается с расстоянием от 3,2 до 3,5 дБ (рисунок 5-53).

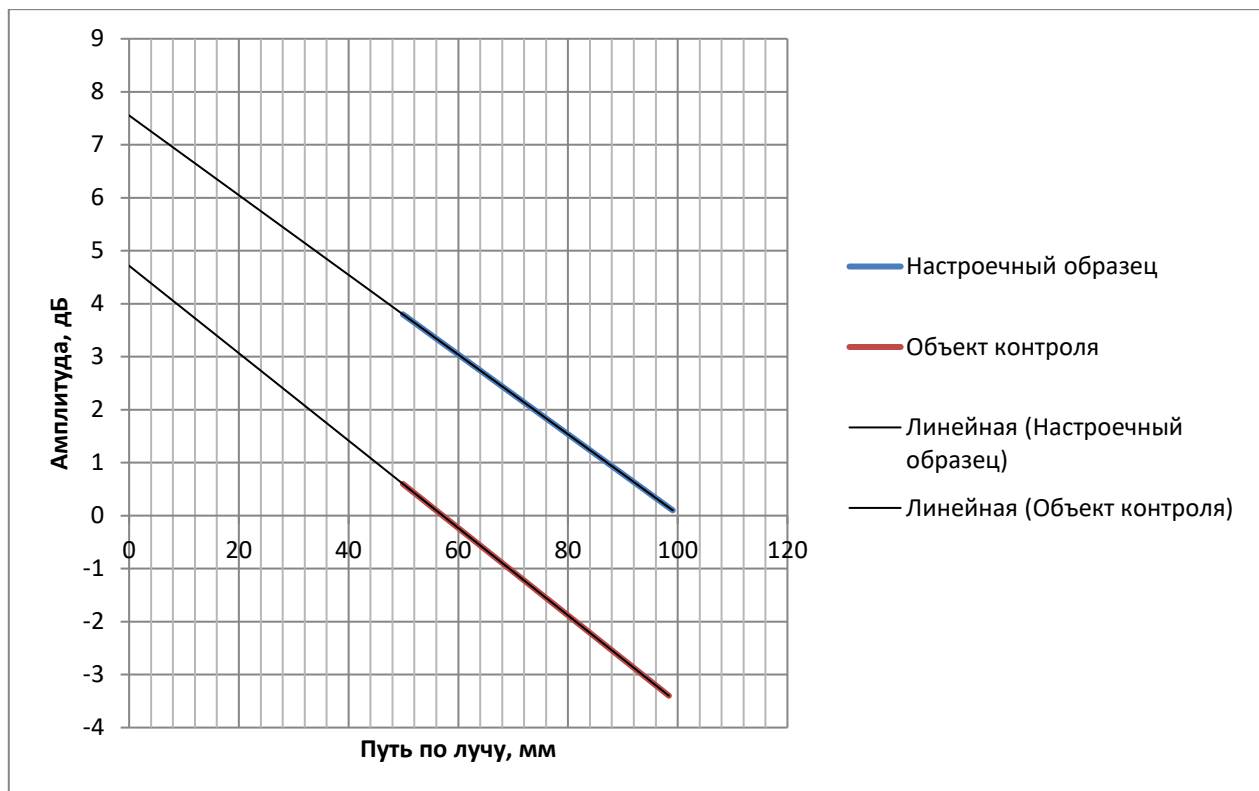


Рисунок 5-53 – График зависимости амплитуд от пути ультразвука

Это значит, что поверхность и акустические свойства образца и объекта контроля отличаются, разницу между ними необходимо учесть при контроле.

Зайти в режим НАСТРОЙКА и установить в строке «Поправка чувствительности, дБ» среднее значение разницы «-3,35 дБ».

Данная ситуация возникает довольно часто, даже если настроечный образец и объект контроля сделаны из одной и той же марки стали. Довольно часто бывает и обратная ситуация, при которой на настроечном образце сигналы меньше, чем на объекте контроля.

Поэтому, если есть возможность, рекомендуется проводить данную процедуру в обязательном порядке, особенно на сварных соединениях металлоконструкций первой категории.

Возвращаем в параметр «Аналоговая ВРЧ» установленное ранее значение 0,3 дБ/мкс.

Проверяем настройку по БЦО на образце UCS 007. Амплитуда сигналов от БЦО теперь имеет значение +3 дБ с погрешностью до  $\pm 2$  дБ (рисунок 5-54).

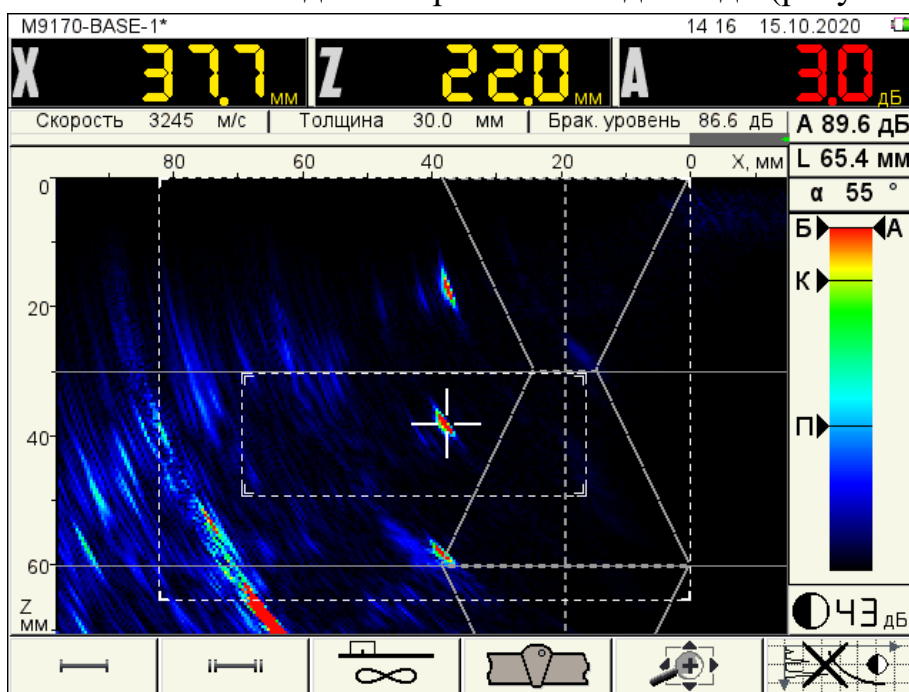




Рисунок 5-54 – Сигнал от БЦО на глубине 40 мм.

Клавишами  и  установить рабочее значение контрастности изображения, таким образом, чтобы справа на шкале уровней чувствительности уровни Б (Браковочный), К (Контрольный), П (Поисковый) делили шкалу на визуально равные доли, как показано на рисунке 5-55. Рабочее значение контрастности установили 41 дБ.

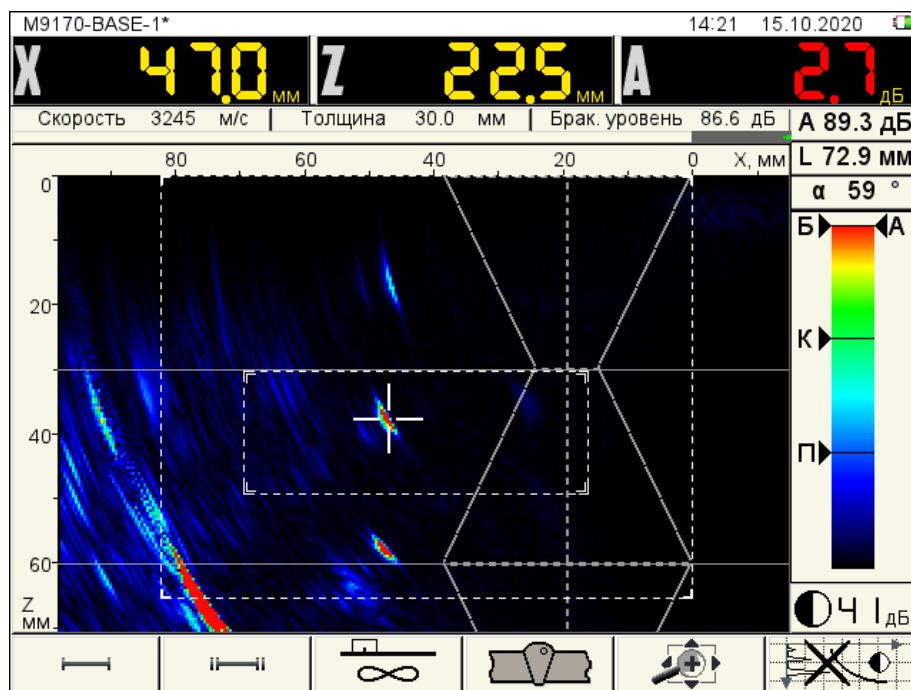


Рисунок 5-55 – Установка рабочего значения контрастности 41 дБ

Настройка чувствительности завершена.

Коррекцию чувствительности можно не делать, если настроечный образец сделан из того же материала, что и объект контроля, и у них совпадают:

- шероховатость поверхности сканирования;
- марка стали;
- термическая обработка.

Выходим из режима редактирования конфигурации и сохраняем её в память прибора под именем «С17-30мм С345». Настройка завершена. Переходим к контролю сварного соединения.



## 5.2. Пример № 2 AP M9170, толщина 14,5 мм

Контроль сосуда, работающего под давлением, в процессе эксплуатации:

- материал Сталь 17Г1С;
- стыковое сварное соединение С21 по ГОСТ 5264-80;
- толщина 14,5 мм;
- ширина верхнего валика 20 мм;
- угол разделки 25°;
- оценка качества по СТО 00220256-005-2005 «Швы стыковых, угловых и тавровых сварных соединений сосудов и аппаратов, работающих под давлением. Методика ультразвукового контроля»;

Методика ультразвукового контроля»;

- предельная чувствительность (браковочный уровень)  $S_{бр} = 2 \text{ мм}^2$  (площадь плоскодонного отверстия);
- калибровочный образец – мера СО-3
- настроечный образец – пластина толщиной 15 мм с зарубками 2×2 мм шероховатость Ra2,5.

Контроль данного сварного соединения рекомендуется проводить антенной решёткой M9170.

### 5.2.1. Калибровка задержки антенной решётки и скорости ультразвука на мере СО-3

Провести калибровку задержки и скорости по методике, приведённой в пункте 5.1.1.

### 5.2.2. Установка рабочего усиления

Подключить AP M9170 к прибору.

Установить AP на настроечный образец (рисунок 5-56).

Установить усиление прибора согласно пункту 5.1.3.



Рисунок 5-56 – Положение AP на НО с зарубками

Усиление, при котором сигнал от нижнего угла не уходит в ограничение, составляет 29 дБ (рисунок 5-57).

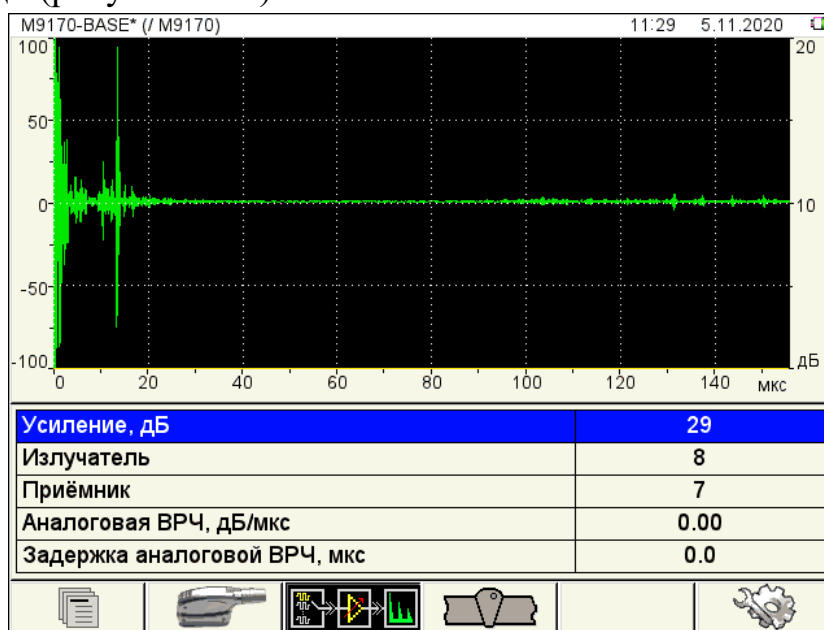


Рисунок 5-57 – Установка рабочего значения усиления

### 5.2.3. Настройка скорости ультразвука

После установки рабочего усиления, для удобства, поменяем порядок действий и сначала настроим скорость ультразвука и проверим глубиномер.

В режиме НАСТРОЙКА в первой закладке в строке «Толщина» установить значение 15 мм (толщина настроечного образца).

В рабочем режиме клавишей F3 включить режим вертикальных трещин.

Установим АР на настроечный образец и получить образ торца при скорости 3250 м/с, которая установлена по умолчанию (рисунок 5-58).

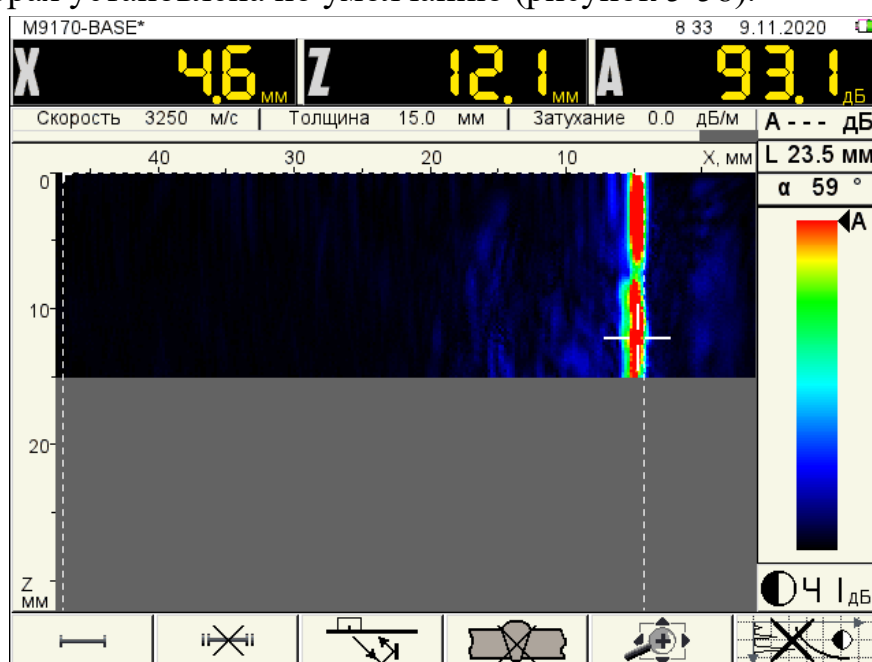


Рисунок 5-58 – Образ торца настроечного образца

Подведя к образу торца вертикальную линию строба, видно, что его верхняя и нижняя кромка находятся на одной линии, т. е. скорость, установленная по умолчанию, является фактической скоростью в данном образце.

На сосуде есть торец, но только с закругленными углами, он подойдет для калибровки скорости. Установить АР напротив торца и повторить калибровку (рисунок 5-59).

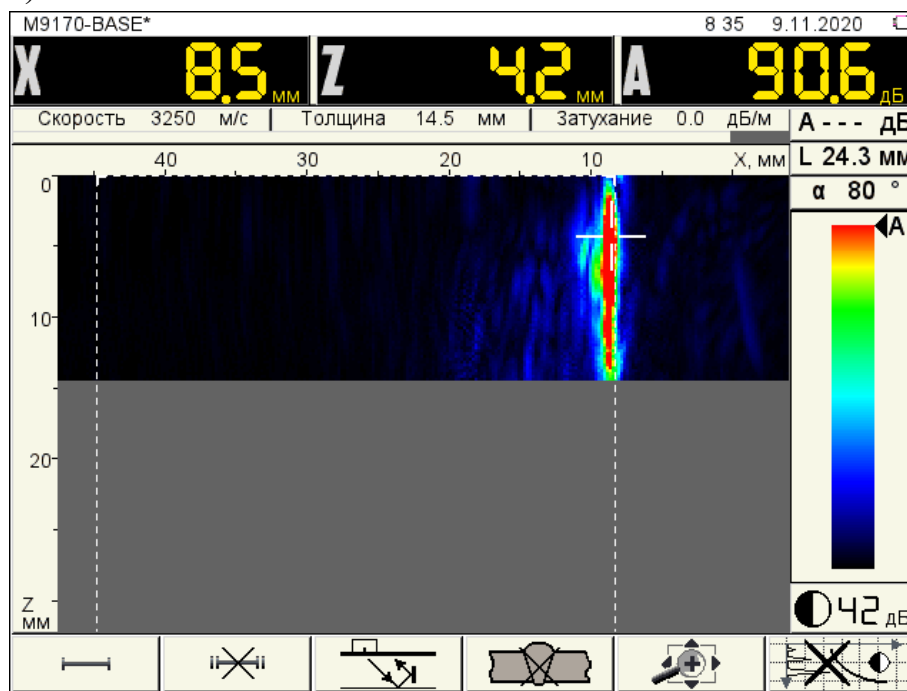


Рисунок 5-59 – Образ торца на сосуде

Образ торца ровный, верхняя и нижняя часть находятся на одной линии, значит скорость 3250 м/с является правильной и для сосуда.

#### 5.2.4. Проверка глубиномера

Проверим глубиномер прибора.

Клавишей **F3** переключиться в режим реконструкции – полупространство, найти сигнал от ближней и от дальней зарубки при малых направляющих углах (рисунки 5-60 и 5-61).

Координаты по глубине  $Z$  и по дальности  $X$  показывают значения с допустимой погрешностью  $\pm 1,0$  мм. Глубиномер проверен.

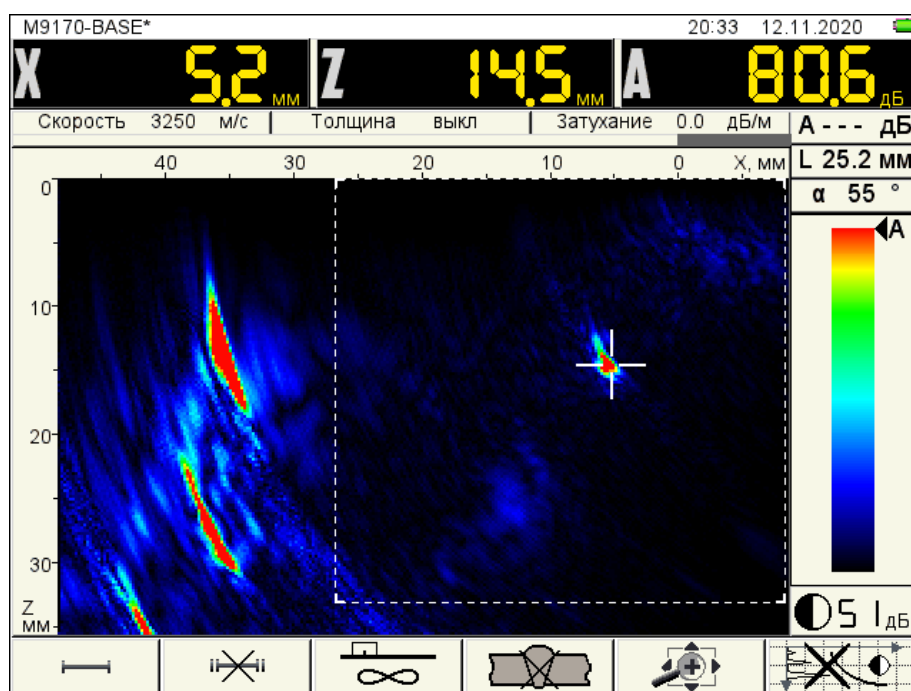


Рисунок 5-60 – Проверка глубиномера на ближней зарубке

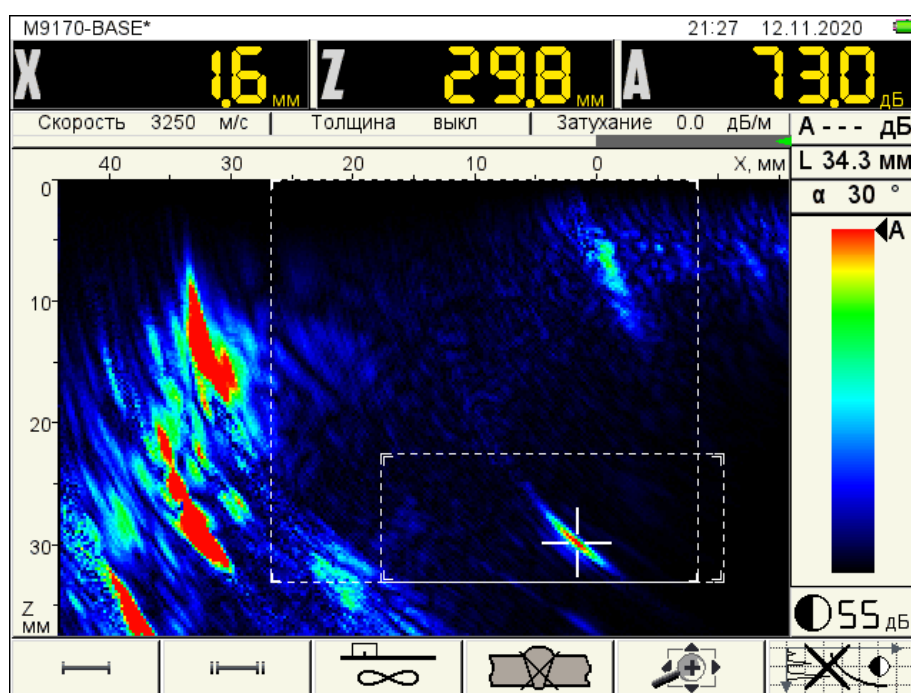


Рисунок 5-61 – Проверка глубиномера на дальней зарубке

### 5.2.5. Настройка масштаба изображения (скорости развертки), зоны контроля и маски сварного шва

В параметре «Толщина» установить значение толщины сосуда 14,5 мм.

В рабочем режиме установить масштаб изображения до глубины 30 мм.

Границы первого строга установить визуально так, чтобы охватить практически всю видимую область на экране.

Установить маску сварного шва по его фактическим размерам вплотную к антенной решётке, ширина верхнего валика  $e = 20$  мм, ширина внутреннего валика <https://a3-eng.com/>

$eI = 6$  мм (размер внутреннего валика определяет угол разделки кромок  $\alpha = 25,8^\circ$ ) (рисунок 5-62).

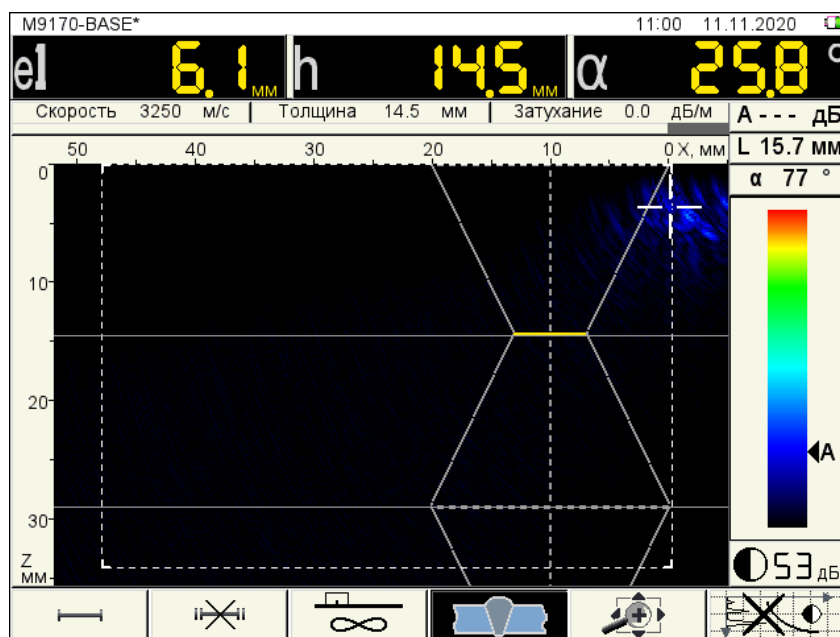


Рисунок 5-62 – Установка масштаба, первого строга и маски сварного шва

Установить АР на сварное соединение сосуда вплотную к валику усиления в начальной точке, положение 1. Вид экрана приведен на рисунке 5-63.

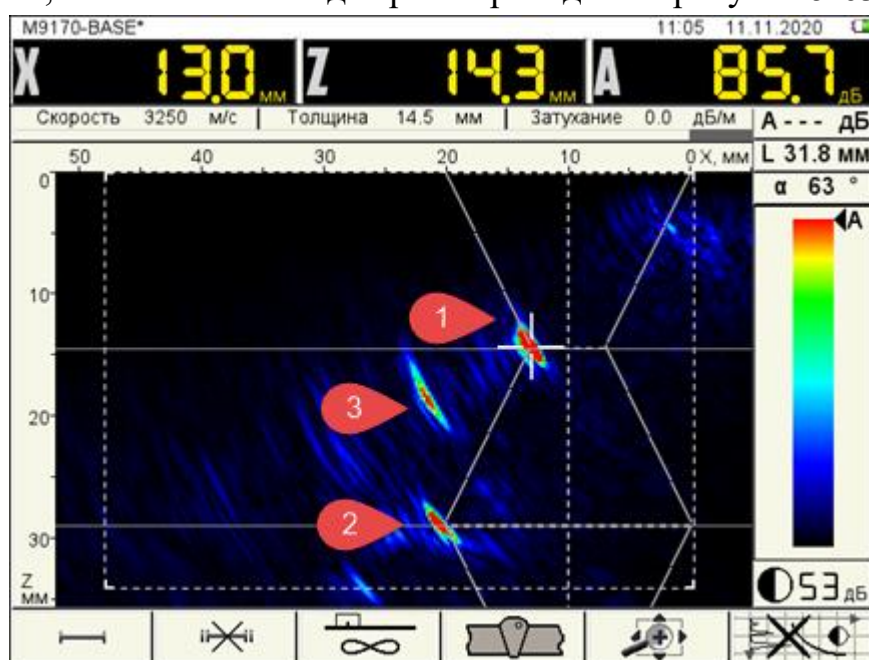


Рисунок 5-63 Образы ложных отражателей на сварном шве. Положение 1.

Установить АР в другом произвольном месте (рисунок 5-64).



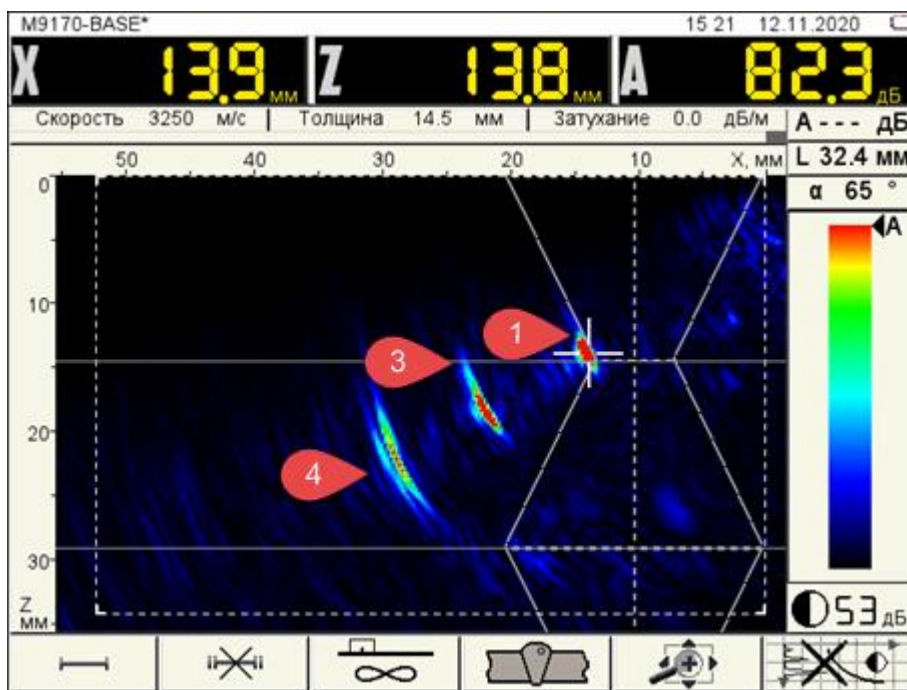


Рисунок 5-64 – Образы ложных отражателей на сварном шве. Положение 2.

При сканировании вдоль сварного шва вплотную к нему, указанные отражатели то появляются, то пропадают. Это ложные отражатели, давайте проанализируем их.

**Ложный отражатель № 1** – это образ отражённой поперечной волны от внутреннего валика (провисания) сварного шва. Сигнал находится на глубине 14,3 и 13,4 мм, потому что в околошовной зоне толщина меньше номинальной (технологический дефект) и имеет значения от 13,5 до 14,3 мм (измерения толщины проведены откалиброванным ультразвуковым толщиномером).

**Ложный отражатель № 2** – это образ отражённой поперечной волны от внешнего (верхнего) валика усиления (рисунок 5-65).

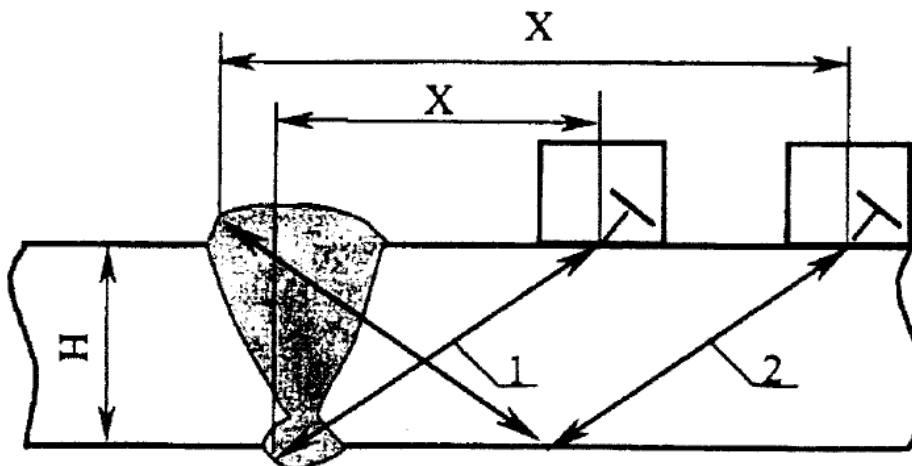


Рисунок 5-65



Данные сигналы можно пальпировать, но на экране прибора данное явление практически незаметно, так как образ отражателя имеет небольшой размер, и заметить его уменьшение визуально довольно сложно. Пальпирование можно увидеть при выборе увеличенного масштаба изображения.

*Что физически происходит, когда мы пальпируем поверхность металла в том месте, куда приходит ультразвуковая волна?*

*В объекте контроля с помощью любого преобразователя, неважно АР или ПЭП, возбуждается поперечная волна вертикальной поляризации SV. В этой волне, падающей на поверхность под углом, есть составляющие смещений, перпендикулярные и параллельные поверхности. Палец действует на перпендикулярные составляющие, отражённая SV волна из-за этого ослабевает. Если посмотреть на амплитуду сигнала до пальпации и после, то разница составит всего 0,2-0,5 дБ. На А-Скане это можно наблюдать, на В-Скане не всегда это заметно.*

**Ложный отражатель № 3** – это образ волны, которая отразилась от внутреннего валика (провисания), трансформировалась в продольную волну, отразилась от верхнего валика, пришла обратно на нижний валик, трансформировалась обратно в поперечную и пришла обратно на преобразователь (рисунок 5-66).

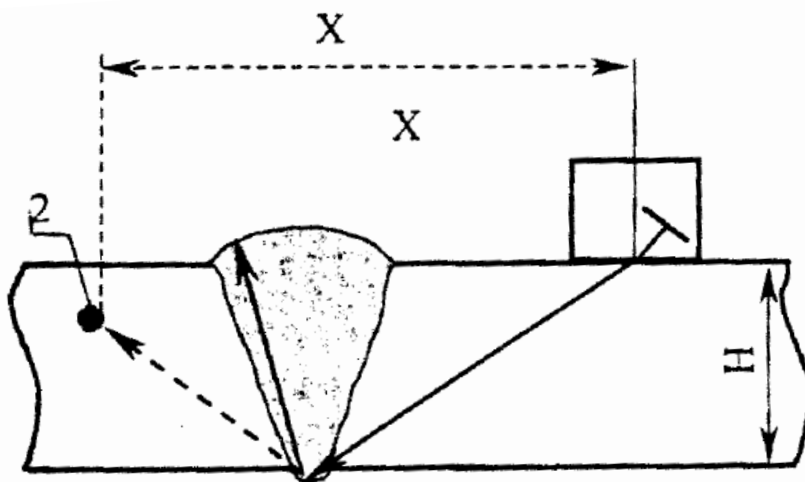


Рисунок 5-66 – Путь ультразвуковой волны при возникновении ложного отражателя № 3

**Ложный отражатель № 4** – это путь волны, описанный для ложного отражателя № 3, только продольная волна проделала путь от верхнего валика до нижнего два раза.

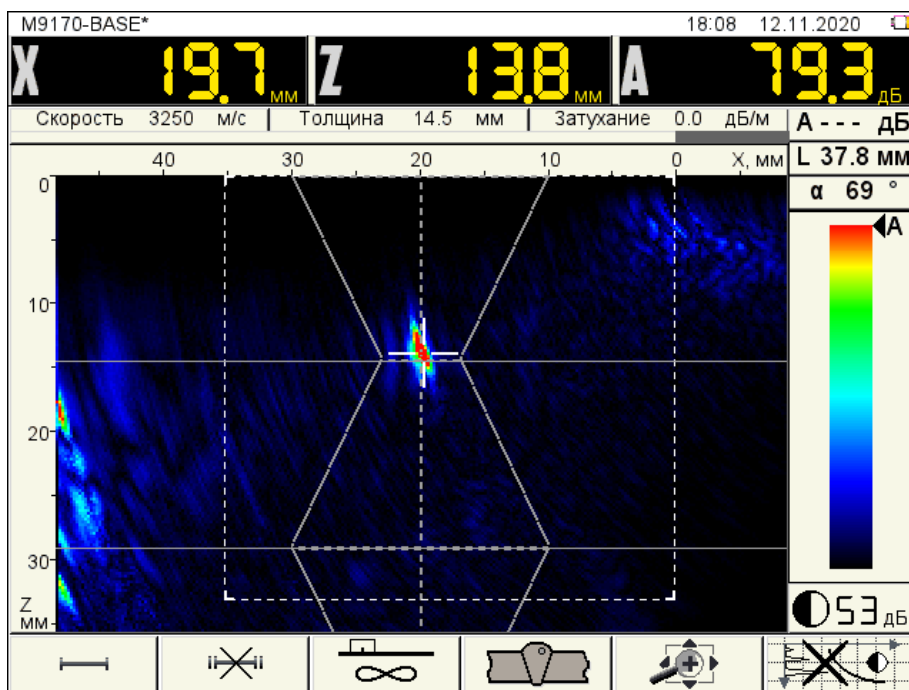
При наличии ложных отражателей проводить контроль методом поперечно-продольного сканирования (растровый метод) можно, но сложно. В этом случае

лучше применить сканирование вдоль шва на определенном расстоянии (отступе) от него, т. е. применить линейное сканирование.

Для установки этого отступа сначала определим границы зоны контроля. В руководящем документе СТО 00220256-005-2005 контроль зоны термического влияния (ЗТВ) не определен. Но дефекты могут быть в этой зоне, поэтому примем решение проводить контроль сварного шва и ЗТВ шириной 10 мм (ГОСТ 17640-2016).

На экране прибора отодвигаем маску сварного шва на расстояние  $X0 = 20$  мм (ширина ЗТВ 10 мм плюс половина ширины валика усиления сварного шва). Границы строба выставляем по глубине  $Z1 = 0$  мм,  $Z2 = 34$  мм (прямой и однократно-отраженный луч плюс запас на валик усиления). По дальности границы строба получаются следующими  $X2 = 0$  мм,  $X1 = 35$  мм (ЗТВ 10 мм плюс ширина верхнего валика 20 мм плюс запас на неравномерность линейного перемещения АР 5 мм, указанный запас не является строгой константой, а зависит от навыков оператора и удобства при сканировании и определяется практическим испытанием). Устанавливаем АР М9170 на настроечный образец, направляем её на ближнюю зарубку. Рисунок 5-67 демонстрирует образ ближней зарубки с установленным масштабом изображения, зону контроля (первый строб) и маску сварного шва.

На данном рисунке мы видим образ ближней зарубки, который должен находиться на глубине 15 мм. Но глубиномер показывает координату  $Z = 13,8$  мм. Это связано с большим углом озвучивания  $\alpha = 69^\circ$ . Причины этого рассмотрены в пункте 5.1.7.



**Рисунок 5-67 – Установка масштаба, зоны контроля, маски шва с образом ближней зарубки**

### 5.2.6. Настройка чувствительности

Амплитуда ближней зарубки на рисунке 5-67  $A_b = 79,3$  дБ. Установим АР напротив дальней зарубки и поместим образ в центр маски шва. Мы увидим, что максимальная амплитуда сигнала от дальней зарубки  $A_d = 81,8$  дБ больше, чем от ближней (рисунок 5-68). Данная ситуация характерна при настройке чувствительности АР на настроечных образцах типа пластин толщиной до 20 мм включительно. Конечно, если мы выберем другое расстояние до зарубки, например, меньшее, то амплитуда сигнала от ближней зарубки станет больше, чем от дальней, т. е. ситуация будет как в классическом ультразвуке.

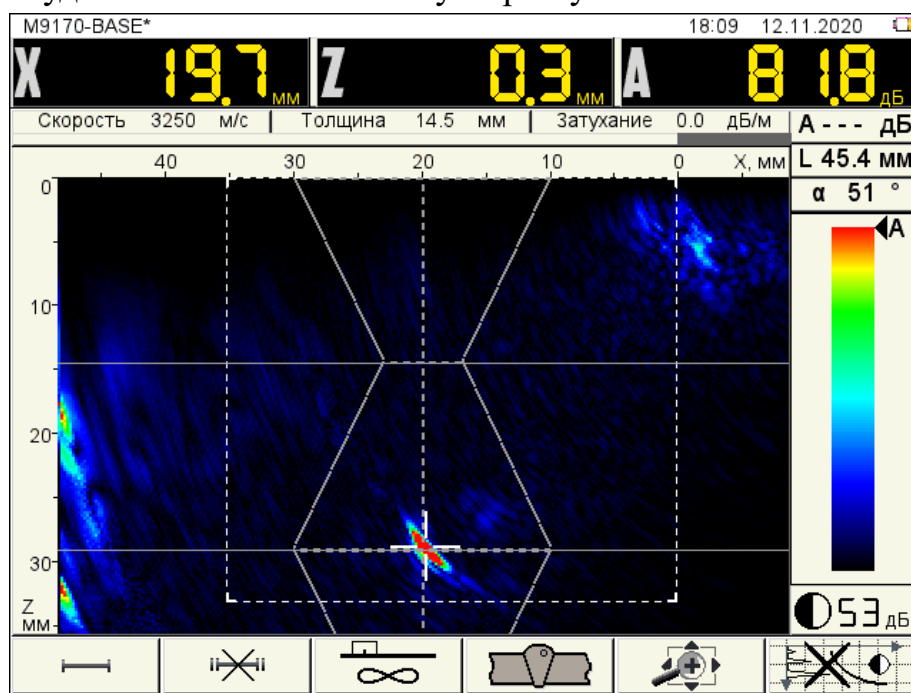
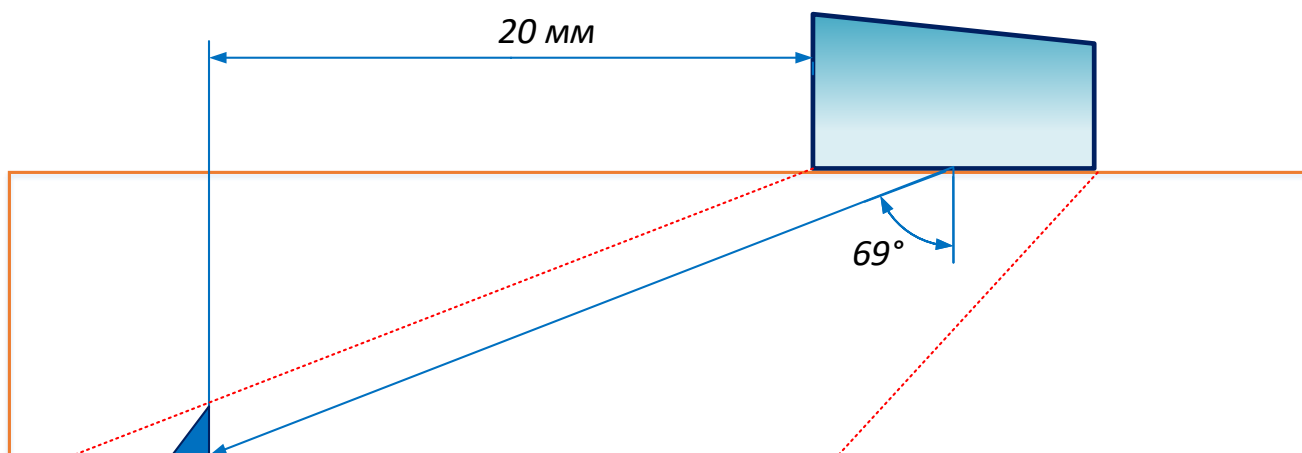
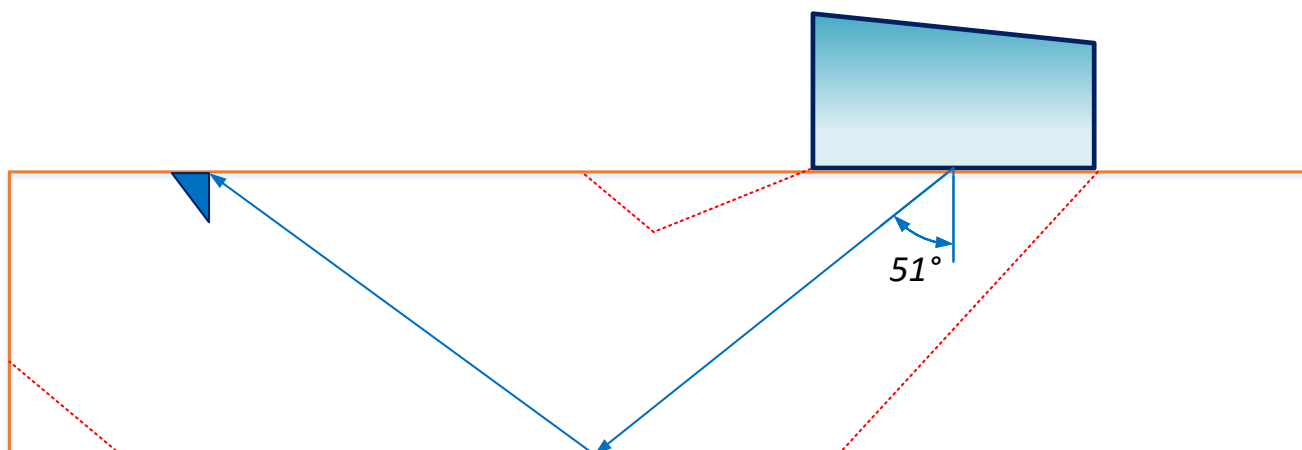


Рисунок 5-68 – Образ дальней (верхней) зарубки

Это происходит по следующей причине. Ближняя зарубка при выбранном нами расстоянии 20 мм до неё озвучивается не оптимальными углами. Дальняя зарубка наоборот озвучивается оптимальными углами (рисунок 5-69).





**Рисунок 5-69 – Границы диаграммы направленности АР и направляющие углы при отступе 20 мм**


Если устанавливать АР на разных расстояниях от зарубки в пределах зоны контроля, видно, что амплитуда образов имеет «размытую» зону максимума сигнала и значительное падение сигнала на краях зоны контроля. В ПРИМЕРЕ № 1 мы выравнивали чувствительность только по дальности ультразвуковой волны, так как применяли растровое сканирование, при котором производится поиск максимума сигнала от отражателя. При линейном сканировании вдоль шва необходимо, чтобы чувствительность во всей зоне контроля была одинаковой при одном положении АР относительно шва, поэтому необходимо выравнивать чувствительность не только по дальности, но и по всем возможным направляющим углам контроля.

Для решения этой задачи применим способ выравнивания чувствительности по **варианту 3**. Настроим пространственную регулировку чувствительности ПРЧ.

Включить второй строб, размеры его должны быть такими, чтобы ими можно было захватывать сигнал только от одной зарубки, а сигналы от углов настроечного образца не попадали в этот строб.

В режиме НАСТРОЙКА на строке ПРЧ нажать клавишу  и войти в режим настройки ПРЧ.

Установить АР так, чтобы образ ближней зарубки оказался около правой границы зоны контроля (порядок создания узловых точек на самом деле не важен, но предлагаемый способ наиболее удобен).

Нажать клавишу , на образе отражателя появляется жёлтая точка (узловая точка).

Переместить АР от зарубки примерно на 5 мм и повторить процедуру сохранения следующей узловой точки.

Повторяем данные действия на всей ширине зоны контроля (рисунок 5-70).

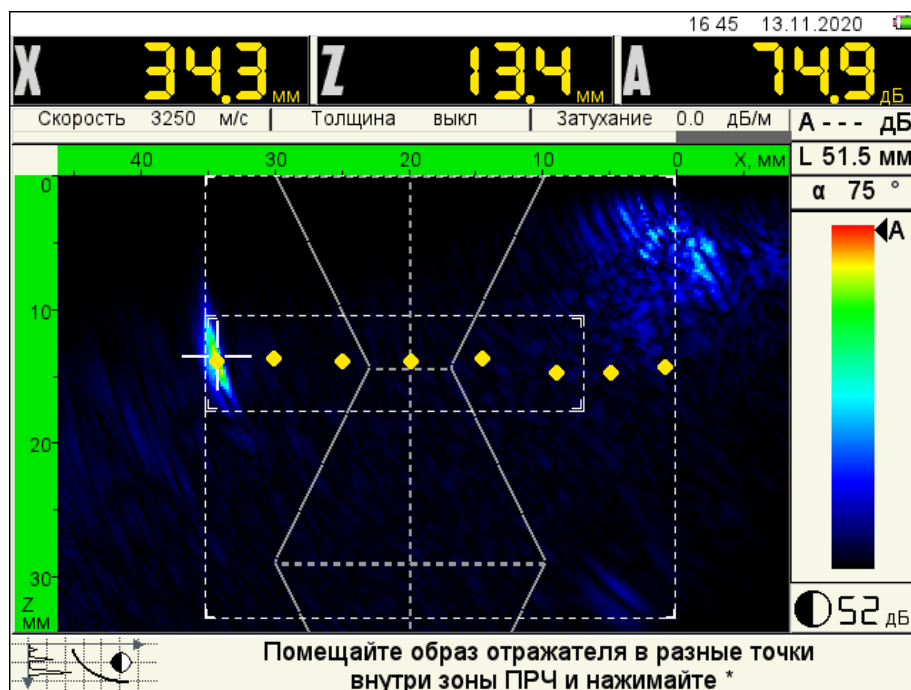


Рисунок 5-70 – Построение ПРЧ по ближней зарубке

Установить АР напротив дальней (верхней) зарубки и повторить действия по сохранению узловых точек (рисунок 5-71).

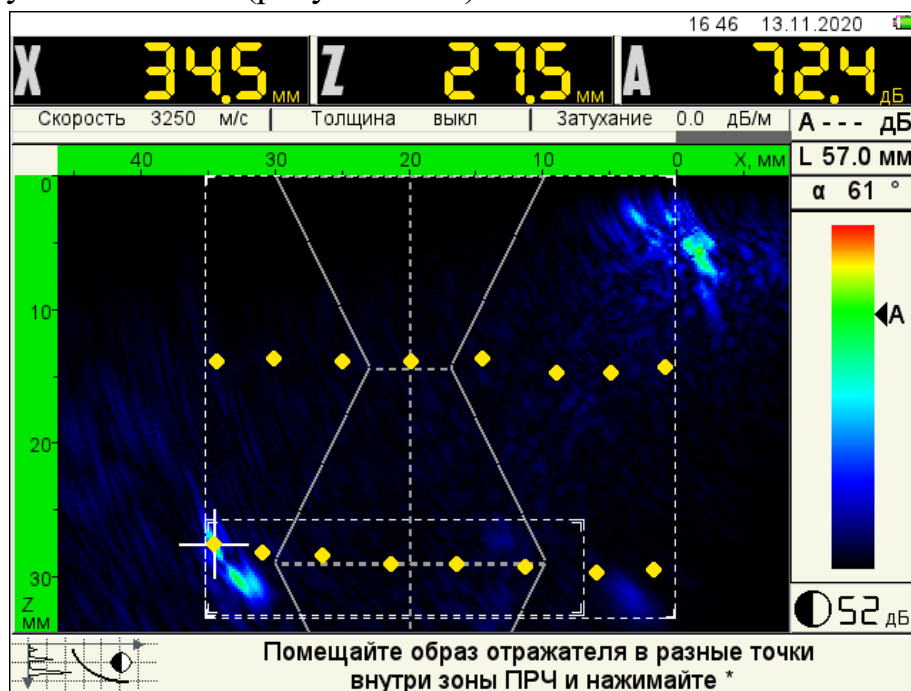



Рисунок 5-71 – Построение ПРЧ по дальней зарубке

Сохранить ПРЧ.

Теперь необходимо определить опорный уровень.

На строке «Опорный уровень» нажать клавишу , установить АР в положение, когда сигнал от любой зарубки находится примерно в середине зоны контроля и сохранить его. Получили  $A_{опорный} = 82,6$  дБ (рисунок 5-72).



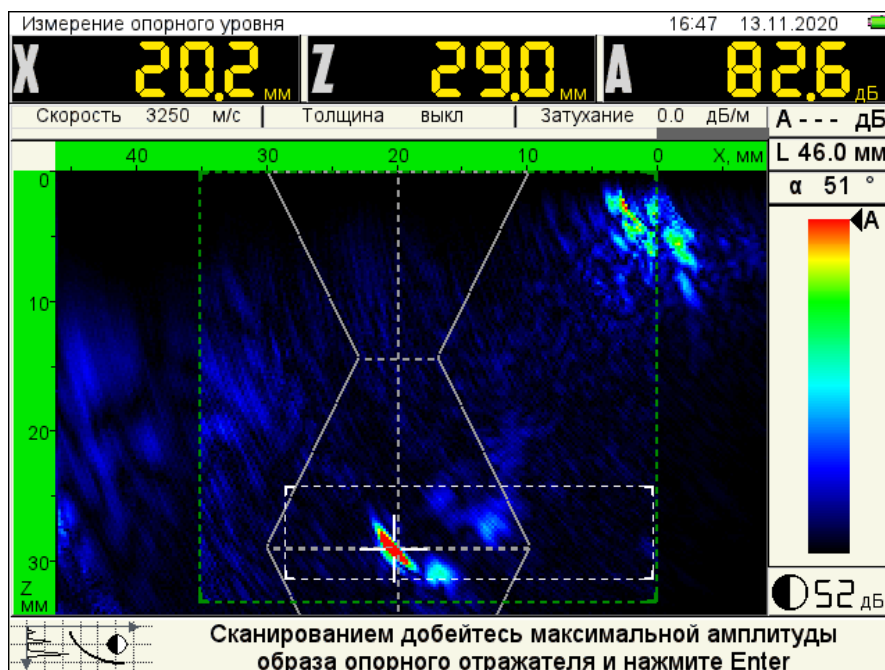




Рисунок 5-72 – Фиксация опорного уровня

Проверяем правильность настройки ПРЧ.

Для этого в рабочем режиме перемещаем АР и помещаем образы ближней и дальней зарубки в разные места зоны контроля. Амплитуда сигналов должна составлять ( $A_{\text{опорный}} \pm 2$ ) дБ. Клавишами  и  установить рабочее значение контрастности изображения, таким образом, чтобы справа на шкале уровней чувствительности уровни Б (Браковочный), К (Контрольный), П (Поисковый) делили шкалу визуально на равные доли. Уровень контрастности равен 47 дБ.

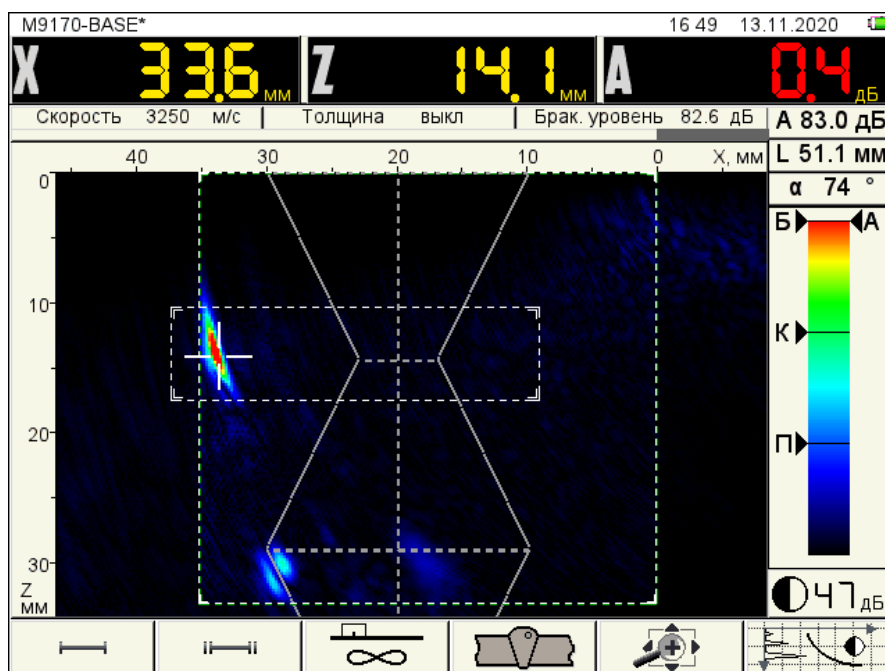


Рисунок 5-73 – Амплитуда от ближней зарубки +0,4 дБ к опорному уровню на левой границе зоны контроля – в допуске



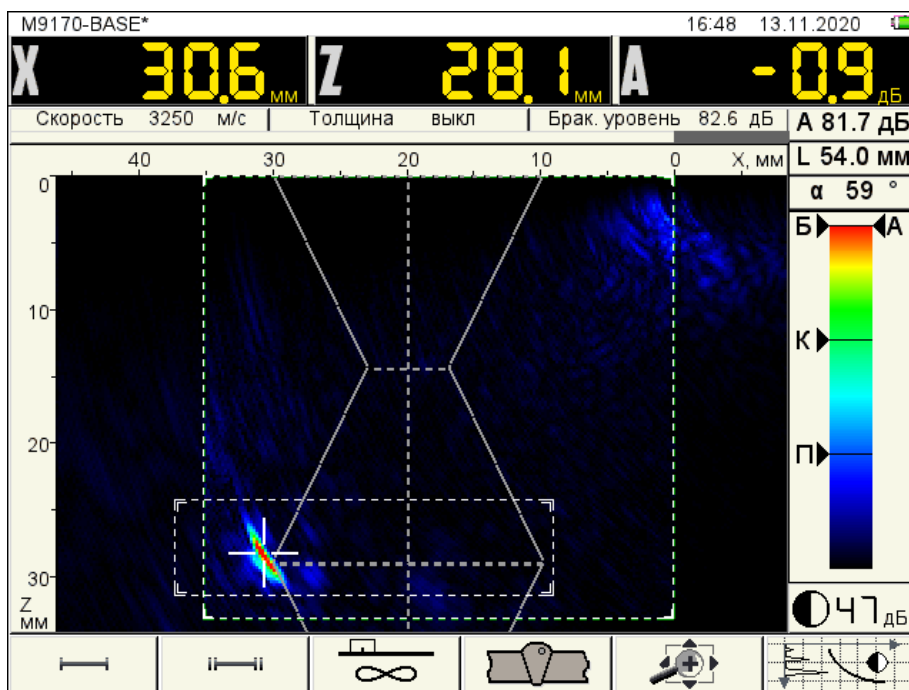


Рисунок 5-74 – Амплитуда от дальней зарубки -0,9 дБ к опорному уровню на левой границе зоны контроля – в допуске

Размер зарубки на настроечном образце размером 2×2 мм является максимально допустимым для данного сварного соединения согласно СТО 00220256-005-2005, т. е. амплитуда сигнала от неё будет являться не только опорным, но и браковочным уровнем.

На сосуде есть отражатели типа прямоугольный угол, но они закругленные, поэтому коррекцию чувствительности провести не сможем.

Сталь 20 и сталь 17Г1С имеют практически одинаковые акустические свойства, толщина относительно небольшая, поэтому возможной разницей затуханий можно пренебречь, требуется только обеспечить шероховатость поверхности, по которой будем сканировать АР, такую же, как на настроечном образце.

Выходим из режима редактирования конфигурации и сохраняем ее в память прибора под именем «С21-14,5мм 17Г1С». Настройка завершена. Переходим к контролю.

### 5.2.7. Проведение контроля

Перед контролем необходимо обязательно нарисовать линию перемещения АР на поверхности металла.

Нанести контактную жидкость.

Установить АР в начало сварного шва на расстоянии 20 мм от фронта АР до середины сварного шва.

Со скоростью не более 50 мм/с перемещать АР вдоль него и следить за образами на В-Скане.

На экране наблюдаем образы от ложных отражателей. При появлении в зоне контроля новых сигналов отличных от ложных, остановить сканирование и исследовать отражатель, перемещая АР не только вдоль шва, но и поперек него (рисунок 5-75).

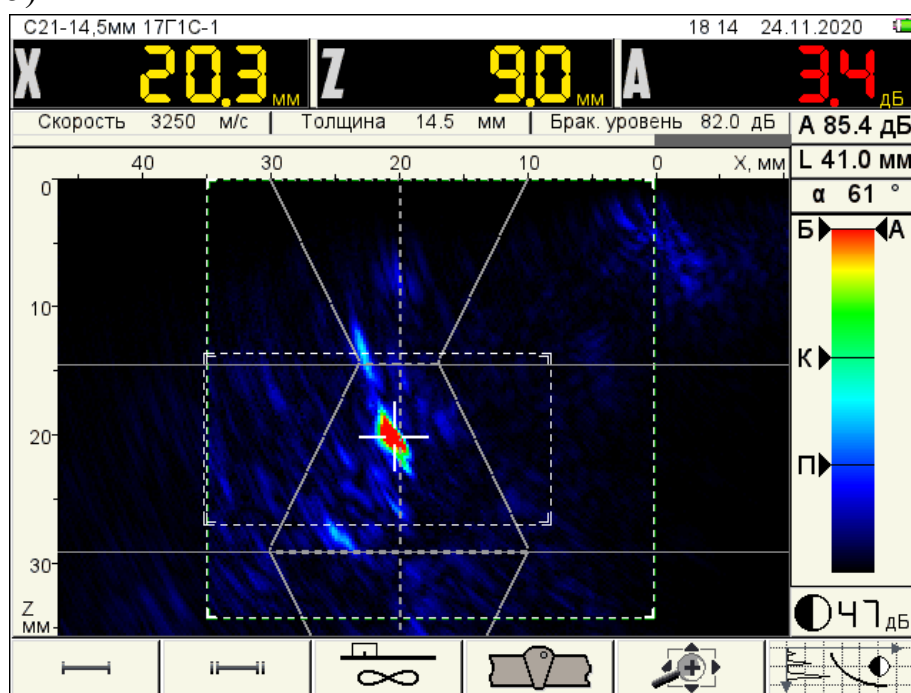


Рисунок 5-75 – Образ отражателя № 1

На координате вдоль шва  $Y = 115$  мм от нуля на глубине  $Z = 9$  мм обнаружен отражатель № 1, превышающий браковочный уровень на 3,4 дБ. Найдём максимум сигнала, перемещая АР вдоль и поперек сварного соединения. При движении АР вдоль шва видно, что отражатель имеет протяженность вдоль него.

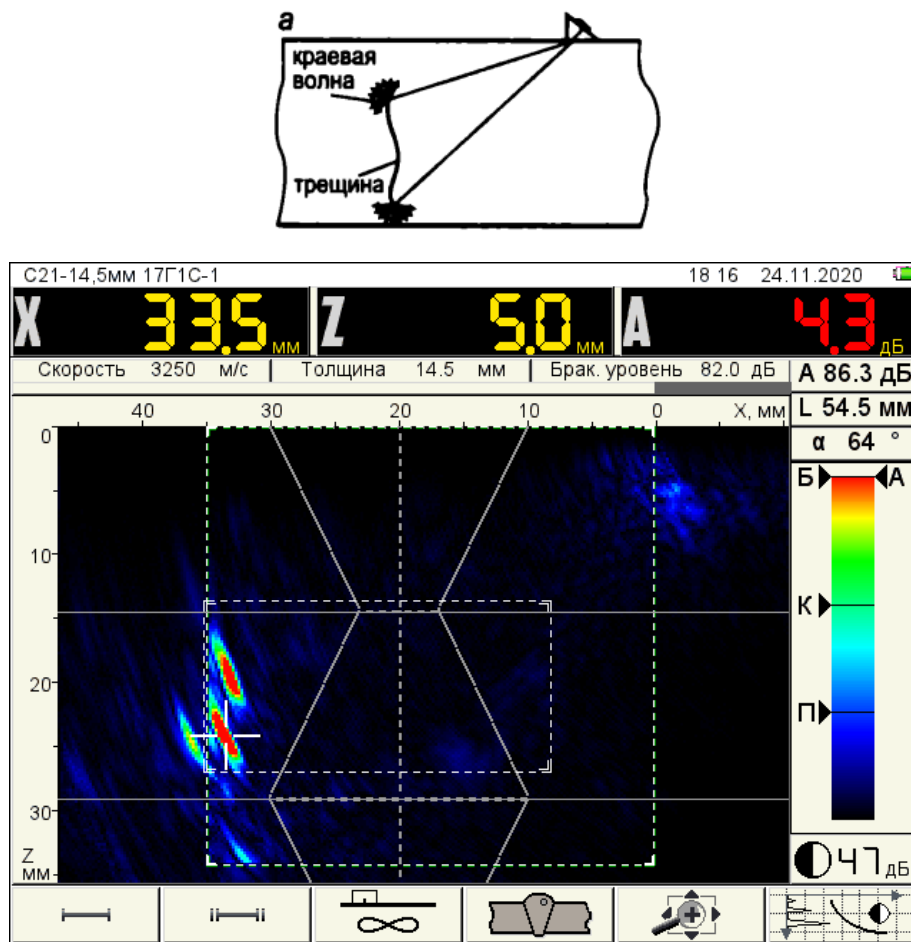


Рисунок 5-76 – Максимум сигнала от отражателя № 1

На рисунке 5-76 в положении максимума сигнала наблюдаем два образа, находящихся один под другим. Здесь можно с большой вероятностью предположить, что это сигналы от крайних точек вертикальной трещины. Отметим положение отражателя относительно фронта АР на поверхности сканирования, которое равно  $X = 33,5$  мм. Отражатель находится в середине шва.

Просканируем сварной шов с противоположной стороны в месте, где обнаружен отражатель № 1. Отметим положение отражателя от фронта АР. Положение соответствует середине шва. Т. е. координаты не пересекаются – это, дополнительно подтверждает, что отражатель № 1 является несплошностью.

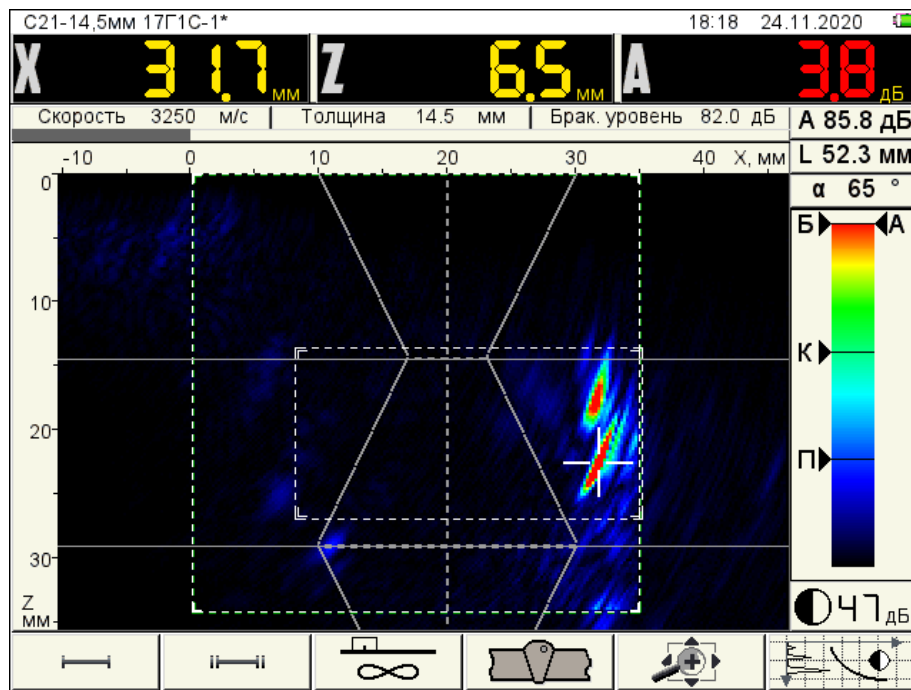




Рисунок 5-77 – Отражатель № 1 с противоположной стороны

#### 5.2.7.1. Измерение условной высоты отражателя

Для измерения условной высоты трещины следует:

- нажать клавишу  для замораживания изображения;
- нажать клавишу  для включения режима измерения между двумя курсорами;
- выставить курсоры визуальнo на центры отражателей;
- условная высота трещины составляет  $\Delta Z = 4,7$  мм.

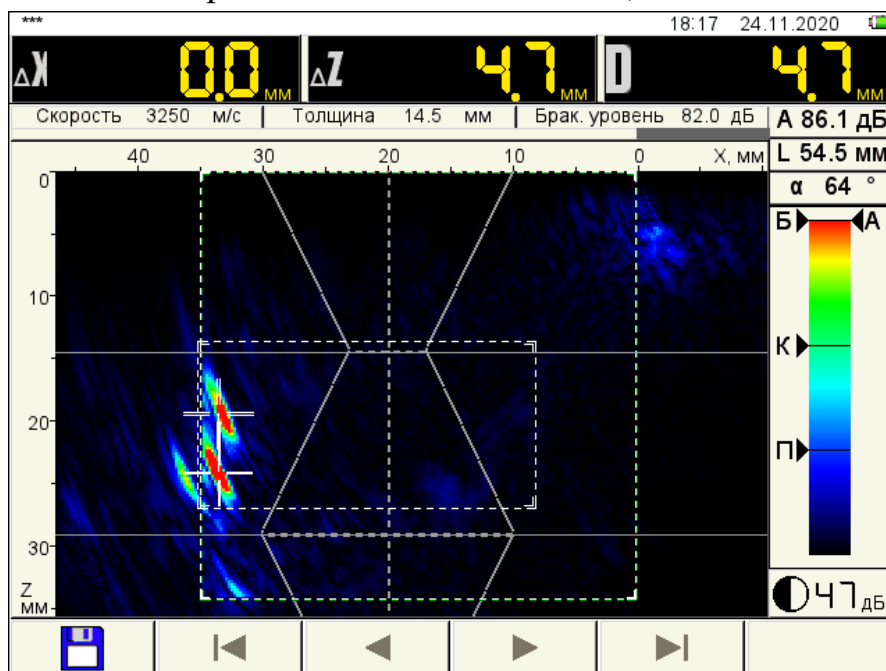


Рисунок 5-78 – Измерение условной высоты трещины

Рисунок 5-79 к нашему шву отношения не имеет, он поясняет, какие виды условных размеров могут быть измерены и показываются в верхней измерительной строке:

$\Delta X$  – условная ширина отражателя;

$\Delta Z$  – условная высота отражателя;

$D$  – фронтальная протяжённость отражателя.

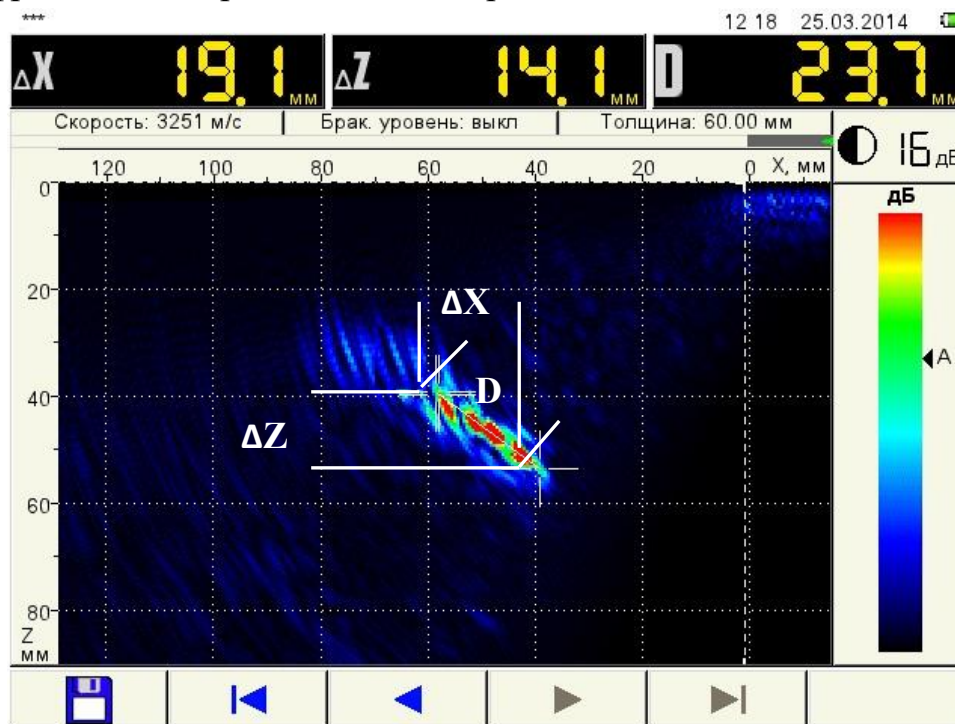


Рисунок 5-79 – Измерение условных размеров отражателя

#### 5.2.7.2. Измерение условной протяженности отражателя вдоль шва

Для измерения условной протяжённости отражателя № 1 следует:

– в положении АР в максимуме сигнала, стараясь выдерживать одинаковое расстояние от шва, сдвигать АР вдоль шва до того момента пока маркер на шкале уровней чувствительности сравняется с отметкой К (контрольный уровень) (рисунок 5-80). Это будет началом отражателя;

– сделать отметку маркером на металле напротив центра АР;





Рисунок 5-80 – Начало отражателя – маркер на контрольном уровне

– сдвигать АР в противоположную сторону и найти соответственно конец отражателя, при котором маркер на шкале уровней чувствительности снова сравнивается с отметкой К (контрольный уровень);

– линейкой измерить расстояние от начала до конца отражателя, оно равняется  $\Delta L = 25$  мм.

Измерение условной протяжённости проведено в соответствии с ГОСТ 55724-2013.

Отражатель компактный или протяжённый?

Чтобы ответить на этот вопрос в соответствии с вышеуказанным ГОСТ необходимо найти ненаправленный искусственный отражатель на той же глубине, что и обнаруженная несплошность. Ненаправленным отражателем является только сфера. Такого образца у нас нет. Руководящий документ СТО 00220256-005-2005 допускает определение протяжённости по искусственному отражателю, по которому настраиваем предельную чувствительность (браковочный уровень), т. е. по зарубкам. Измерим условную протяжённость ближней и дальней зарубки описанным выше способом. Получаем  $\Delta L_{ближ} = 8$  мм,  $\Delta L_{дальн} = 9$  мм. Такие же значения получим при измерении обычным классическим ПЭП 2,5-65°.

Принимаем, что несплошность считается компактной при  $\Delta L \leq 9$  мм.

Т. е. найденная нами несплошность № 1 будет считаться протяжённой.

**Заключение:** найден дефект, находящийся от начальной точки на координате вдоль сварного шва  $Y = 115$  мм, превышающий браковочный уровень на 4,3 дБ, на максимальной глубине 11 мм, условной протяжённостью 25 мм, условной высотой 4,7 мм, тип дефекта – плоскостной.



### 5.2.7.3. Сокращенная запись дефекта

Если требуется, то запишем данный дефект сокращённой записью:

11-Д(+4,3)-Е25-П-115

Данная сокращённая запись составлена в соответствии руководящим документом ОП 501 (РД34.17.302-97). Мы используем данную запись, так как работаем с разными отраслевыми документами и поэтому нам нужна универсальная и понятная запись дефекта. Хотя в указанном документе координата  $Y(L)$  определяется от начальной точки до максимума сигнала дефекта, а мы указываем её от начальной точки до начала дефекта, с практической точки это удобнее. Условную высоту дефекта не указываем, так как браковки по ней не делали, а определяли её факультативно.

Вы можете попытаться произвести сокращённую запись в соответствии с руководящими документами ГОСТ 55724-2013 или СТО 00220256-005-2005.

Нарисовать границы дефекта несмываемым маркером на сварном шве.

Продолжим сканирование.

На координате  $Y = 170$  мм на экране прибора появляется отражатель № 2 по координате  $Z$  в корне шва. Максимальный образ отражателя виден на рисунке 5-81.

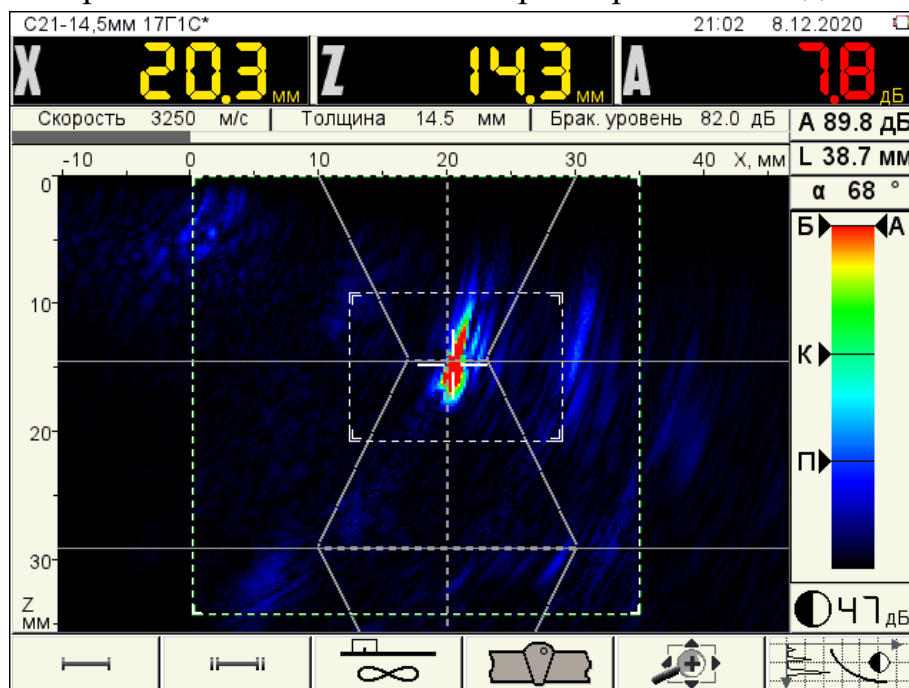


Рисунок 5-81 – Максимальный образ отражателя № 2

Измерить линейкой координату  $X$  – отражатель находится в середине шва.

Установить АР с противоположной стороны и найти максимум отражателя (рисунок 5-82).

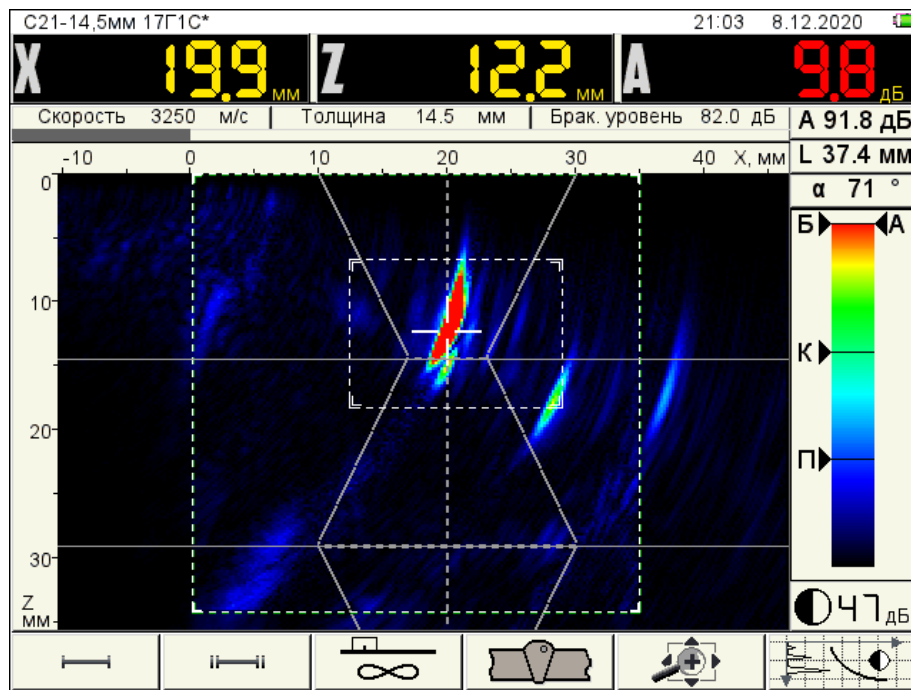


Рисунок 5-82 – Максимальный образ отражателя № 2 с противоположной стороны

Измерить линейкой координату X.

Координаты сходятся, следовательно, отражатель находится в середине шва. Обнаружена несплошность. Измеряем условную протяжённость вдоль шва  $\Delta L = 20$  мм. Несплошность протяжённая.

**Заключение:** найден дефект от начальной точки на координате  $Y = 170$  мм, превышающий браковочный уровень на 9,8 дБ, на максимальной глубине 14,3 мм, условной протяжённостью 20 мм, тип дефекта не определен.

Запишем данный дефект сокращённой записью:

14,3-Д(+9,8)-Е20-170

Нарисовать границы дефекта несмываемым маркером на сварном шве.

### 5.3. Пример № 3 AP M9055, толщина 60 мм

Контроль сварного соединения трубопровода тепловой станции  
Ø 426×60 мм:

- сталь 15Х1МФ;
- сварное соединение СЗ по СТО ЦКТИ 10.003-2007;
- ширина внешнего валика 50 мм;
- угол разделки кромок 15°;
- контроль проводится до термообработки и после неё.
- калибровочный образец – мера СО-3.

– настроечный образец – комбинированный с плоскодонными сверлениями диаметром 3 мм под углом 50° и 65° на разных глубинах, изготовлен из того же материала, что и объект контроля;

– оценка качества согласно РД 153-34.1-003-01 [19]. Браковочный уровень: максимальная допустимая одиночная несплошность эквивалентной площадью 10,0 мм<sup>2</sup>. Допускаются только компактные (точечные) несплошности. Число фиксируемых одиночных несплошностей: допускается 10 на любые 100 мм шва.

#### 5.3.1. Калибровка задержки антенной решётки и скорости ультразвука по мере СО-3


Провести калибровку задержки и скорости в соответствии с методикой, приведённой в пункте 5.1.1.

#### 5.3.2. Установка рабочего усиления

Подключить к прибору AP M9055.

В режиме НАСТРОЙКА выбрать базовую конфигурацию M9065-BASE.

Нажать клавишу **F2** для перехода в закладку антенных решёток.

Нажать клавишу  для входа в режим редактирования.

В параметре «Рабочая частота, МГц» установить значение 2,5.

Сохранить новую AP под именем «M9055».

Контроль проводится прямым и однократно-отражённым лучом, пробег УЗ волны будет довольно большой, поэтому необходимо увеличить мощность зондирующего импульса. Для этого на второй закладке режима НАСТРОЙКА в параметре «Импульс возбуждения, периоды» установим значение 2.

/ M9055*		16 11 14.12.2020
M9065	Антенная решётка	M9065
M9060	Тип решётки	наклонная
M9170	Рабочая частота, МГц	2.5
M9171	Импульс возбуждения, периоды	2.0
	Шаг, мм	2.50
M9055	Задержка, мкс	1.2
	Стрела, мм	22.0
	Нижняя граница обзора, °	30
	Верхняя граница обзора, °	80
	Угловая коррекция	выкл
	Компенсация расхождения лучей	выкл
	Макс. число отражений SAFT	3
	Ноль оси X	фронт AP

Рисунок 5-83 – Вторая закладка режима НАСТРОЙКА

Настроечный образец положить набок, направить AP на наклонную поверхность 50° с ПДО и найти максимум сигнала от нижнего угла на глубине 81 мм.



Рисунок 5-84 – Установка AP для настройки рабочего усиления

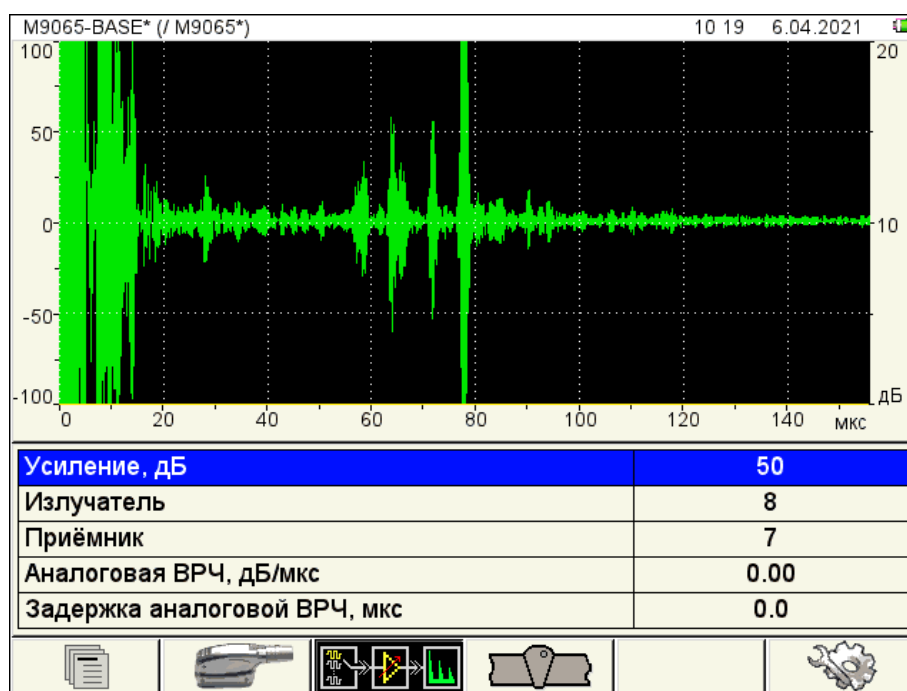


Рисунок 5-85 – А-Скан при усилении 50 дБ

Сигнал от угла уходит в ограничение, поэтому следует уменьшать значение усиления до того момента пока сигнал гарантированно не будет уходить в ограничение.

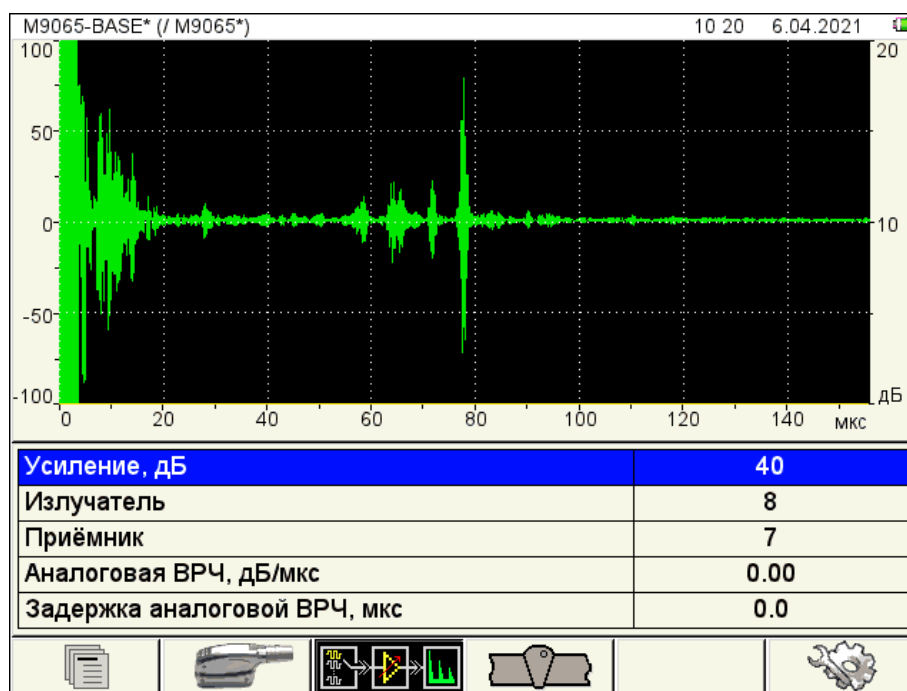


Рисунок 5-86 – А-Скан при усилении 40 дБ

Оптимальным значением усиления будет 40 дБ.

### 5.3.3. Настройка скорости, проверка глубиномера

Найти образ нижнего угла при малых углах озвучивания от 30° до 40°. Толщина образца в этом направлении 81 мм.

Изменить значение параметра «Скорость» так, чтобы глубина  $Z$  равнялась фактической глубине.

Правильное значение скорости  $c = 3230$  м/с.

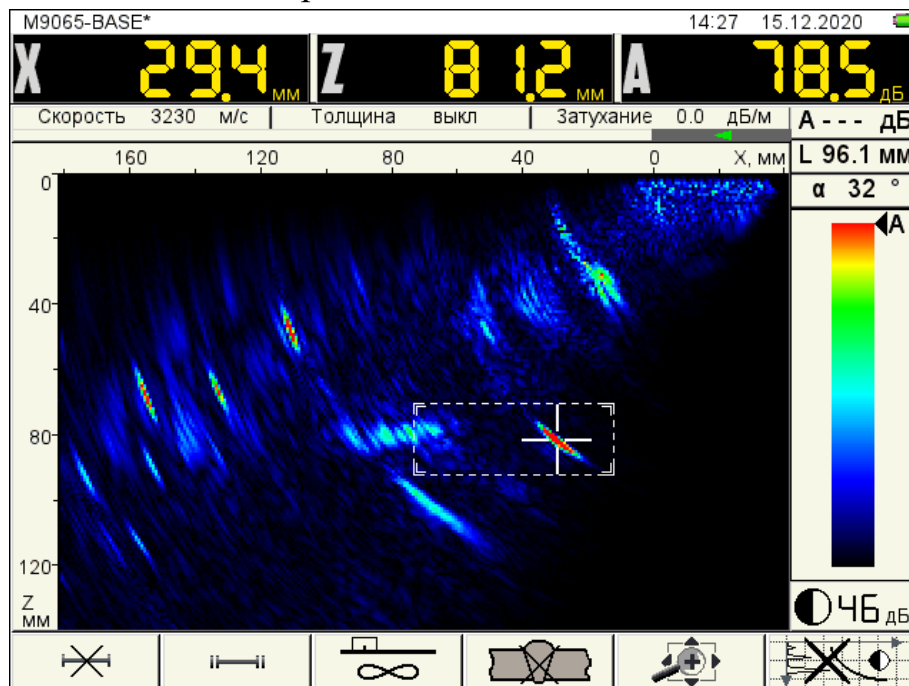


Рисунок 5-87 – Образ нижнего угла при скорости  $c = 3230$  м/с

Проверим координату  $X$ .

Измерение линейкой координаты от фронта АР до торца образца дает значение 27,4 мм. Прибор дает значение 29,4 мм. Причина несовпадения результатов в линейке. Она металлическая и тонкая, при измерении влезает под металлическую окантовку акустического модуля. Чтобы убрать эту разницу, следует открыть вторую страницу режима НАСТРОЙКА и в параметре «Стрела, мм» установить значение 24 мм. После этого проверим ещё раз координату  $X$ . Прибор показывает теперь значение 27,4 мм, что совпадает с измерением линейкой. Настройка скорости и глубиномера закончена. Сохраним измененную конфигурацию АР.

#### 5.3.4. Настройка масштаба изображения (скорости развертки), зоны контроля, маски сварного шва

Мы уже установили масштаб изображения до глубины 120 мм со сдвигом АР в правый угол.

В этом примере давайте рассмотрим два варианта проведения сканирования:

- растровое сканирование (поперечно-продольное);
- линейное сканирование (на выбранном расстоянии вдоль сварного шва).

##### 5.3.4.1. Растровое сканирование

Определим координаты границ первого строка (зона контроля).



По оси отступов, координата  $X1$  (максимальное удаление границы зоны контроля от фронта АР) вычислить по формуле:

$$X1 = 2 \cdot H \cdot \operatorname{tg} \alpha - \frac{A}{2} + 10, \quad (9)$$

где  $\alpha = 50^\circ$  для АР М9055, М9065.

Подставляем значения для нашего сварного соединения:

$$X1 = 2 \cdot 60 \cdot 1,19 - \frac{40}{2} + 10 = 133 \text{ мм}$$

$$X2 = 0 \text{ мм}$$

По оси глубин  $Z$  установить зону контроля на прямой  $Z1 = 0$  мм и однократно-отражённый луч  $Z2 = (120+5)$  мм (две толщины сварного соединения плюс запас 5 мм на валик усиления сварного шва).

Нажать клавишу **F1** (управление первым стробом) и выставить границы зоны контроля  $X1 = 133$  мм,  $X2 = 0$  мм,  $Z1 = 0$  мм,  $Z2 = 125$  мм.

Установить маску сварного соединения со следующими значениями:

$X0 = 25$  мм (половина ширины верхнего валика);

$e = 50$  мм;

$e1 = 17,5$  мм (при этом значении угол разделки кромок будет равняться  $15^\circ$ ).

В режиме НАСТРОЙКА в первой закладке в параметре «Толщина, мм» установить значение 60 мм.

На рисунке 5-88 приведен В-Скан после установки зоны контроля, маски сварного шва и толщины сварного соединения.

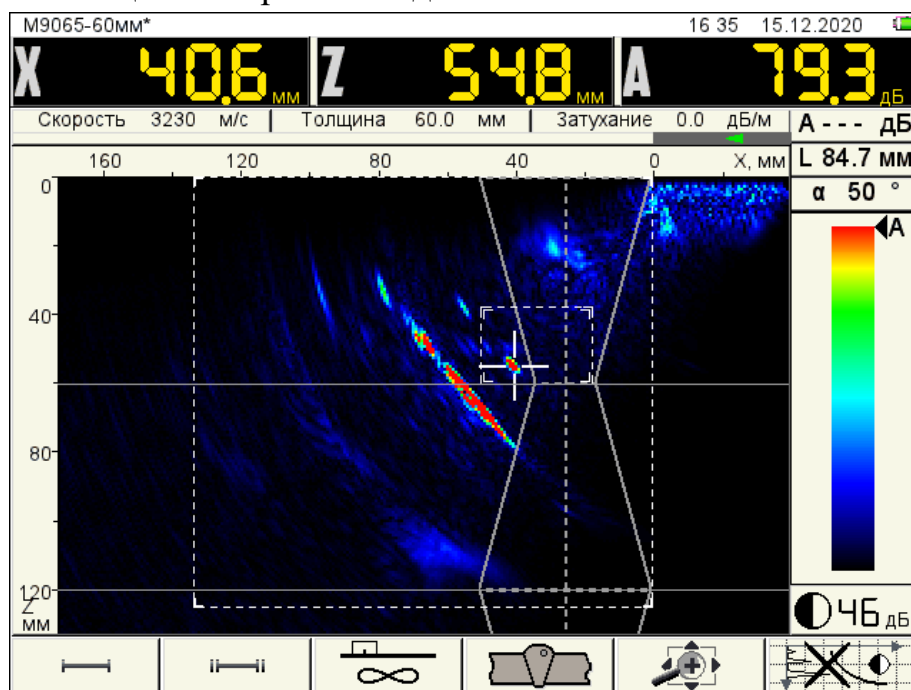


Рисунок 5-88 – В-Скан при установленной зоне контроля и маске сварного шва

Рассчитать зону сканирования по формуле:

$$L_{\max} = 2 \cdot H \cdot \operatorname{tg} \alpha + \frac{A}{2} + 3TB. \quad (10)$$

Ширина зоны термического влияния 3ТВ согласно РД равна 20 мм.

$$L_{\max} = 2 \cdot 60 \cdot 1,19 + \frac{40}{2} + 20 = 183 \text{ мм}$$

### 5.3.4.2. Настройка чувствительности контроля

Переходим к настройке чувствительности.

Рассмотрим вариант настройки с помощью автоматической ВРЧ, которая находится на второй странице режима НАСТРОЙКА F2 и называется «Компенсация расхождения лучей» (КРЛ). Данная функция компенсирует ослабление сигнала за счёт расхождения ультразвукового пучка без учёта затухания.

Установим в параметре «Компенсация расхождения лучей» значение – «вкл» и протестируем данный режим на плоскодонных отражателях на настроечном образце (берем ПДО под углом 50°).

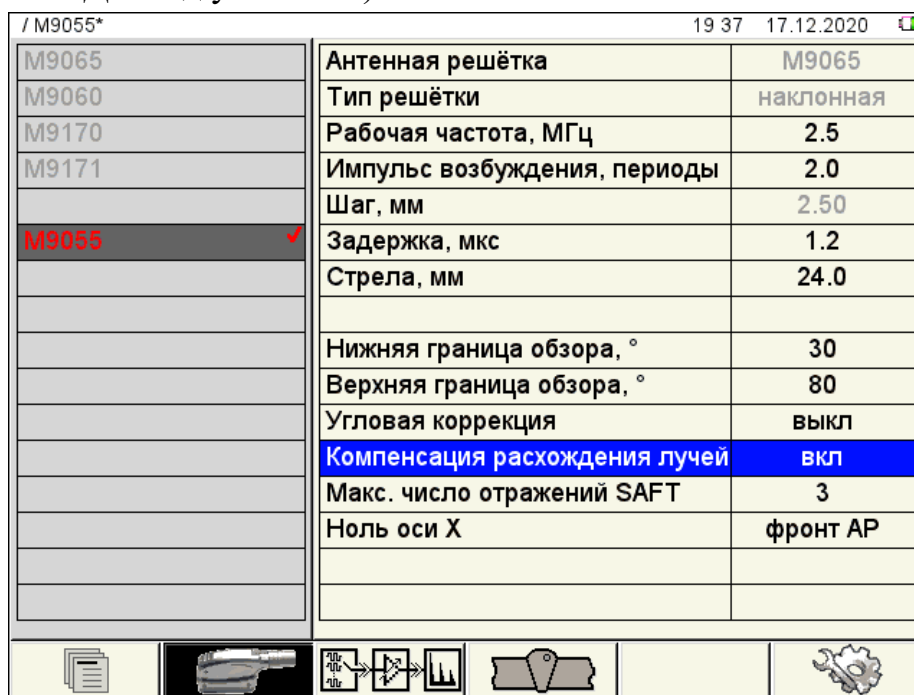


Рисунок 5-89 – Включение режима КРЛ

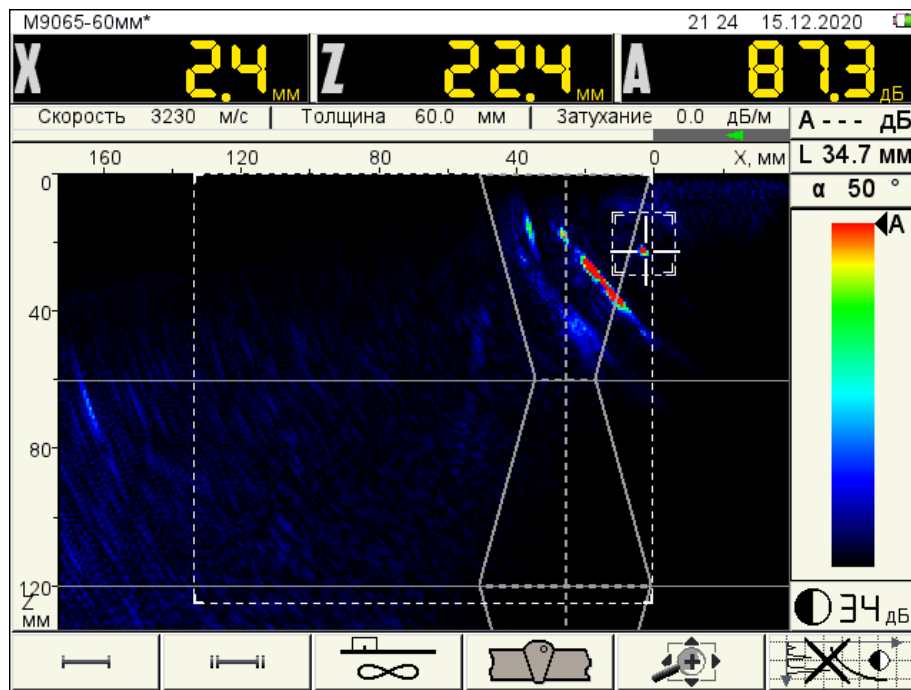


Рисунок 5-90 – ПДО на глубине 22,0 мм при включенной КРЛ

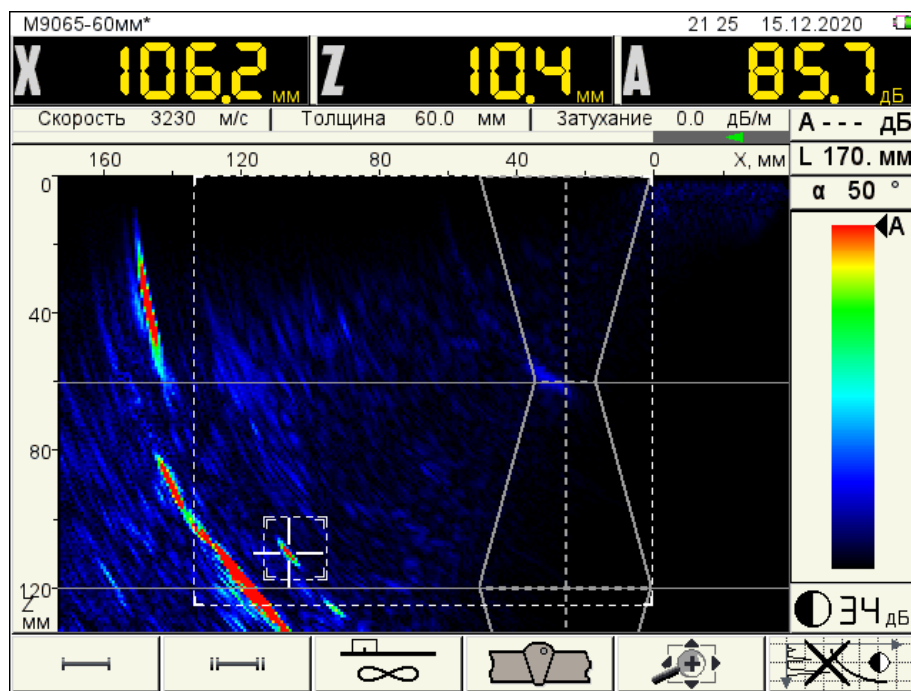


Рисунок 5-91 – ПДО на глубине 110 мм однократно-отражённым лучом при включенной КРЛ

Разница в сигналах ближней и дальней ПДО составляет 1,6 дБ. При настройке ВРЧ допускается разница в амплитуде сигналов в пределах  $\pm 2$  дБ. Но давайте достроим её точнее. На первой странице режима НАСТРОЙКА в параметр «Затухание, дБ/м» установим такое значение коэффициента затухания, при котором сигналы от ближнего и дальнего отражателя станут одинаковыми. Установим 10 дБ/м. Сигналы от ближнего и дальнего стали равными по амплитуде.

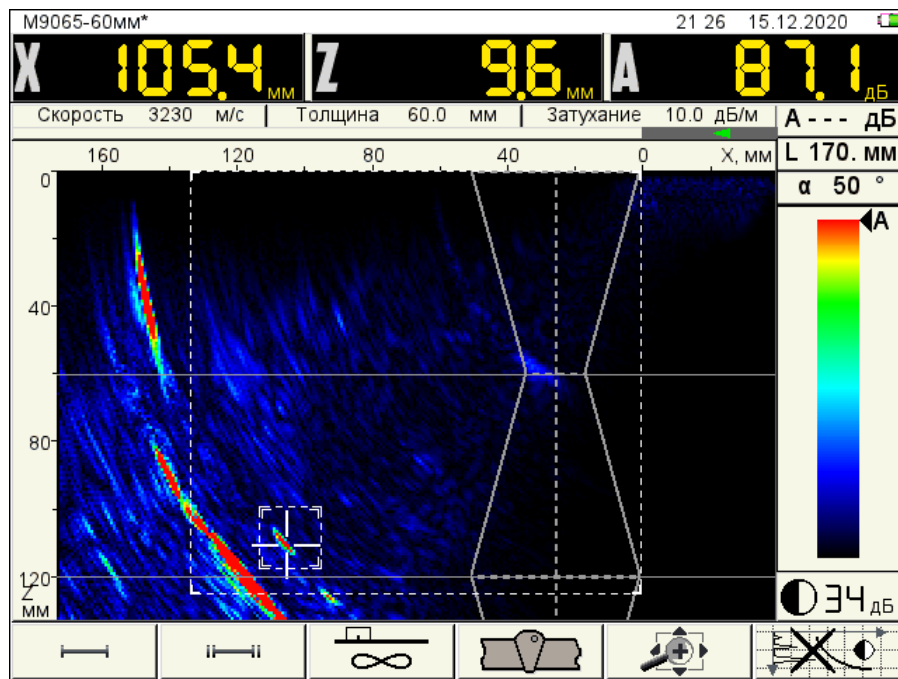


Рисунок 5-92 – ПДО на глубине 110 мм после установки коэффициента затухания

Теперь необходимо установить опорный уровень.

На строке «Опорный уровень» нажать клавишу **Enter**, установить АР в положение максимума сигнала от любой ПДО и сохранить его. Получили *Аопорный* = 87 дБ.

Клавишами **-** и **+** установить рабочее значение контрастности изображения, таким образом, чтобы справа на шкале уровней чувствительности уровни Б (Браковочный), К (Контрольный), П (Поисковый) делили шкалу визуально на равные доли. Уровень контрастности равен 33 дБ.

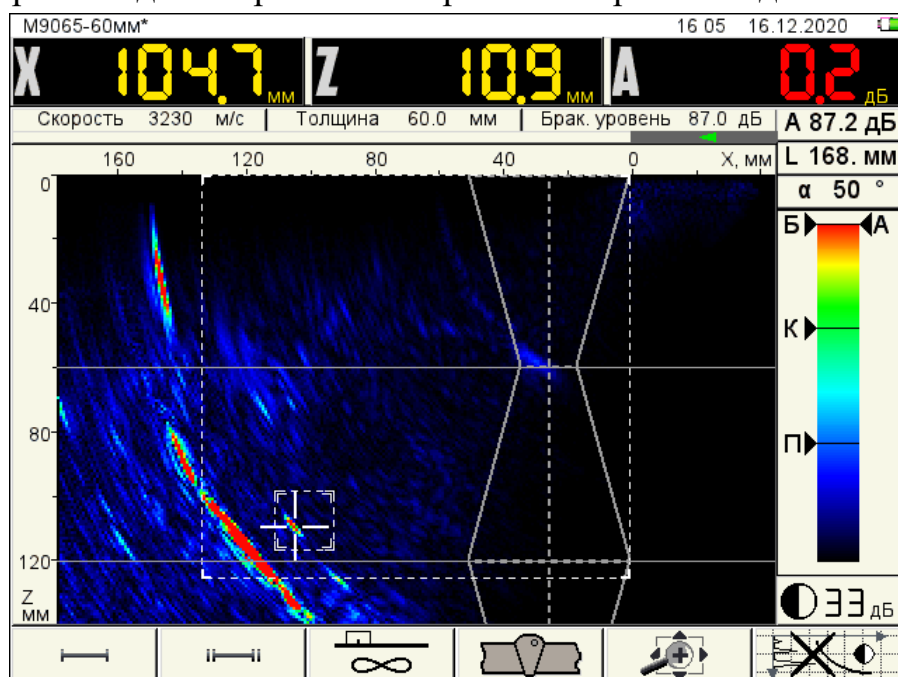


Рисунок 5-93 – В-Скан после установки опорного уровня

Мы настроили опорный уровень на ПДО Ø3 мм, площадь которого  $S_{экв.о} = 7,1 \text{ мм}^2$ . Наш браковочный уровень это  $S_{экв.б} = 10 \text{ мм}^2$  согласно РД. Рассчитаем поправку чувствительности, вычисляем её по формуле:

$$\Delta A = 20 \cdot \lg \frac{S_{экв.б}}{S_{экв.о}}. \quad (11)$$

Формулой (11) можно пользоваться, если результат  $\Delta A \leq 12 \text{ дБ}$ .

Вычисляем поправку чувствительности и устанавливаем полученное значение в параметр «Поправка чувствительности. дБ»:

$$\Delta A = 20 \cdot \lg \frac{10}{7,1} = 3,0 \text{ дБ}$$

Теперь наш браковочный уровень равен  $87+3=90 \text{ дБ}$ , контрольный  $-6 \text{ дБ}$ , поисковый  $-12 \text{ дБ}$  согласно РД. В рабочем режиме поправим рабочее значение контрастности изображения таким образом, чтобы справа на шкале уровней чувствительности уровни Б (Браковочный), К (Контрольный), П (Поисковый) делили шкалу визуально на равные доли. Рабочий уровень контрастности соответственно на 3 дБ меньше ранее установленного и равен 30 дБ.

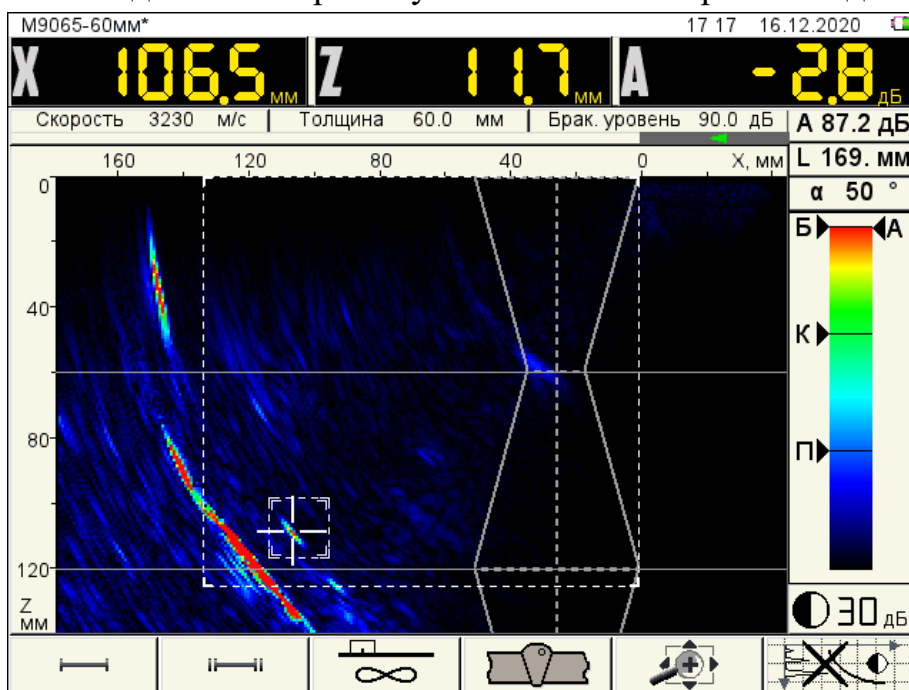


Рисунок 5-94 – В-Скан с поправкой чувствительности

В РД 153-34.1-003-01 сказано, что условная протяжённость несплошности не должна превышать условную протяжённость эталонного отражателя.

Измерим условные протяжённости плоскодонных отражателей в настроечном образце. В пункте 4.5.8 документа РД 34.17.302-97 (ОП 501 ЦД-97) описан алгоритм измерения условной протяжённости, он стандартный – крайними положениями преобразователя считают те, при которых амплитуда сигнала

уменьшается на 6 дБ от браковочного уровня, т. е. измерения проводятся на контрольном уровне. В нашем случае мы имеем ПДО с диаметром 3 мм, нашему браковочному уровню соответствует ПДО с диаметром 3,6 мм, т. е. условная протяжённость нужного нам отражателя будет больше. Но таких плоскодонок у нас нет. Для того, чтобы учесть разницу в размерах диаметра плоскодонок будем измерять условную протяжённость с фиксацией положений АР, при которых сигнал уменьшится не на 6 дБ, а на 9 дБ относительно установленного браковочного уровня 90 дБ.

Методика измерения условной протяжённости в режиме ТОМОГРАФ описана в ПРИМЕРЕ 2 пункт 5.2.7.2. Проведём измерение и получим следующие результаты:

$Z1 = 14 \text{ мм}, \Delta L = 8 \text{ мм};$

$Z1 = 37 \text{ мм}, \Delta L = 10 \text{ мм};$

$Z1 = 54 \text{ мм}, \Delta L = 12 \text{ мм};$

$Z1 = 110 \text{ мм}, \Delta L = 19 \text{ мм};$

$Z1 = 116 \text{ мм}, \Delta L = 20 \text{ мм}.$

Конструкция настроечного образца такова, что отражатели есть только на указанных глубинах. Отсутствие отражателей на глубинах больше 54 мм и меньше 110 мм скомпенсируем построением графика зависимости условной протяжённости от глубины залегания отражателя.

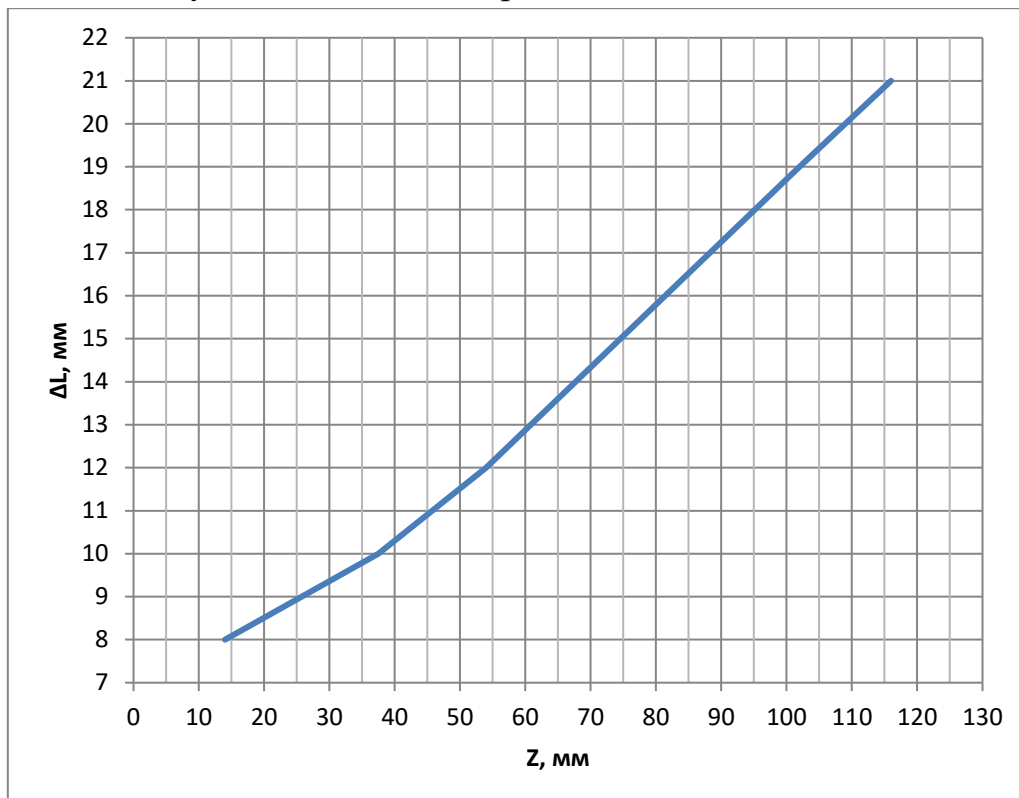


Рисунок 5-95



Несплошности с протяжённостью, лежащей выше кривой будут считаться недопустимыми.

Так как сварное соединение имеет большую толщину и сталь легированная, то прежде чем переходить к контролю сварного соединения, необходимо определить возможность настройки чувствительности по настроечному образцу из основного материала без сварного шва. Для этого измерим относительное затухание сигнала, то есть сравним затухание на основном металле трубы и через сварной шов.

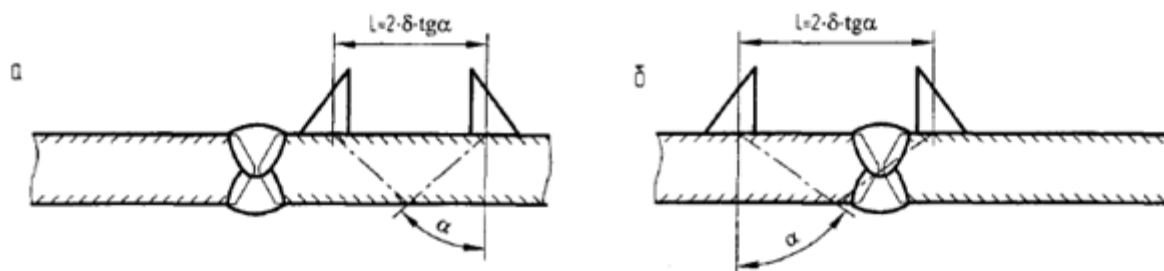


Рисунок 5-96 – Схема измерения относительного затухания сигнала

Нам понадобятся два классических преобразователя П121-2,5-50°. Устанавливаем их на трубу как показано на рисунке 5-96а и находим максимум сигнала в режиме огибающей. Проводим несколько измерений и находим среднее значение амплитуды сигнала прохождения  $A_{ср} = 107$  дБ.

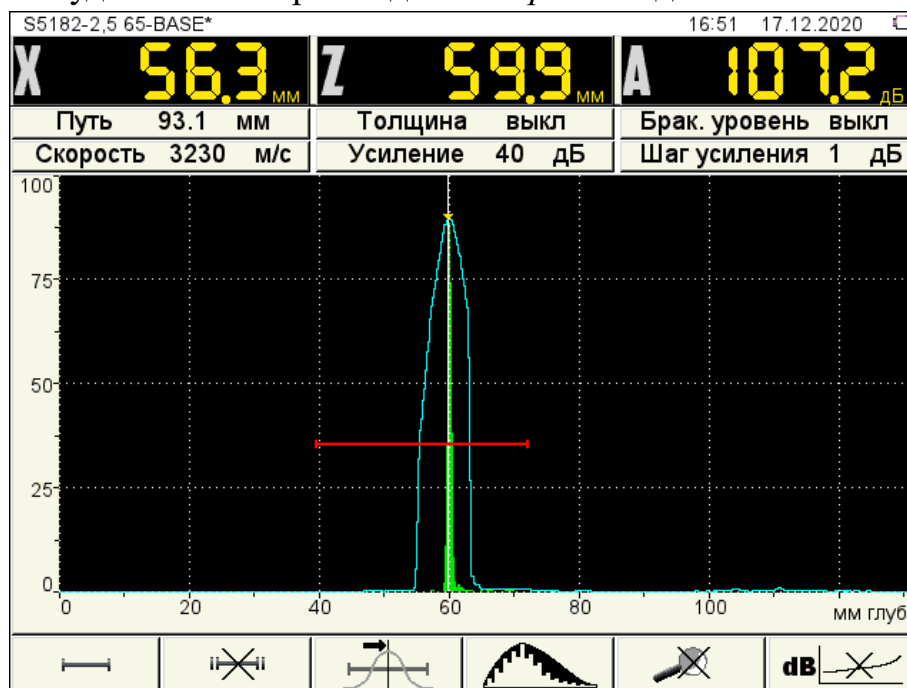


Рисунок 5-97 – Сигнал прохождения на трубе,  $A_1 = 107,2$  дБ

Устанавливаем ПЭП в положение рисунок 5-96б и находим максимум сигнала. Проводим несколько измерений и находим среднее значение  $A_{ср} = 105$  дБ.

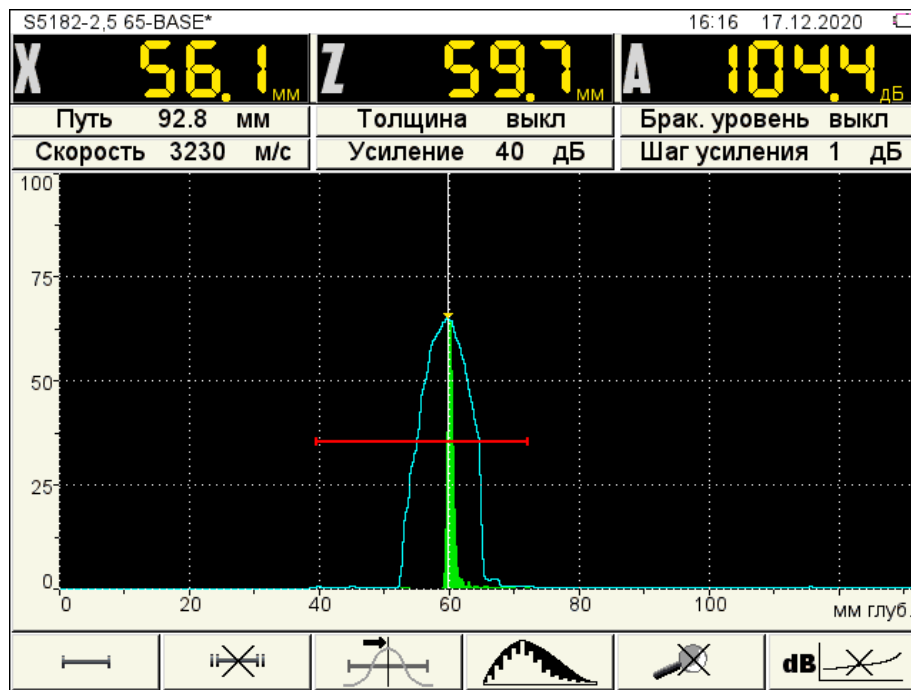


Рисунок 5-98 – Сигнал прохождения через шов,  $A_{1c} = 105,3$  дБ

Найдём сварной шов, на котором термообработка уже сделана. Получим следующий результат  $A_{ср} = 107$  дБ.

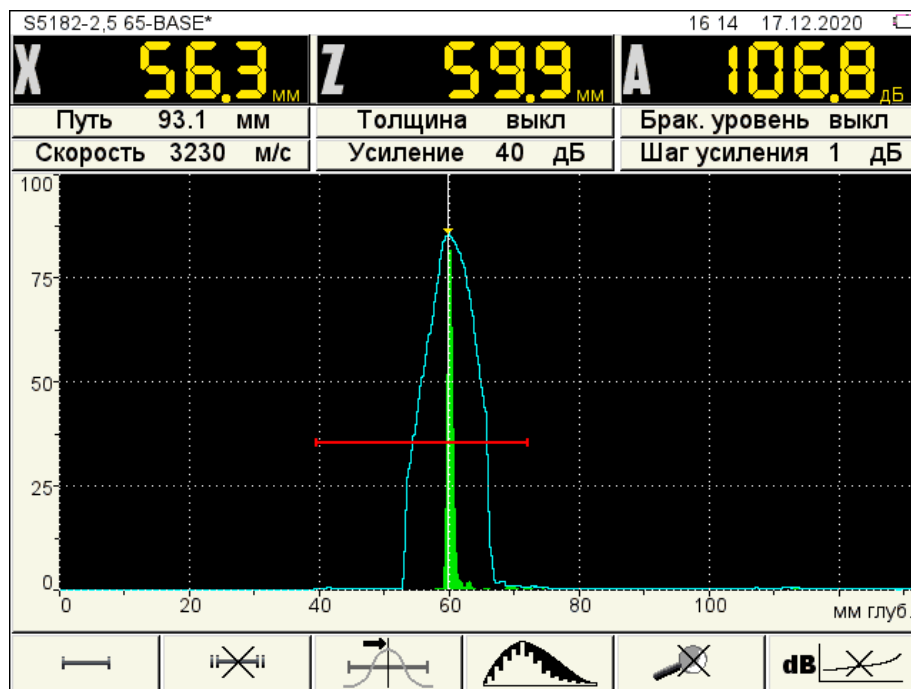


Рисунок 5-99 – Сигнал прохождения через шов после термообработки

Внутренняя структура сварного соединения и соответственно акустические свойства до и после термообработки меняются. Можно увидеть, что, если мы контролируем сварной шов до термообработки, то уменьшается не только амплитуда сигнала, но и скорость ультразвука. На рисунке 5-98 это можно наблюдать по причине уменьшения координат  $X$  и  $Z$  сигнала прохождения по сравнению с сигналом по трубе рисунок 5-97. После термообработки амплитуда

сигнала увеличивается и практически равна амплитуде сигнала по трубе. Также выравниваются и координаты сигнала.

Разница амплитуд сигналов во всех случаях меньше 3 дБ, поэтому мы имеем право проводить настройку чувствительности контроля по настроечному образцу без сварного соединения. Если бы разница была больше 3 дБ, то было бы нужно проводить настройку по образцу со сварным швом. Не забывайте делать данную проверку на таких сварных соединениях.

Нужно провести измерение относительного затухания и на настроечном образце. В свидетельстве о калибровке указано, что образец изготовлен из стали 15Х1МФ, скорость ультразвуковых волн 3230 м/с, мы подтвердили это выше. Но ничего не сказано про термообработку образца. Давайте проведём измерения сигнала прохождения в нём. Настроечный образец имеет следующие размеры 280×96×81 мм, измерить сигнал прохождения на глубине 60 мм нет возможности, самый близкий размер к нашему сварному шву – это ширина образца 81 мм. Кладём образец набок, устанавливаем ПЭПы как на рисунке 5-96а и находим максимум сигнала.

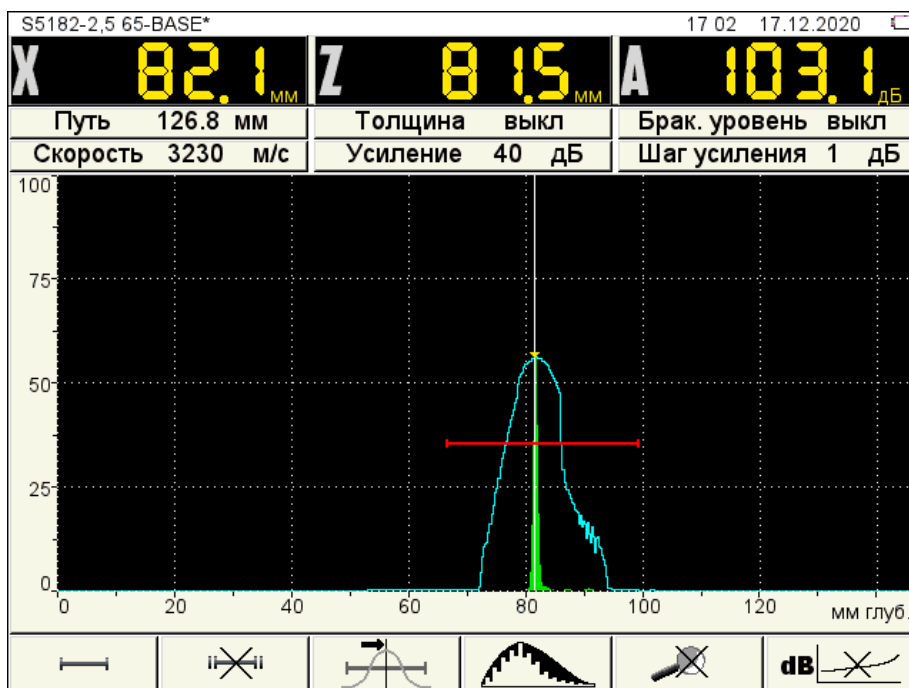


Рисунок 5-100 – Сигнал прохождения на НО

Сигнал  $A = 103$  дБ, меньше на 4 дБ чем на трубе, но труба имеет толщину 60 мм, разница толщин составляет 21 мм. В настроечном образце есть плоскодонные отражатели на следующих глубинах 14, 21, 29, 37, 44, 54 мм. Возьмем ПДО с глубиной 21 и 44 мм, разница глубин между ними 23 мм. Найдём максимумы сигналов от них тем же ПЭП 2,5-50° в эхо-режиме и вычислим разницу между ними. Разница составила 4 дБ. Т. е. сигнал прохождения в настроечном

образце через толщину 81 мм и сигнал прохождения в трубе через толщину 60 мм имеют равную амплитуду 107 дБ.

Вывод: наши эксперименты подтвердили правильность настройки по имеющемуся настроечному образцу и возможность проведения контроля сварного соединения до термообработки и после без дополнительных поправок чувствительности.

Сохраняем конфигурацию под именем Ø426x60-C3-15X1МФ.

#### 5.3.4.3. Линейное сканирование

Возможность проведения контроля данного сварного соединения способом линейного сканирования устанавливается экспериментально.

Для настройки понадобится образец с ненаправленными отражателями в плоскости В-Скана. Этим отражателем может быть боковое цилиндрическое отверстие БЦО. Для этих целей подойдут калибровочные образцы: ISO 19675, UCS 007 или другой образец с БЦО.



Рисунок 5-101

Данный образец изготовлен из стали 20, уровни чувствительности на нём настраивать не будем. На нём мы выровняем чувствительность в зоне контроля для положения АР на определённом расстоянии от сварного шва.

Выбираем ранее сохранённую конфигурацию Ø426x60-C3-15X1МФ. Устанавливаем АР М9055 на образец ISO 19675, чтобы БЦО были в середине маски шва. В этом положении АР проводить линейное сканирование нельзя, так как не все образы БЦО вообще видны в зоне контроля.

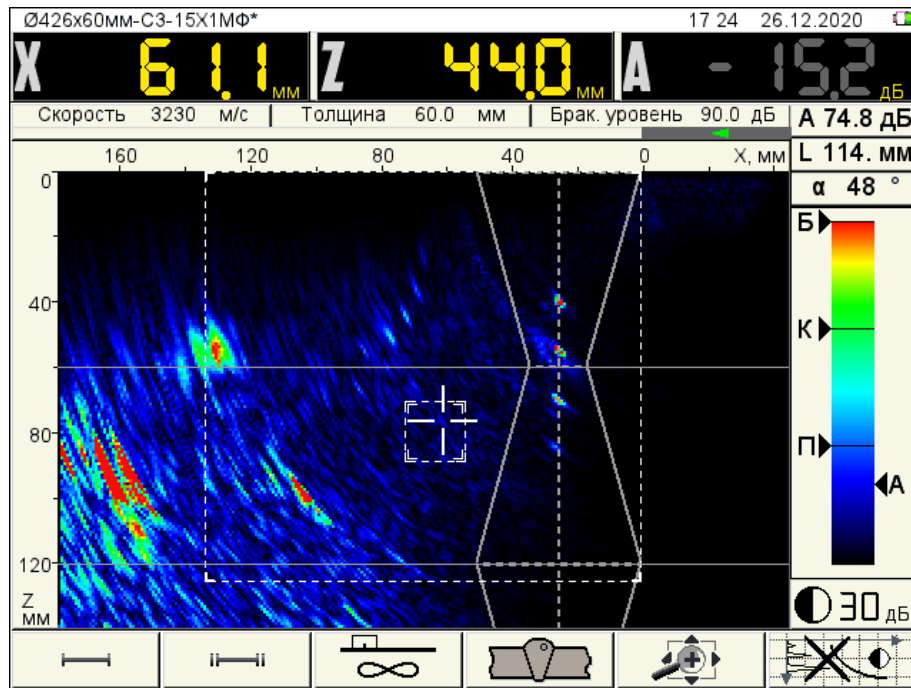


Рисунок 5-102 – Неоптимальное положение АР относительно БЦО

Сдвигаем АР дальше от БЦО, перемещаем маску сварного шва, установив середину на отражатели. Образов БЦО наблюдается больше.

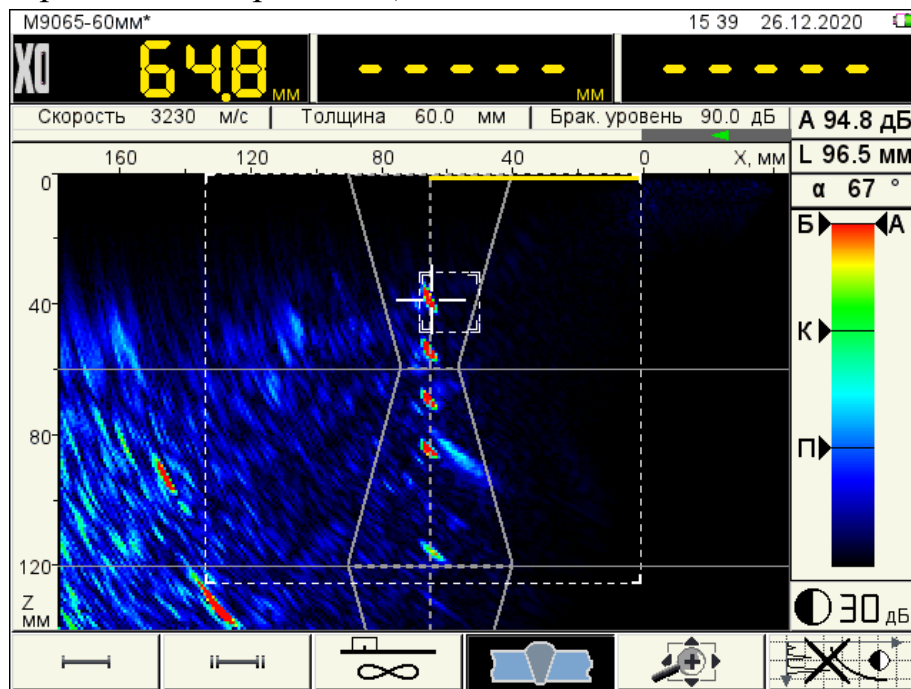


Рисунок 5-103 Неоптимальное положение АР относительно БЦО

Переместим АР ещё дальше от отражателей. Почти все отражатели, которые находятся в зоне контроля, видны оптимально, только верхний отражатель на глубине 40 мм начал уменьшаться.

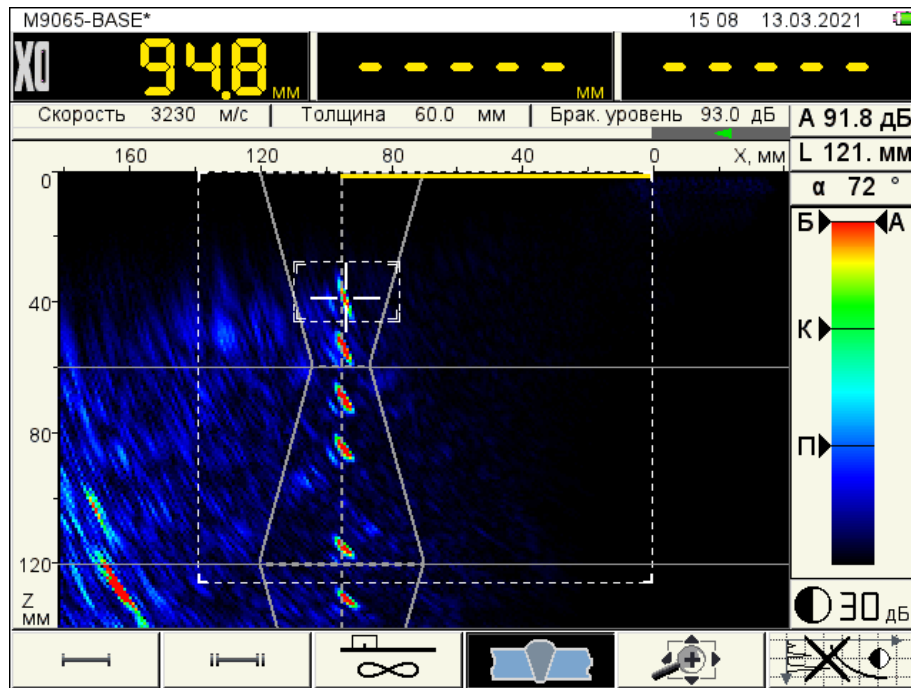


Рисунок 5-104 Оптимальное положение АР относительно БЦО

Для того, чтобы отражатель на глубине 40 мм было видно лучше, в режиме НАСТРОЙКА на второй странице в параметре «Верхняя граница обзора,°» установим значение 85°. Сохраняем новую АР под именем «М9055-85».

/ M9055*			15:40 26.12.2020
M9065	Антенная решётка	M9065	
M9060	Тип решётки	наклонная	
M9170	Рабочая частота, МГц	2.5	
M9171	Импульс возбуждения, периоды	2.0	
	Шаг, мм	2.50	
M9055	Задержка, мкс	1.2	
M9055-11	Стрела, мм	24.0	
	Нижняя граница обзора, °	30	
	Верхняя граница обзора, °	85	
	Угловая коррекция	выкл	
	Компенсация расхождения лучей	вкл	
	Макс. число отражений SAFT	3	
	Ноль оси X	фронт АР	

Рисунок 5-105 – Установка верхней границы обзора

Изображение БЦО на глубине 40 мм стало лучше.



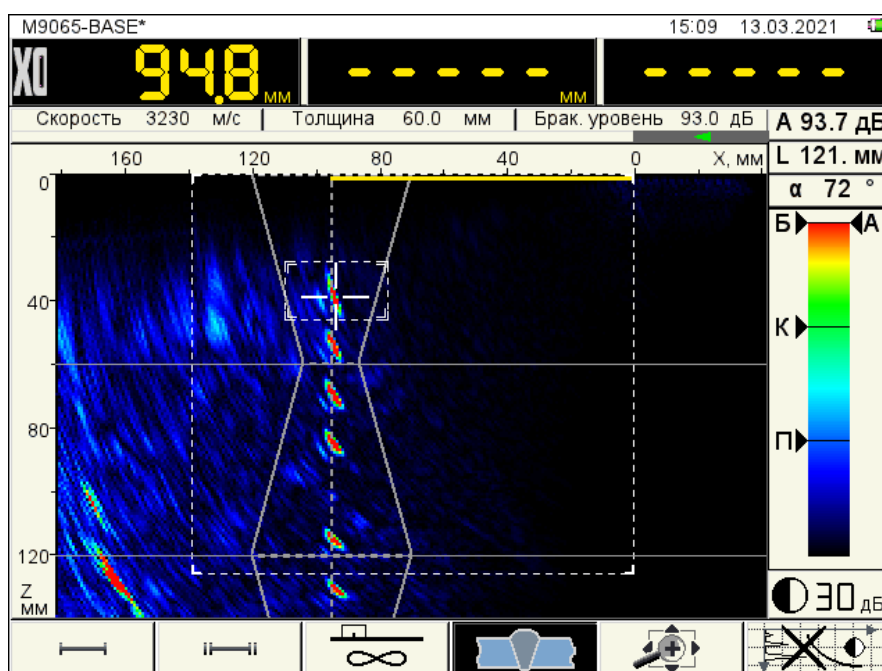


Рисунок 5-106 Изображение БЦО на глубине 40 мм при установке верхней границы 85°

Сопоставляя изображения всех БЦО, которые находятся в зоне контроля, визуально, и измеряя их амплитуды, устанавливаем, что оптимальное положение АР находится на расстоянии  $X0 = 95$  мм от фронта АР.

Устанавливаем правую границу зоны контроля от правой границы маски шва на расстояние равное ширине зоны термического влияния – 20 мм плюс запас на неравномерность перемещения сканера – 15 мм, т. е. на 35 мм. Координата правой границы будет равна 35,5 мм. Левую границу зоны контроля устанавливаем относительно левой границы маски шва на 15 мм левее – запас на неравномерное перемещение сканера, координата правой границы будет равна 136,1 мм.

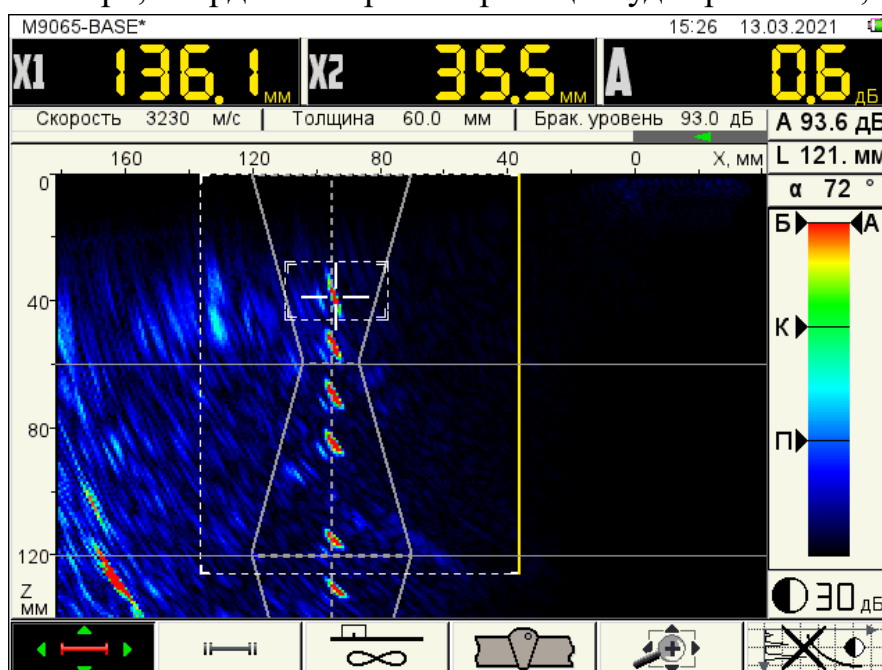


Рисунок 5-107 Установка правой границы зоны контроля

#### 5.3.4.4. Настройка ПРЧ

В установленной зоне контроля необходимо выровнять чувствительность по горизонтальной оси  $X$ , чувствительность по дальности уже выровнена при настройке растрового сканирования по **Варианту 2**. Для этого, нужно настроить ПРЧ. Устанавливаем границы второго строба так, чтобы по ширине они охватывали всю зону контроля, а по высоте в зону строба попадал только один отражатель.

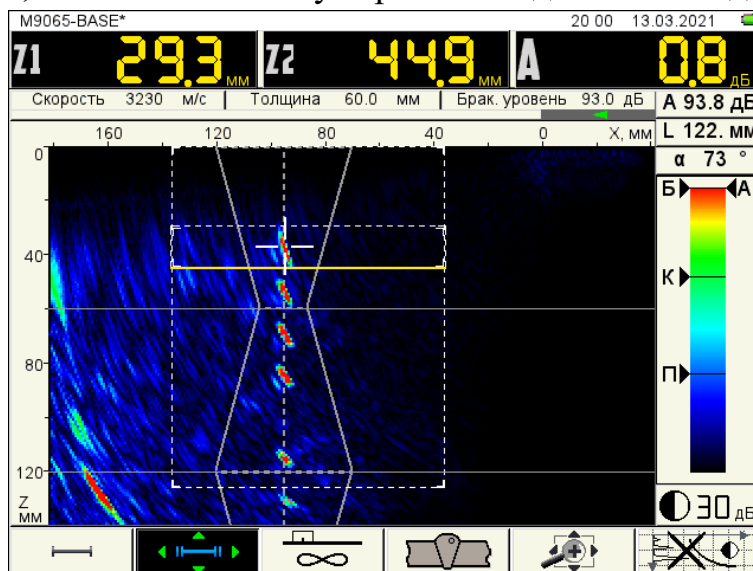


Рисунок 5-108 – Правильная установка второго строба для настройки ПРЧ

Входим в режим НАСТРОЙКА на первую страницу, переходим на строку «Метод оценки дефектов, ПРЧ» и нажимаем клавишу **Enter**. В режиме «Настройка ПРЧ» перемещаем АР таким образом, чтобы каждое БЦО оказалось в начале, в середине и в конце зоны контроля по оси  $X$ , а также в некоторых промежуточных местах. В каждом положении нажимаем клавишу **❄**. Рекомендуется запомнить не менее пяти точек для каждой БЦО.

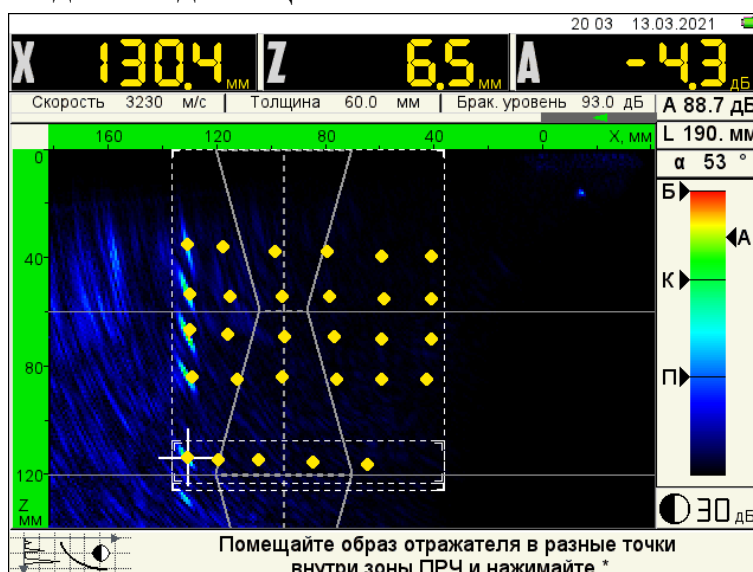


Рисунок 5-109 – Настройка ПРЧ

После настройки ПРЧ в режиме НАСТРОЙКА в параметре «Опорный уровень» запомним амплитуду любого БЦО в середине зоны контроля. Новый опорный уровень – 99 дБ. Проверим одинаковость амплитуд сигналов от БЦО в разных положениях АР внутри зоны контроля.

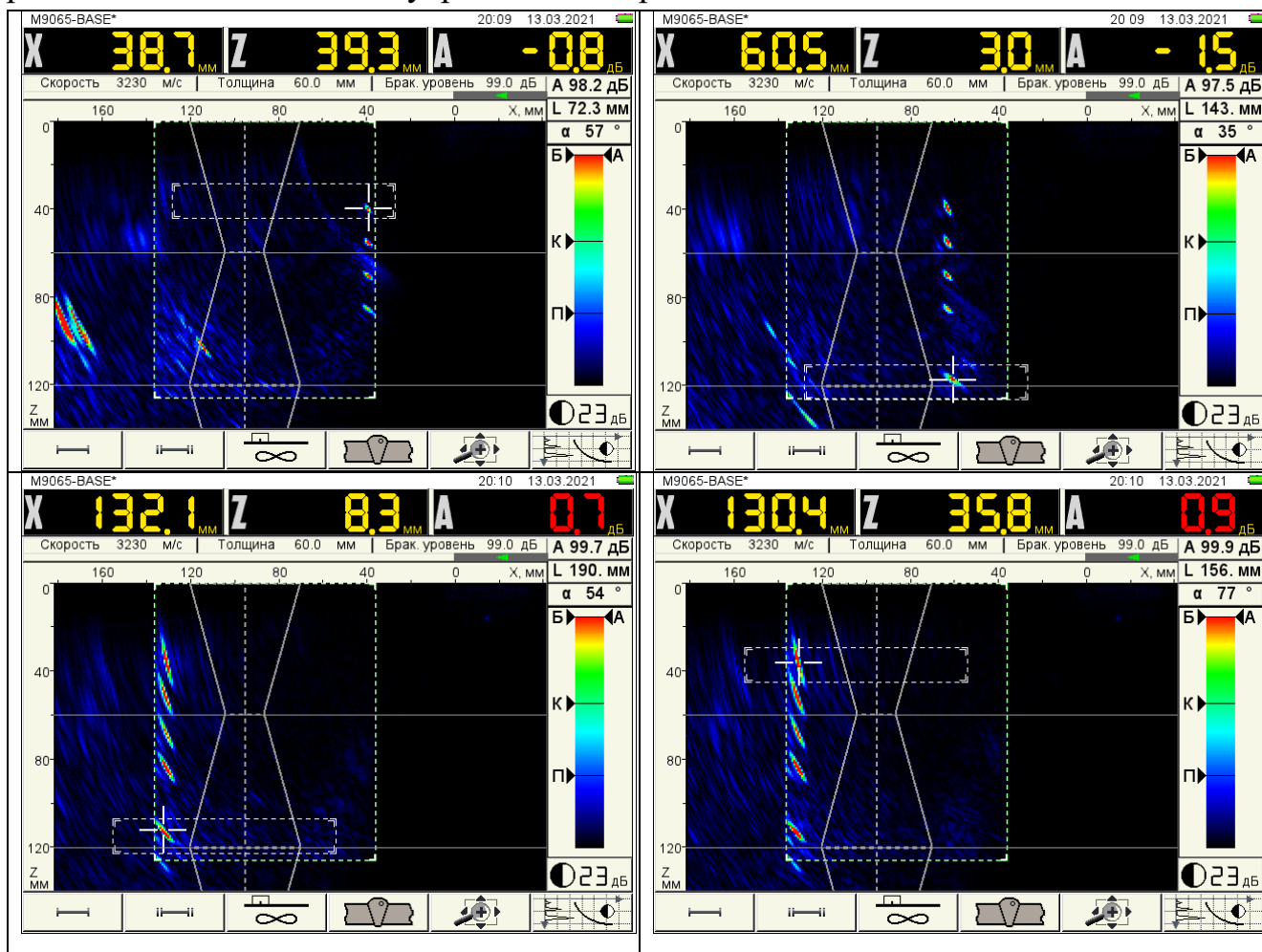


Рисунок 5-110 – Проверка ПРЧ в разных участках зоны контроля

Амплитуды сигналов находятся в пределах значений ( $A_{\text{опорный}} \pm 2$ ) дБ.

Чувствительность контроля установим на образце с плоскодонными отражателями. Заходим в режим НАСТРОЙКА и сохраняем в строке «Опорный уровень» сигнал от любого ПДО под углом 50°. Новый опорный уровень – 95 дБ, поправка – плюс 3 дБ (Браковочный уровень  $S_{\text{экв.б}} = 10 \text{ мм}^2$ ). В рабочем режиме проверяем одинаковость амплитуд на всех ПДО в зоне контроля.

В рабочем режиме поправим рабочее значение контрастности изображения таким образом, чтобы справа на шкале уровней чувствительности уровни Б (Браковочный), К (Контрольный), П (Поисковый) делили шкалу визуальнo на равные доли. Рабочий уровень контрастности будет равен 25 дБ.

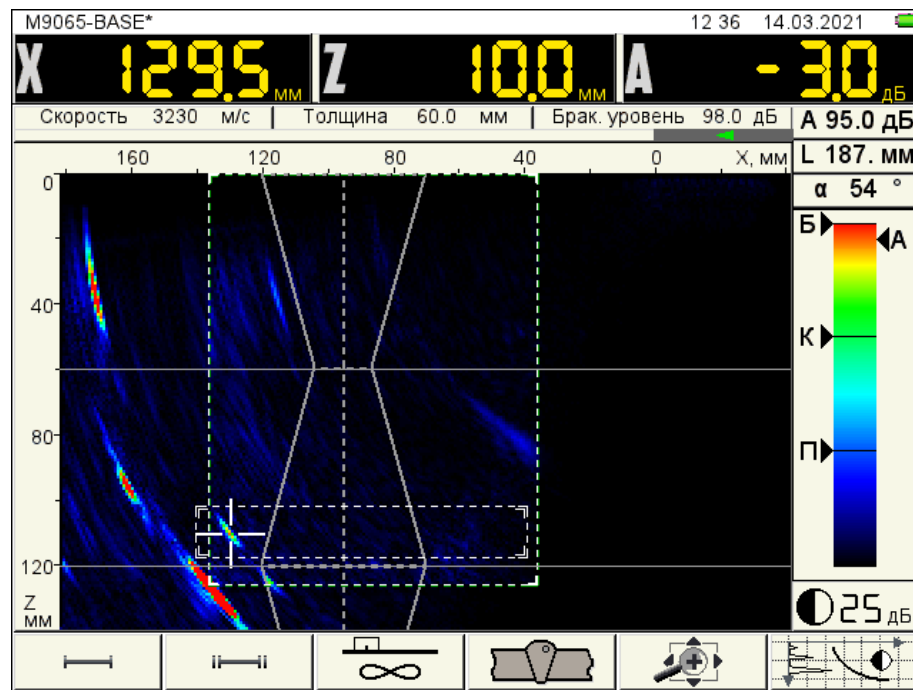


Рисунок 5-111 – Сигнал от ПДО на глубине 10 мм (однократно-отражённый луч).  
Амплитуда – «-3 дБ».

Теперь мы получаем среднюю амплитуду сигналов равную -3 дБ, что соответствует уровню браковки 10 мм<sup>2</sup> (формула (11)). Настройка завершена. Сохраним конфигурацию под именем Ø426x60-С3-15Х1МФ\_ЛС.

Нам удалось выровнять чувствительность во всей зоне контроля, поэтому для контроля данного сварного соединения можно применить линейное сканирование вдоль шва на расстоянии 95 мм от фронта АР до середины сварного шва. Алгоритм проведения контроля такой же, как и в ПРИМЕРЕ № 2 пункт 5.2.7.

#### 5.4. Пример № 4 AP M9065. Толщина 40мм. Механизированный контроль

Контроль сосуда, работающего под давлением, приёмочный контроль сварных соединений:

- материал Сталь 09Г2С;
- стыковое сварное соединение С39 по ГОСТ 5264-80;
- толщина 40,0 мм;
- ширина верхнего валика 35 мм;
- ширина нижнего валика 20 мм;
- угол разделки 25°;

– оценка качества по СТО 00220256-005-2005 «Швы стыковых, угловых и тавровых сварных соединений сосудов и аппаратов, работающих под давлением. Методика ультразвукового контроля»;

– предельная чувствительность (браковочный уровень) = 5 мм<sup>2</sup> (площадь плоскодонного сверления);

– калибровочный образец – мера СО-3;

– настроечные образцы:

- 1) калибровочный образец UCB 007 с боковыми цилиндрическими сверлениями диаметром 3 мм, сталь 20;
- 2) комбинированный образец RB 65-50-7 с плоскодонными сверлениями диаметром 3 мм под углом 50° и 65° на разных глубинах изготовлен из того же материала, что и объект контроля – сталь 09Г2С.



Рисунок 5-112 – НО UCB 007



Рисунок 5-113 – НО RB 65-50-7

➤ **Примечание** – Дефектоскоп ультразвуковой A1525 Solo для проведения механизированного контроля необходимо доработать до режима СКАНЕР, который отсутствует в базовой прошивке. Для этого необходимо прошить прибор специализированной версией внутреннего программного обеспечения за отдельную плату.



Контроль данного сварного соединения будем проводить антенной решёткой M9065 и сканирующим устройством MS150 TuScan.

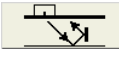
#### 5.4.1. Калибровка задержки антенной решётки и скорости ультразвука по мере СО-3

Провести калибровку задержки и скорости в соответствии с методикой, приведённой в пункте 5.1.1.

#### 5.4.2. Установка рабочего усиления.

Установку рабочего усиления проводим на настроечном образце RB 65-50-7 по сигналу от нижнего угла. На третьей странице режима Настройка значение усиления, при котором сигнал на А-Скане не уходит в ограничение, равен 40 дБ.

#### 5.4.3. Настройка скорости, проверка глубиномера

Настроечный образец RB 65-50-7 имеет толщину 30 мм. Кладём его на бок. В режиме НАСТРОЙКА на первой странице устанавливаем значение толщины 30 мм. В рабочем режиме клавишей **F3** включаем алгоритм реконструкции для зеркально отражающих несплошностей  и находим образ торца.

Образы сверху и снизу совпадают по координате X. Скорость, установленная по умолчанию, соответствует скорости ультразвука в настроечном образце.

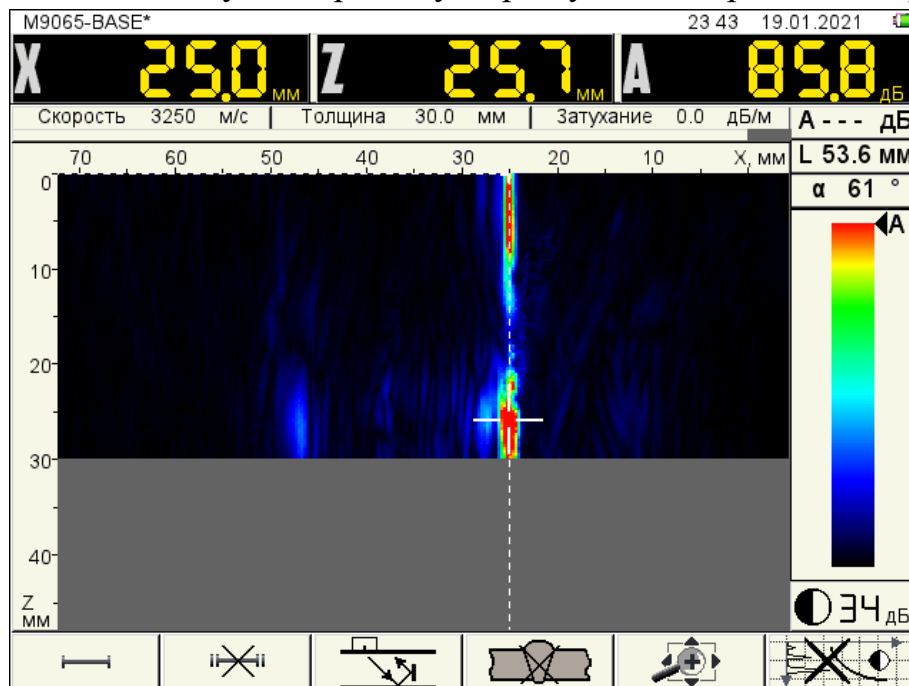
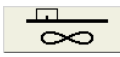


Рисунок 5-114 – Образ торца настроечного образца

Включаем режим реконструкции , находим образы двугранных углов образца (нижнего и верхнего) при направляющих углах до 40° и снимаем показания координат Z и X, полученные значения равны фактическим значениям координат с погрешностью  $\pm 1,0$  мм.



#### 5.4.4. Настройка масштаба изображения (скорости развертки), зоны контроля, маски сварного шва и настройка чувствительности

Для того чтобы установить зону контроля в оптимальное положение относительно АР предварительно выровняем чувствительность по дальности. На второй странице режима НАСТРОЙКА (F2) включим параметр «Компенсация расхождения лучей» (автоматическая ВРЧ) и установим значение параметра «Верхняя граница обзора, °» – 85° для того, чтобы улучшить изображение на больших углах озвучивания. Сохраним новую АР под именем M9065-1.

В режиме НАСТРОЙКА на первой странице устанавливаем толщину 40 мм.

В рабочем режиме проверим правильность настройки чувствительности.

Для этого следует установить АР на образец RB 65-50-7, АР направить на ПДО под углом 50° и найти максимальный сигнал от ближнего отражателя на глубине 22 мм.

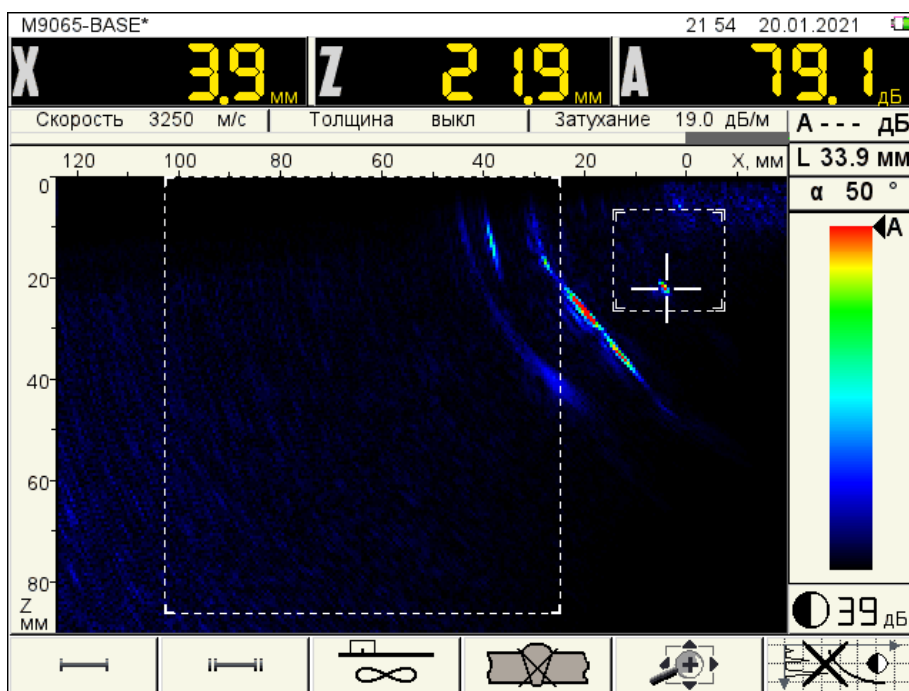


Рисунок 5-115 – ПДО на глубине 22 мм  $A = 79,1$  дБ

На глубине 80 мм в данном образце нет отражателей, есть на глубине 100 мм. Находим максимум сигнала от него, амплитуда сигнала равна 75 дБ. Значит компенсации расхождения недостаточно для выравнивания сигналов по дальности. Поэтому в параметре «Затухание, дБ/м» на первой странице режима НАСТРОЙКА устанавливаем такое значение, при котором сигнал от ПДО на глубине 100 мм будет составлять 79 дБ. Значение, при котором это условие выполняется – 40 дБ/м. Теперь сигналы от ПДО на глубине 22 мм и 100 мм имеют одинаковую амплитуду. Проверяем также отражатели на промежуточных глубинах. Амплитуда сигналов составляет  $(79 \pm 2)$  дБ.

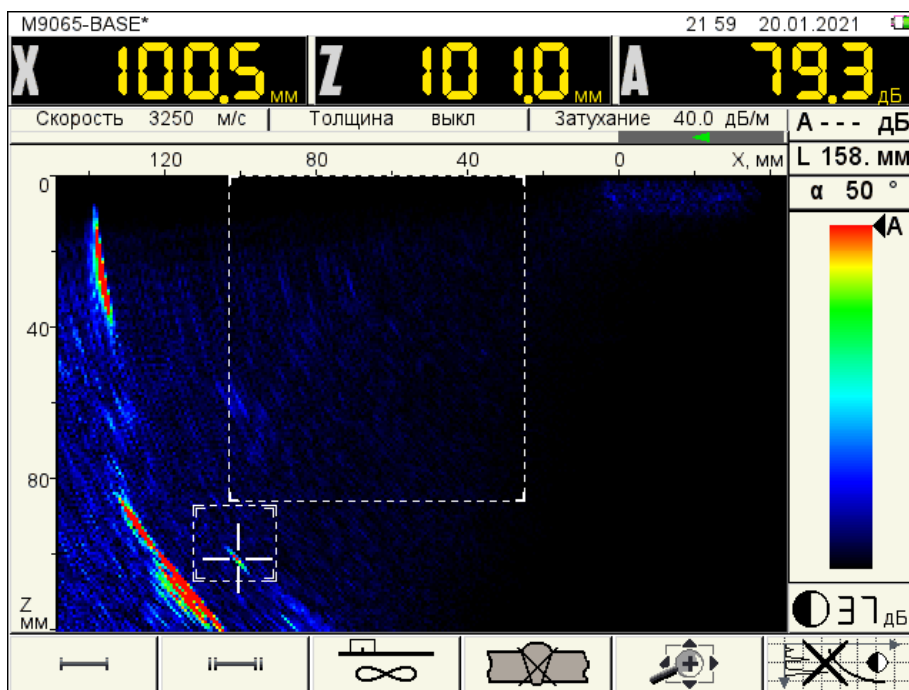


Рисунок 5-116 – ПДО на глубине 100 мм  $A = 79,3$  дБ

Клавишей **F4** включаем маску шва, клавишей **Enter** выбираем двухстороннюю симметричную разделку и устанавливаем ширину верхнего валика  $e = 35$  мм, ширину нижнего валика  $e1 = 20$  мм, ширину корня шва  $e2$  подбираем таким образом, чтобы угол скоса кромок был  $\alpha = 25^\circ$ .

Устанавливаем АР на настроечный образец UCS 007 и направляем её на БЦО.

Выбираем положение АР, при котором все отражатели на глубинах от 0 до 80 мм будут отображаться оптимально и значения амплитуд будут как можно ближе друг к другу. Это соответствует положению отражателей на расстоянии  $X = 60$  мм от фронта АР.

Центральную линию сварного шва устанавливаем на координату 60 мм.

Устанавливаем границы зоны контроля.

Правую границу необходимо установить на правую границу маски шва плюс зона термического влияния (ЗТВ). Но в документе СТО 00220256-005-2005 нет сведений по ширине ЗТВ, поэтому воспользуемся требованиями ГОСТ 17640-2016, где сказано, что объём контроля определяется как зона, которая включает в себя сварной шов и основной металл на 10 мм с каждой стороны от сварного шва, или ширину зоны термического влияния в зависимости от того, что больше. Так как ширину зоны термического влияния мы не знаем, то определяем ширину ЗТВ = 10 мм. Линейное сканирование будем проводить с помощью сканирующего устройства на магнитных колёсах. При сканировании точное соблюдение расстояния от середины шва невозможно, поэтому определим погрешность в перемещении сканера  $\pm 15$  мм. Левую границу ставим на расстоянии 15 мм от левой

границы шва, правую границу ставим на расстоянии 25 мм от правой границы маски шва. У нас получилось  $X1 = 92,5$  мм,  $X2 = 17,5$  мм.

Устанавливаем границы зоны контроля по глубине: верхнюю границу  $Z1 = 0$  мм, нижнюю  $Z2 = 86$  мм (прямой и однократно-отражённый луч и запас на высоту валика усиления).

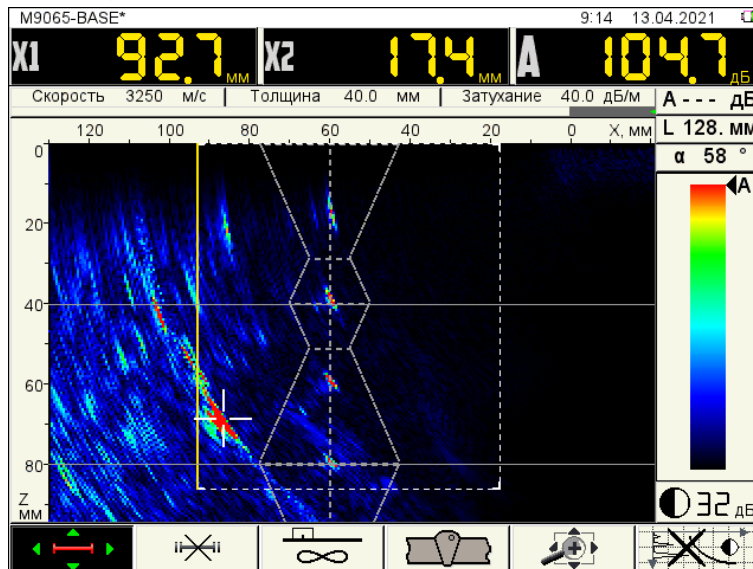


Рисунок 5-117 Установленная зона контроля и маска сварного шва

Клавишей **F2** включаем второй строб и устанавливаем его границы таким образом, чтобы при перемещении АР в пределах зоны контроля в него попадал только один отражатель. Заходим в режим НАСТРОЙКА на первую страницу, выбираем строку «Метод оценки дефектов ПРЧ» и настраиваем ПРЧ по методике, приведённой в пункте 5.3.4.4.

Для проверки ПРЧ устанавливаем опорный уровень по любому БЦО. Проверяем равенство амплитуд сигналов в разных местах зоны контроля от разных БЦО. Амплитуда должна быть ( $A_{\text{опорный}} \pm 2$ ) дБ.

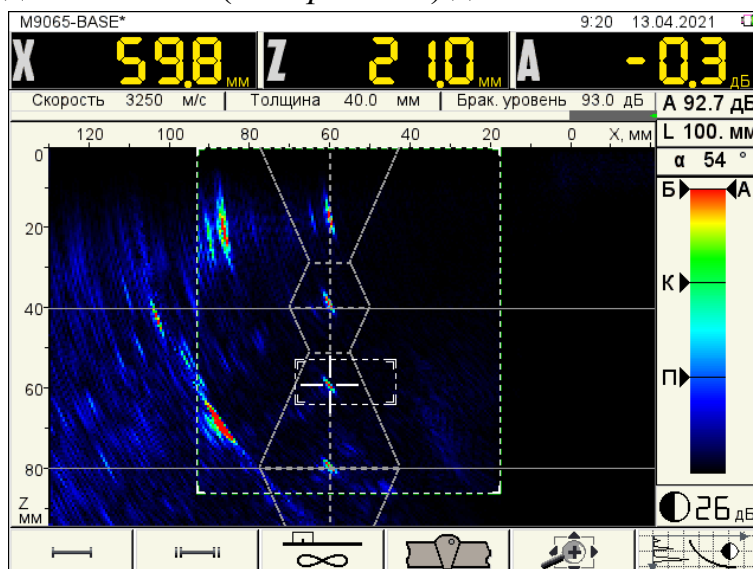


Рисунок 5-118 – Проверка ПРЧ.  $A_{\text{опорный}} = 93$  дБ

После проверки ПРЧ устанавливаем АР на образец RB 65-50-7 и устанавливаем опорный уровень по ПДО. Он равен 84 дБ.

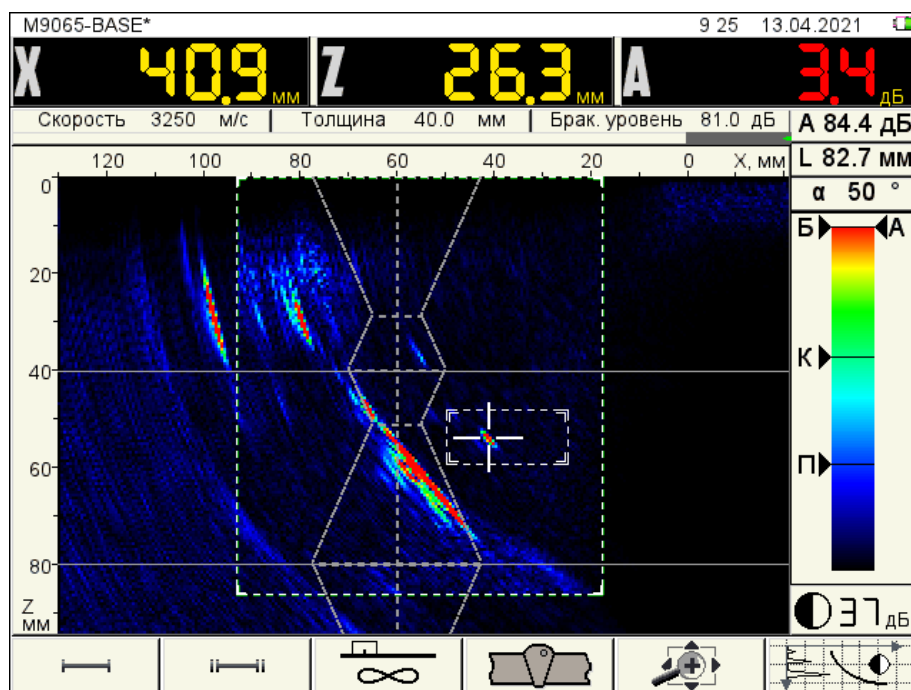
В настроечном образце ПДО имеет диаметр 3 мм, площадь соответственно  $S_{экв} = 7,1 \text{ мм}^2$ . Браковочный уровень согласно документу СТО 00220256-005-2005 площадь  $S_{брак} = 5 \text{ мм}^2$ .

Рассчитаем поправку чувствительности:

$$\Delta A = 20 \cdot \lg \frac{5}{7} = -3,0 \text{ дБ}$$

Вводим полученное значение на первой странице режима НАСТРОЙКА в параметр «Поправка чувствительности». Браковочный уровень равен:

$$A_{бр} = A_{опорный} - \Delta A = 84 - 3 = 81 \text{ дБ}.$$



**Рисунок 5-119 – Браковочный уровень 81 дБ**

В рабочем режиме изменим рабочее значение контрастности изображения таким образом, чтобы справа на шкале уровней чувствительности уровни Б (Браковочный), К (Контрольный), П (Поисковый) делили шкалу визуально на равные доли. Рабочий уровень контрастности будет равен 37 дБ. Настройка чувствительности завершена.

Сохраняем конфигурацию под именем TANK-C39-40мм-09Г2С.

Нам удалось выровнять чувствительность во всей зоне контроля, поэтому при линейном сканировании будет достаточно одного прохода с одной стороны шва. Для проведения контроля всего сварного соединения достаточно будет сделать по одному проходу с двух сторон сварного шва.

Теперь необходимо определить максимальные допустимые значения условной протяжённости несплошностей. Значения будем определять по отражателям ПДО в образце RB 65-50-7.

Данные измерения делаем также как и в предыдущих примерах, например пункт 5.2.7.2, т. е. устанавливаем АР на образец, находим максимум сигнала от ПДО и сдвигаем АР в обе стороны, пока маркер на цветояростной шкале справа не сравняется с контрольным уровнем К. Измеряем линейкой условную протяжённость каждой ПДО. Получаем следующий результат:

$Zl = 15 \text{ мм}, \Delta L = 9 \text{ мм};$

$Zl = 30 \text{ мм}, \Delta L = 11 \text{ мм};$

$Zl = 40 \text{ мм}, \Delta L = 13 \text{ мм};$

$Zl = 50 \text{ мм}, \Delta L = 15 \text{ мм};$

$Zl = 60 \text{ мм}, \Delta L = 17 \text{ мм};$

$Zl = 100 \text{ мм}, \Delta L = 23 \text{ мм}.$

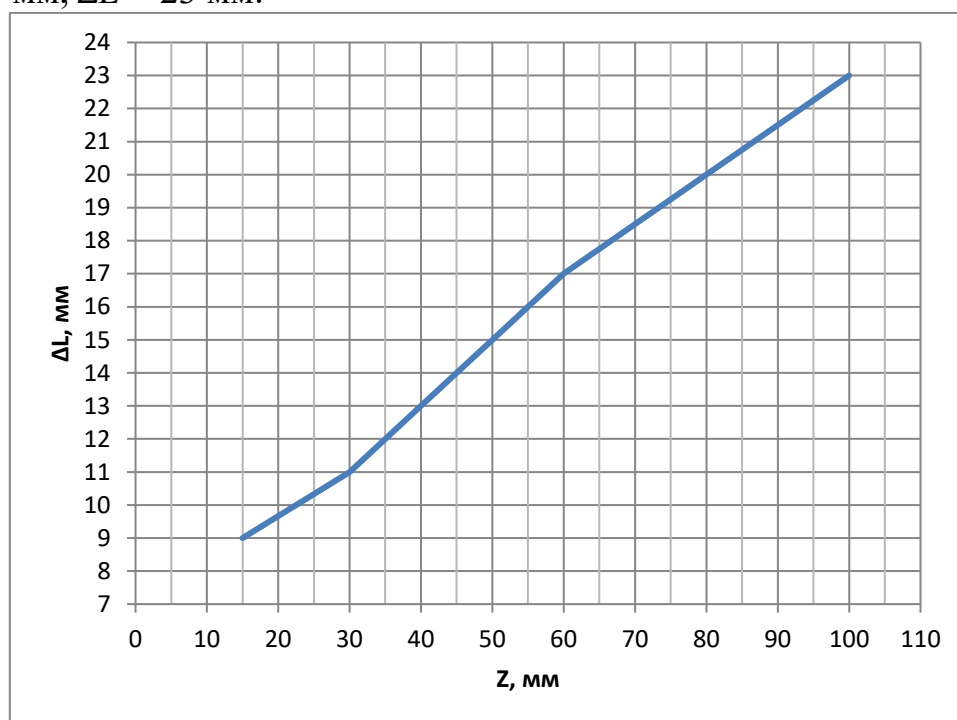


Рисунок 5-120 График условной протяжённости ПДО от глубины залегания ПДО

Отражатели протяжённостью выше линии графика будут считаться протяжёнными, и будут браковаться по превышению контрольного уровня.

#### 5.4.5. Проведение контроля

Собираем систему для сканирования. Закрепляем на АР M9065 металлический бандаж, устанавливаем в сканер MS150 TuScan, провод энкодера подключаем к сканеру и к электронному блоку прибора. Сканер предназначен для работы на магнитных материалах.

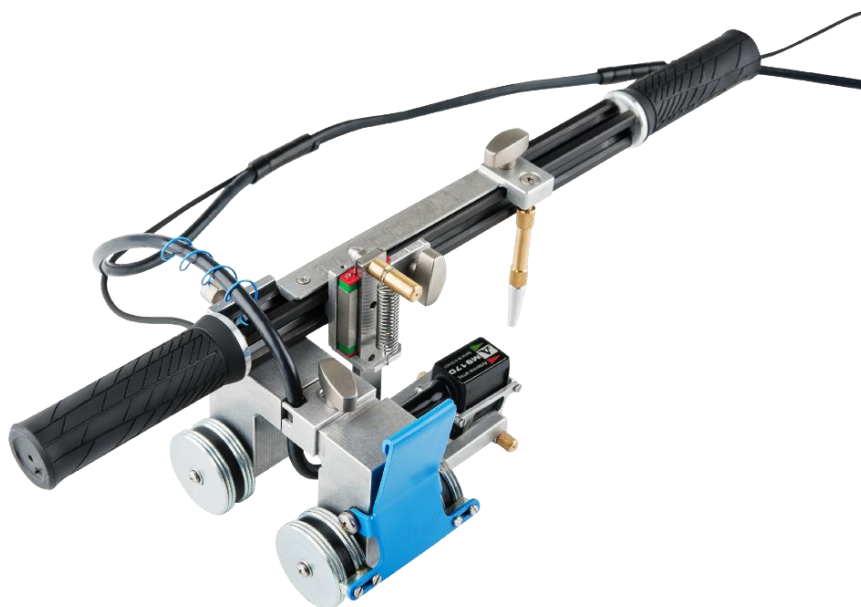



Рисунок 5-121 – Сканирующее устройство MS150 TuScan

На приборе кратковременно нажать клавишу .

Перейти в режим СКАНЕР.

Войти в режим НАСТРОЙКА и нажать клавишу **F5**.

Толщина контролируемого сварного соединения 40 мм. Согласно документу ISO 13588:2012 для толщин от 10 до 150 мм шаг сканирования не должен быть более 2,0 мм. Если установить шаг 1,0, то результат контроля – сканограмма визуально будет выглядеть лучше, чем при шаге 2мм, но сканировать придется с меньшей скоростью и производительность контроля будет ниже. Результаты контроля ( амплитуды сигналов, координаты, протяженности) при скорости 1,0 и 2,0 мм будут одинаковые. Поэтому выбираем шаг 2,0 мм.

Далее нужно перейти на строку «Сканер», выбрать значение «MS150» и нажать клавишу .

Провести процедуру калибровки сканера согласно руководству по эксплуатации. Данную процедуру рекомендуется проводить на любом магнитном материале или на объекте контроля. При калибровке на немагнитных материалах погрешность калибровки может быть больше. Абсолютная погрешность измерения координаты  $Y$  вдоль сварного соединения должна быть не более  $\pm 1\%$  от измеряемой величины. После успешной калибровки напротив надписи «Сканер» появляется значок «✓», который показывает, что сканер откалиброван.

Сохранить конфигурацию.



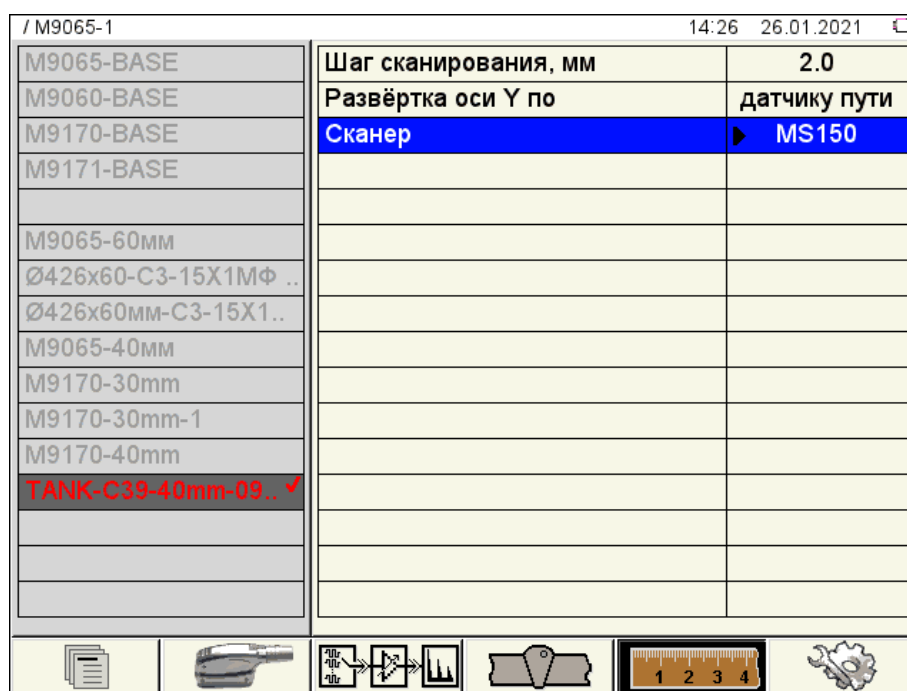


Рисунок 5-122 – Страница F5 режима НАСТРОЙКА

Сварное соединение имеет длину 8000 мм. Для удобства контроля и для уменьшения погрешности измерения координаты  $Y$  вдоль шва рекомендуется разбить его на участки длиной 1000 мм. Сканограмма каждого участка будет состоять из двух сканов нечётный № 1 и чётный № 2 с обеих сторон сварного шва. Сканограмма одного участка должна быть сделана с захватом следующего участка на длину от 20 до 50 мм, т. е. фактическая длина сканограммы будет от 1020 до 1050 мм. При настройке конфигурации в режиме ТОМОГРАФ был определен отступ от центра сварного шва до фронта АР 60 мм.

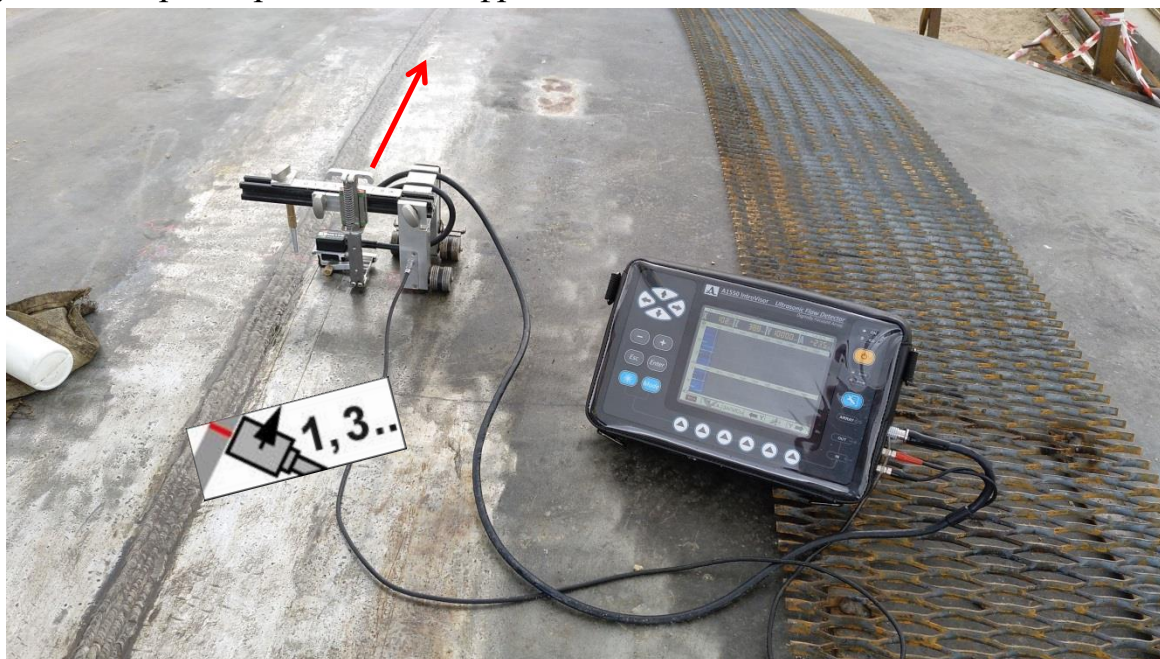


Рисунок 5-123 – Фотография сварного соединения TANK-C39-40мм-09Г2С

Выйти из режима НАСТРОЙКА.

Нажать клавишу F3 и задать имя сканограммы в соответствии с заявкой на контроль. Например, CA00301-0-03-NHSGAH610001-2\_F-1\_0-1. Последние цифры 0-1 означают, что сканограмма строится для участка сварного шва с координатой Y от 0 до 1 метра.

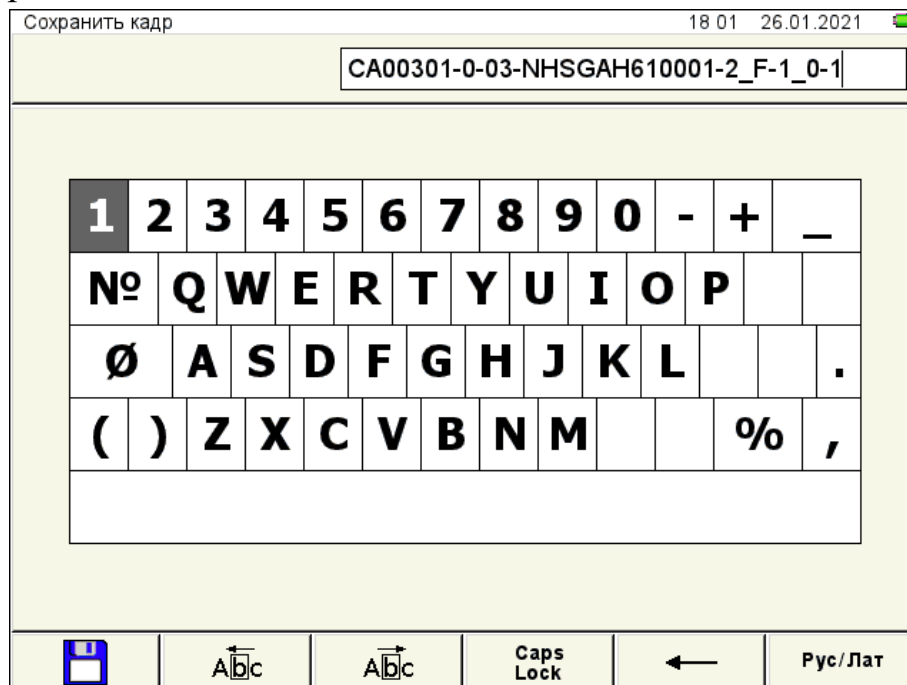


Рисунок 5-124 – Создание имени сканограммы

После сохранения имени сканограммы, прибор автоматически возвращается в рабочий режим, клавиша F3 меняет свое название на «ЗАПИСЬ» (рисунок 5-125).




Клавиша F2 определяет направление движения сканера относительно сварного шва. Сопоставляем картинку пиктограммы F2  и фактическое направление движения сканера на сварном шве (рисунок 5-123). Направления совпадают, выбор направления сканирования правильный. Если нужно, можно начать сканирование с противоположной стороны, тогда необходимо нажать клавишу F2 . Мы будем начинать со Скана № 1, поэтому выбираем пиктограмму . При несовпадении направления клавиши F2 и направления сканирования сканограмма строиться не будет.



Рисунок 5-125 – Установка направления движения сканера. Клавиша F2.

Нажать клавишу **F3** «ЗАПИСЬ», в открывшемся окне «Отступ фронта AP» установить значение 60 мм и подтвердить нажатием клавиши **Enter**.

Пиктограмма клавиши **F3** приобретает инверсный вид **ЗАПИСЬ**.

На сканирующем устройстве установить целеуказатель по линейке на расстояние 60 мм.

Установить сканер на сварное соединение, чтобы целеуказатель показывал на середину сварного шва (рисунок 5-123).

Для начала записи нажать клавишу **Enter**, справа на приборе начинают мигать попеременно два красных светодиода.

Начать перемещение сканера вдоль сварного соединения, целеуказатель должен находиться на середине шва. На приборе нужно следить за построением сканограммы, не допуская образования пропусков записи, которые индицируются на сканограмме вертикальными серыми полосками. Пропуски записи допускаются в объеме не более 5 % всех данных. Например, на длине 1000 мм это составляет 50 мм, т. е. при шаге сканограммы 2 мм допускается 25 пропусков. Но не допускается, чтобы два или более пропусков были вместе, т. е. расстояние между соседними пропусками должно быть не менее 10 мм. Мы рекомендуем все-таки по возможности исключить пропуски и если они появились, то следует вернуть сканер на место пропуска и ещё раз его просканировать, удаляя пропуск. В любой момент можно приостановить запись нажатием клавиши **Enter**, но сканер двигать нельзя.

Завершать сканирование следует с перекрытием начала следующего участка не менее 20 – 50 мм. Для завершения записи Скана № 1 нажать клавишу **F3** и подтвердить завершение клавишей **Enter**.

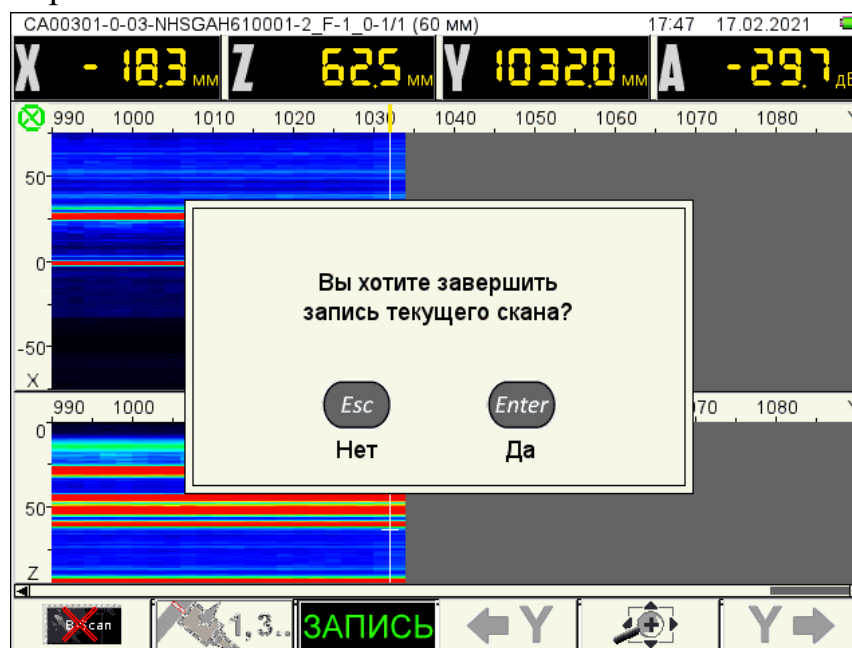



Рисунок 5-126 – Завершение записи Скана № 1

Для записи Скана № 2 установить сканер в начальную точку с противоположной стороны сварного шва и нажать клавишу **F2**, пиктограмма клавиши меняется на .

Нажать клавишу **F3**, появляется окно установки отступа со значением 60 мм. Подтвердить данный отступ. Пиктограмма клавиши **F3** приобретает инверсный вид **ЗАПИСЬ**.

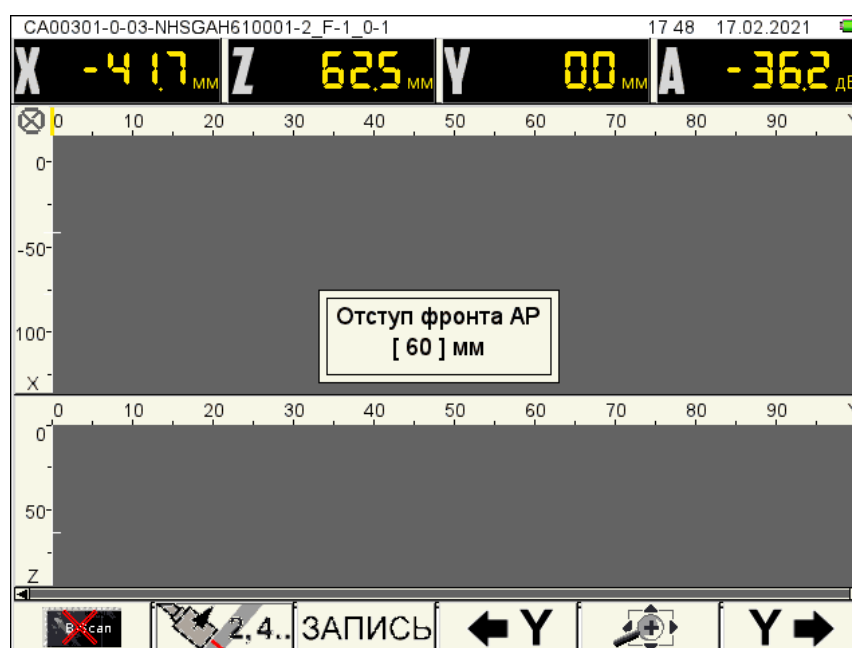





Рисунок 5-127 – Установка отступа для Скана № 2

Нажать клавишу , светодиоды начинают попеременно мигать.

Для записи Скана № 2 начать перемещение сканера.

Для завершения записи Скана № 2 нажать клавишу **F3** и подтвердить клавишей .

Для завершения записи всей сканограммы нажать клавишу  и подтвердить клавишей .

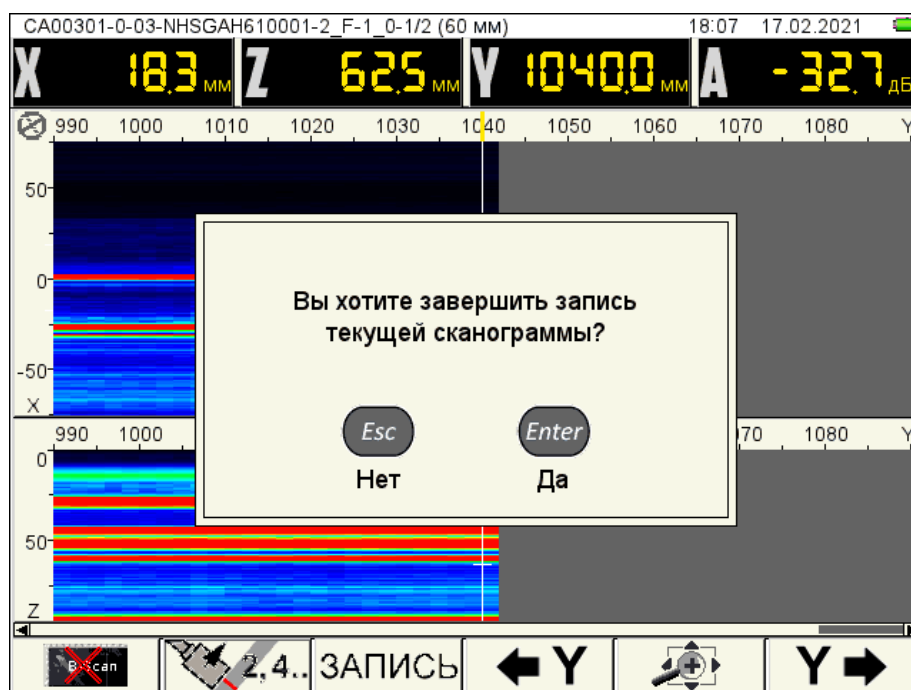





Рисунок 5-128 – Завершение записи всей сканограммы сварного соединения

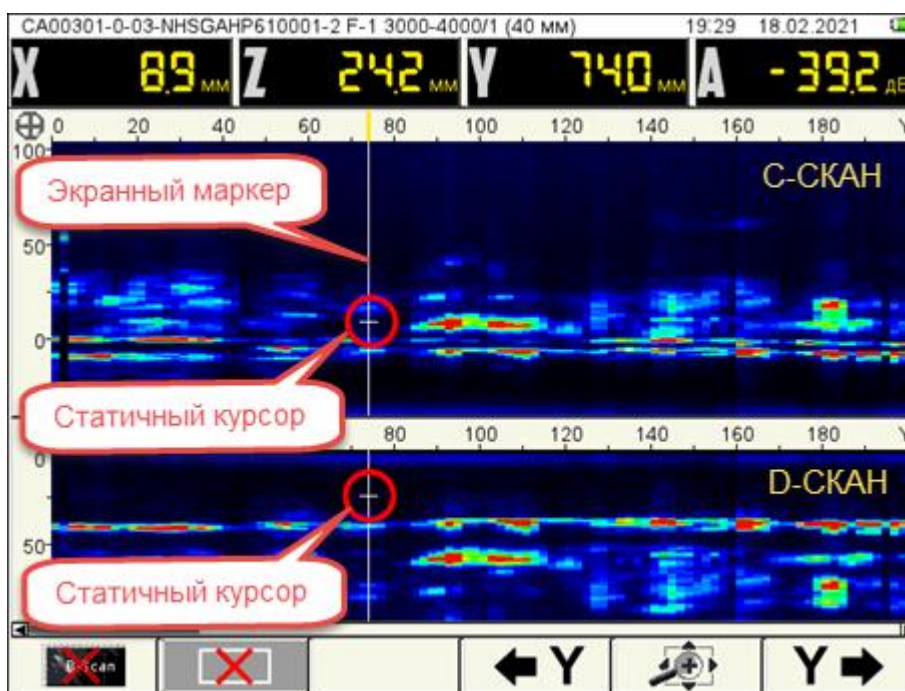
Сканограмма исчезает с экрана и прибор переходит в начальное состояние экрана режима СКАНЕР. Клавиша **F3** теперь имеет надпись «ИМЯ».

Просмотр записанных сканограмм возможен только в начальном состоянии экрана. Для перехода в список записанных сканограмм следует нажать клавишу . На приборе одновременно можно просматривать только один скан из сканограммы, для выбора скана необходимо нажать клавишу  и подтвердить выбор клавишей . На экране откроется выбранный скан сканограммы. В верхней строке показывается имя сканограммы, через дробь – номер скана, в скобках – отступ, при котором проводилось сканирование.



[illegible]

**Рисунок 5-129 – Список записанных сканограмм**



**Рисунок 5-130 – Скан № 1 сканограммы СА00301**

Скан сварного шва состоит из трёх видов, которые тоже называют сканами: В-, С-, D-Скан.



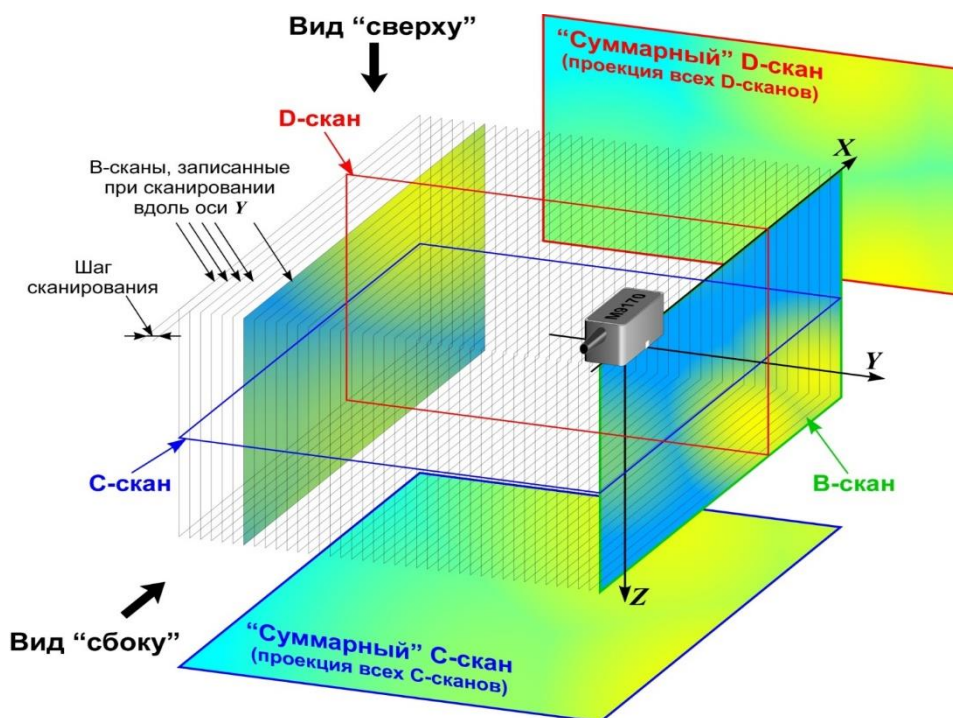


Рисунок 5-131 – Взаимное расположение антенной решётки и всех изображений, реконструируемых в процессе сканирования

Нажать клавишу **F5** и клавишами **+** **–** установить удобный масштаб для просмотра скана. Клавиши **F4**, **F6** перемещают экранный маркер вдоль оси *Y*. На нём есть два статичных курсора, которые можно перемещать с помощью клавиш «Стрелки» в интересующую точку на С- и D-Сканах. В панели результатов измерений показываются координаты и амплитуда в точке пересечения курсоров.

Клавишей **F2** можно включить маркерные рамки. Внутри маркерных рамок находятся динамические курсоры «**I**», которые отвязаны от экранного маркера и определяют положения максимума образа отражателя внутри рамки. В панели результатов измерений в этом случае показываются координаты и амплитуда в точке пересечения динамических курсоров. Теперь клавиши «Стрелки» перемещают маркерные рамки.

Для удобства расшифровки полученных результатов рекомендуется нажать клавишу **F1**, чтобы видеть на экране В-Скан и наблюдать отражатели на фоне маски сварного шва.



Рисунок 5-132 – Визуализация В-Скана с маской сварного шва

Алгоритм измерения условной протяжённости несплошности вдоль шва следующий:

- установить экранный маркер на интересующую несплошность;

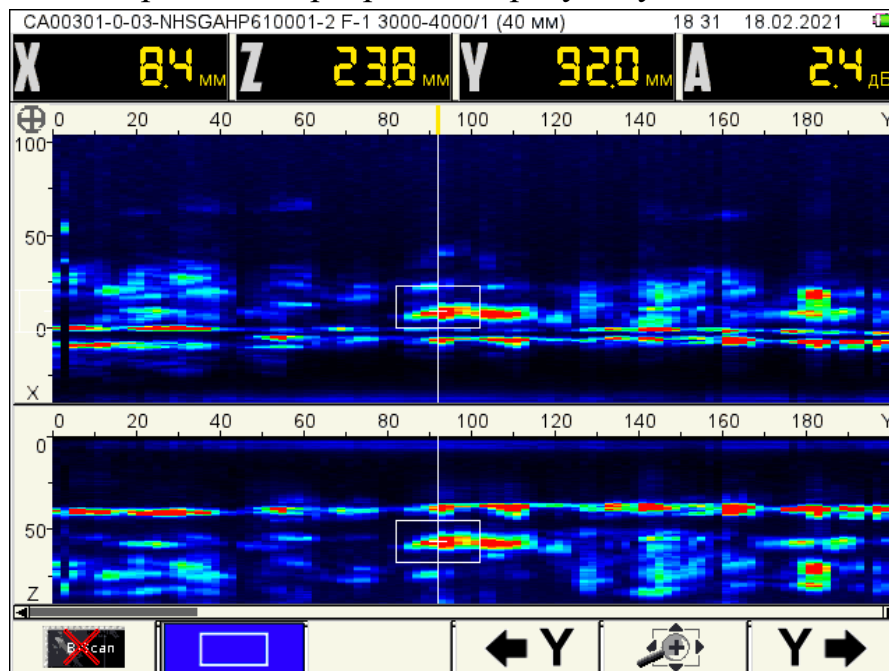


Рисунок 5-133 – Установка измерительного курсора на несплошность

– с помощью клавиши **F4** переместить экранный маркер влево, маркерные рамки тоже перемещаются влево, динамический курсор ищет максимум в рамках. Остановить маркер в положении, когда курсор найдет точку, в которой сигнал будет иметь амплитуду «-6дБ». Это будет считаться началом несплошности (рисунок 5-134);

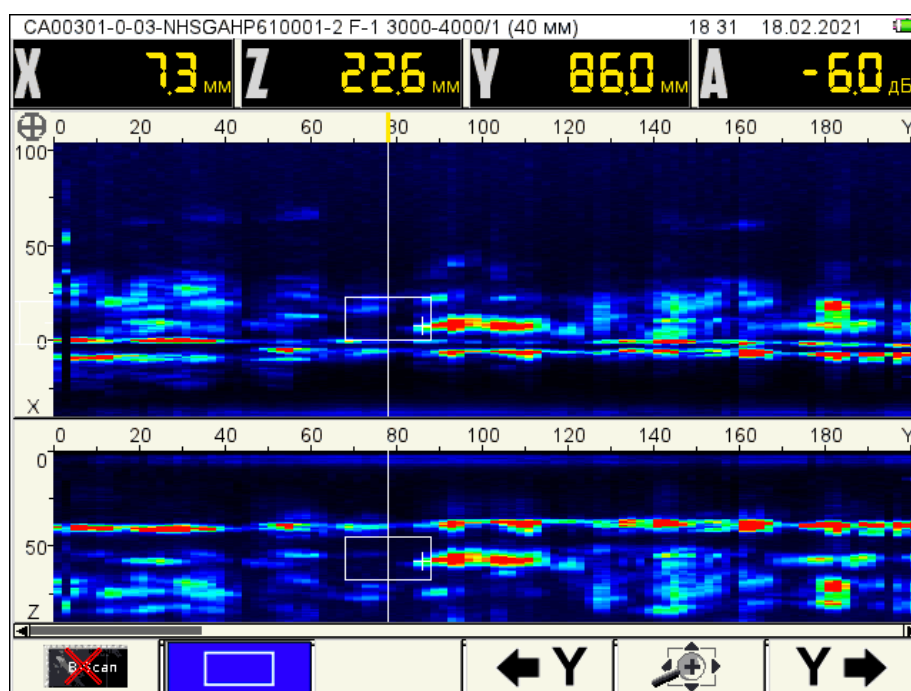


Рисунок 5-134 – Определение начала несплошности

– нажать клавишу **Enter** и установить статичный экраннй маркер на начало несплошности;

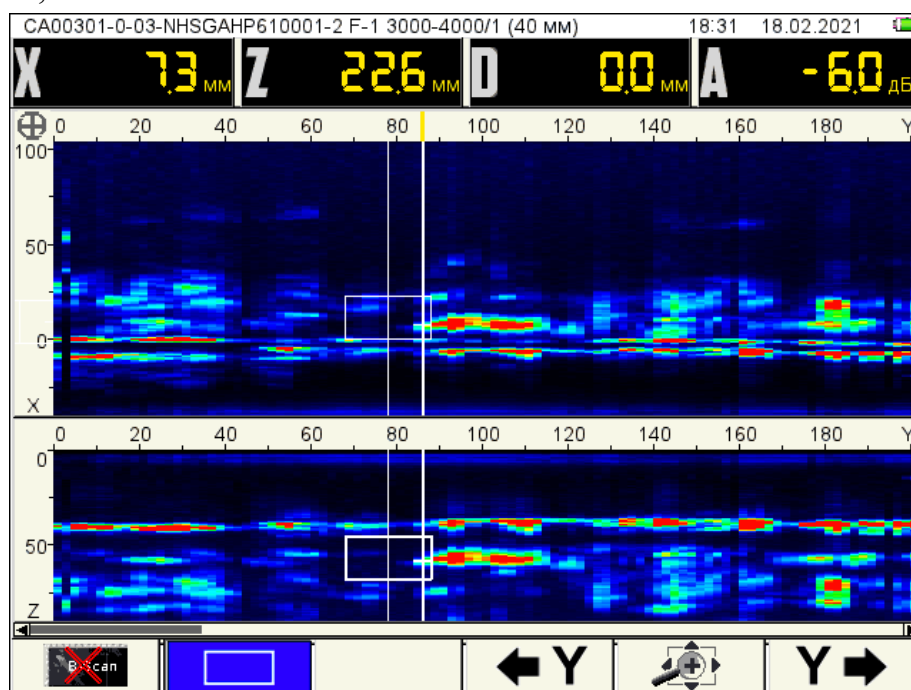


Рисунок 5-135 – Статичный маркер на начале несплошности

– с помощью клавиши **F6** перемещать экраннй курсор вправо до того момента, когда динамический маркер будет показывать значение «-6 дБ» на измеряемой несплошности. В нашем случае удастся найти положение «-7дБ»;

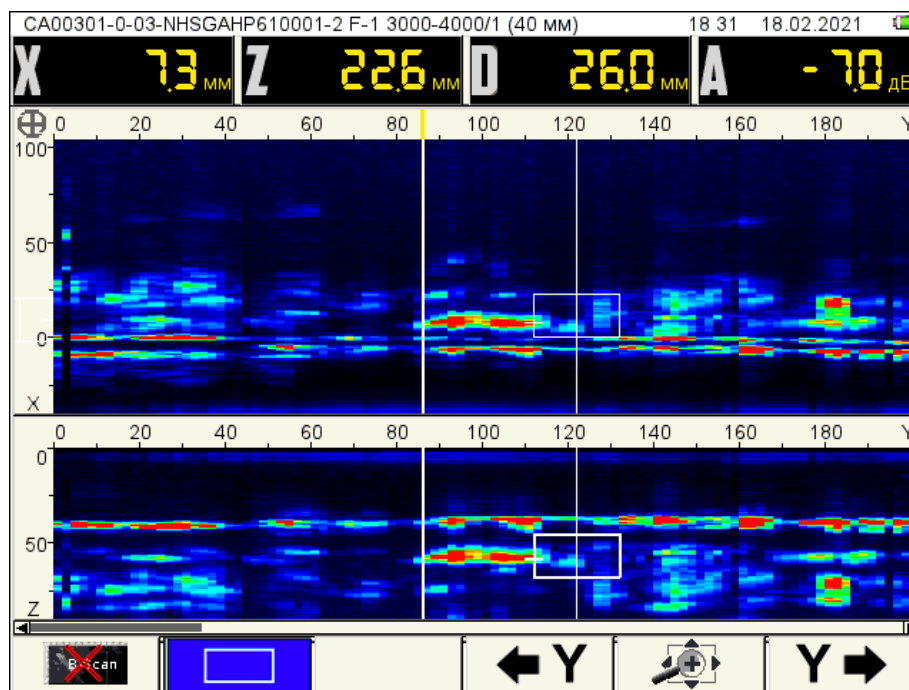



Рисунок 5-136 – Определение конца несплошности

– считать с экрана показание условной протяжённости. Это параметр  $D = 26,0$  мм;

- выйти из данного режима – клавиша ;
- записать параметры несплошности;
- перейти к следующей несплошности.

Анализ сканограмм удобнее делать в специальной программе IntroView Metal, которая устанавливается на персональный компьютер. Порядок работы в программе описан в руководстве пользователя программы.



### 5.5. Пример № 5 AP M9174. Толщина 5 мм. Механизированный контроль

Контроль резервуара:

- материал Сталь 09Г2С;
- стыковое сварное соединение С7 по ГОСТ 8713-79 (Сварка под флюсом);
- толщина 5 мм;
- ширина валиков 14 мм;
- без разделки;
- оценка качества по СТО 00220256-005-2005 «Швы стыковых, угловых и тавровых сварных соединений сосудов и аппаратов, работающих под давлением. Методика ультразвукового контроля»;

– предельная чувствительность (браковочный уровень)  $S_{бр} = 0,9 \text{ мм}^2$  (площадь плоскодонного сверления).

– настроечный образец – пластина толщиной 5 мм с зарубками  $2,0 \times 0,7 \text{ мм}$  шероховатость Ra2,5.

Контроль данного сварного соединения рекомендуем проводить антенной решёткой М9174-7,5 МГц.

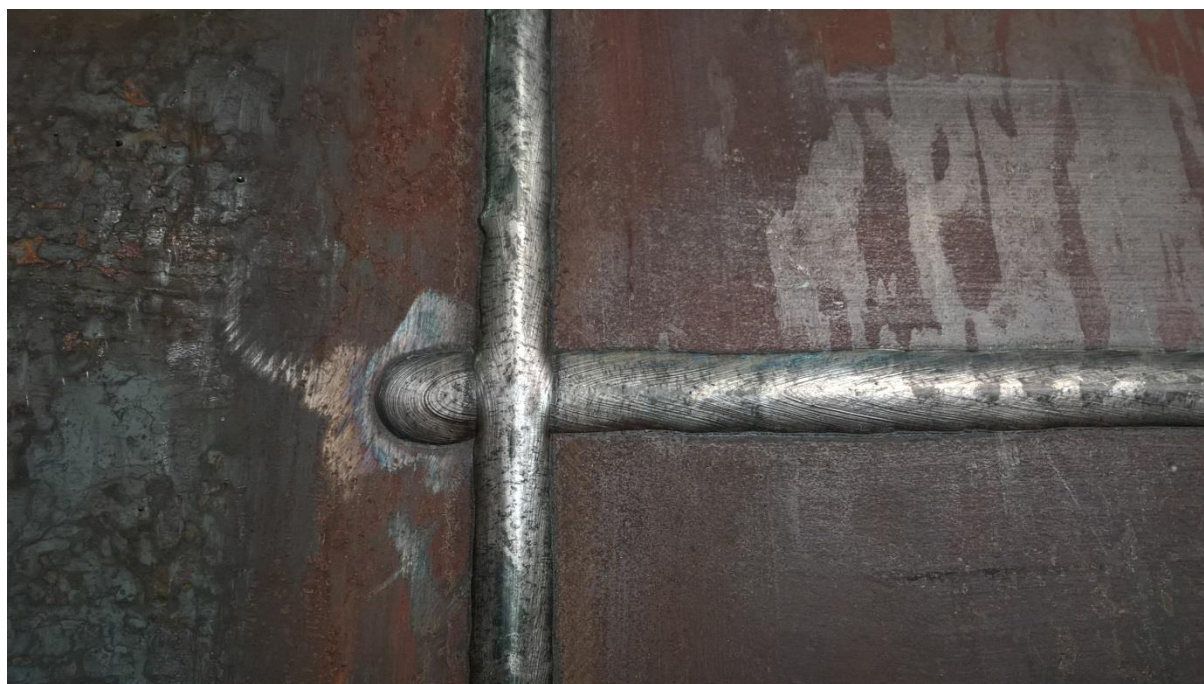


Рисунок 5-137 Фото сварного соединения С7 по ГОСТ 8713-79

➤ **Примечание** – Дефектоскоп ультразвуковой А1525 Solo для проведения механизированного контроля необходимо доработать до режима СКАНЕР, который отсутствует в базовой прошивке. Для этого необходимо прошить прибор специализированной версией внутреннего программного обеспечения за отдельную плату.

### 5.5.1. Установка рабочего усиления

Подключить AP M9174 к прибору.

В режиме НАСТРОЙКА выбрать базовую конфигурацию M9170-BASE, на базе которой будем создавать новую антенную решётку M9174.

Войти в редактирование AP 9170, нажав клавишу .

Необходимо установить следующие параметры:

- рабочая частота – 7,5 МГц;
- шаг – 1,25 мм;
- стрела – 10,5 мм;
- верхняя граница обзора – 85°».

Параметр «Шаг» закрыт для изменения, для его редактирования необходимо активировать ЭКСПЕРТНЫЙ РЕЖИМ. Для этого следует перейти на шестую страницу F6 и ещё семь раз нажать клавишу F6. На странице появятся дополнительные параметры.

Перейти на вторую страницу F2 и установить указанные выше значения параметров.

Сохранить новую AP под именем M9174-7,5 МГц.






/ M9174-7,5МГц*		11 15 11.03.2021
M9065	Антенная решётка	M9170
M9060	Тип решётки	наклонная
M9170	Рабочая частота, МГц	7.5
M9171	Цифровой фильтр, МГц [ЕМ]	7.5
	Аналоговый фильтр, МГц [ЕМ]	1.6
M9174-7,5МГц ✓	Импульс возбуждения, периоды	1.0
	Шаг, мм	1.25
	Задержка, мкс	1.5
	Стрела, мм	10.5
	Нижняя граница обзора, °	30
	Верхняя граница обзора, °	85
	Угловая коррекция	выкл
	Компенсация расхождения лучей	выкл
	Макс. число отражений SAFT	3
	Ноль оси X	фронт AP
    		

Рисунок 5-138 – Установка параметров AP M9174

Перейти на третью страницу F3 и установить AP на настроечный образец (рисунок 5-139). Установить рабочее усиление прибора согласно пункту 5.1.3.





Рисунок 5-139 – Положение АР на настроечном образце

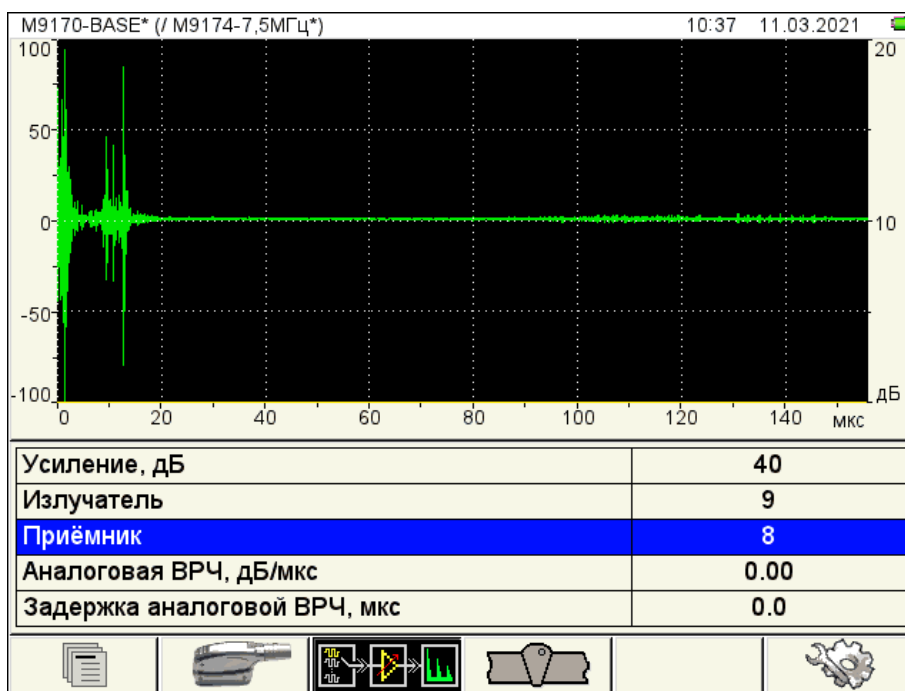


Рисунок 5-140 – Установка рабочего усиления

Усиление, при котором сигнал от нижнего угла не уходит в ограничение, составляет 40 дБ. На первой странице в параметре «Толщина, мм» установить значение 5 мм.

Сохранить конфигурацию под именем С7-5мм-09Г2С.

ЭКСПЕРТНЫЙ РЕЖИМ нам больше не понадобится, для выхода из него следует выключить и снова включить прибор.

Прибор загрузится в обычном режиме.

### 5.5.2. Настройка скорости ультразвука

Войти в рабочий режим.

Клавишей **F3** активировать режим вертикальных трещин и в том же положении AP на образце найти образ торца образца.

Установить границу строга на центр образа, образ виден без излома, значит скорость 3250 м/с, установленная по умолчанию, соответствует скорости в настроенном образце.

Настройка скорости завершена (рисунок 5-141).

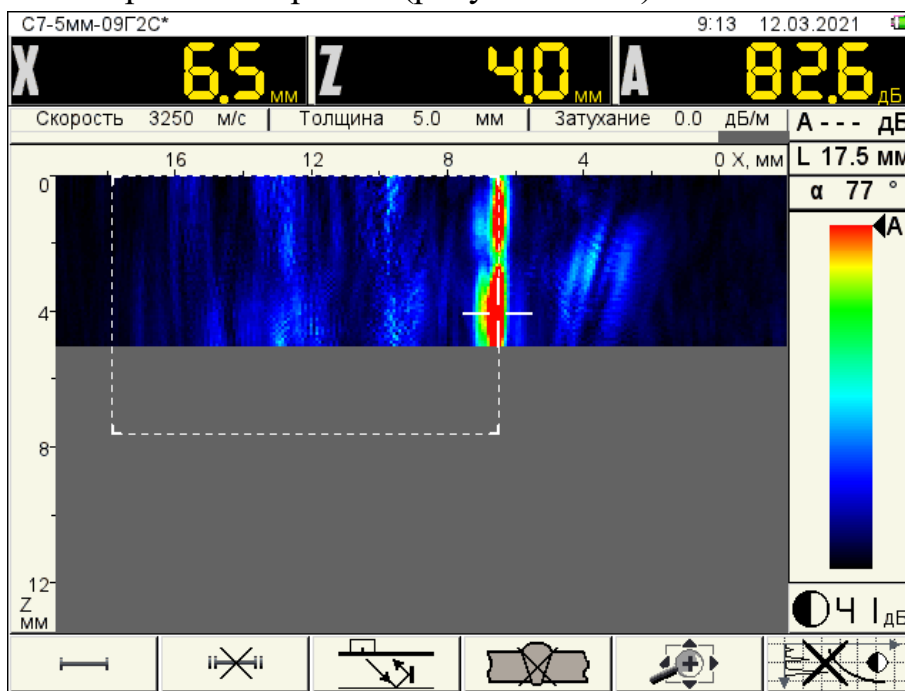


Рисунок 5-141 – Образ торца при правильной скорости ультразвука

### 5.5.3. Установка маски сварного шва, зоны контроля, режима реконструкции

Клавишей **F3** включить режим «Полупространство».

Клавишей **F4** установить маску сварного шва:

- верхний валик  $e = 14$  мм;
- нижний валик  $e_1 = 14$  мм;
- размер середины сварного шва  $e_2 = 13$  мм (точное значение нам неизвестно);
- отступ  $X_0 = 12$  мм, он равен половине ширины сварного шва 7 мм и зоне термического влияния, значение которого мы взяли 5 мм, в РД нет указаний по ширине ЗТВ, данное значение мы взяли из РД 34.17.302-97(ОП501).

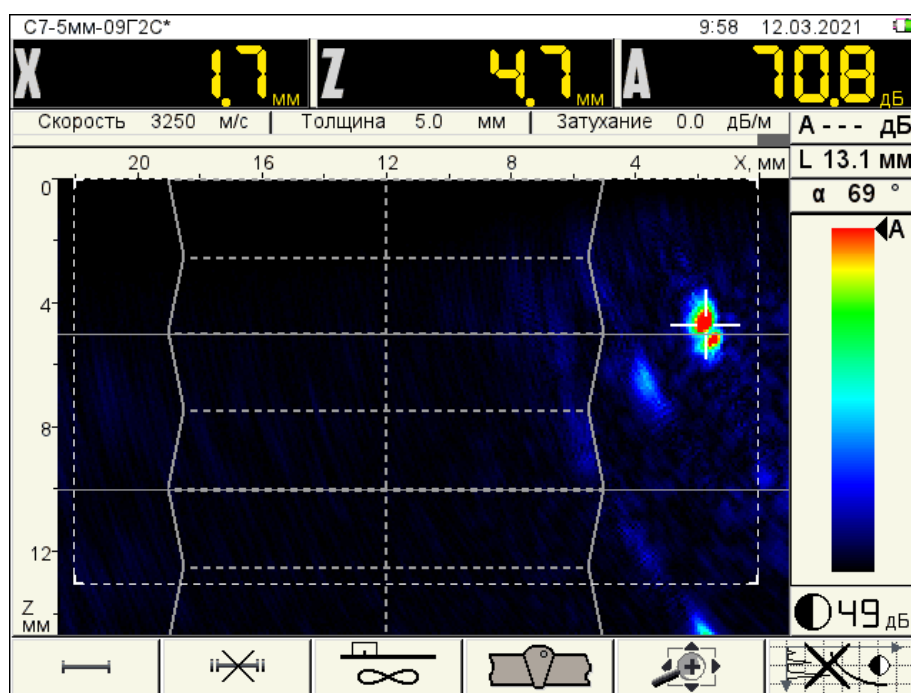


Рисунок 5-142 – Установка маски шва, зоны контроля и образ нижней зарубки  $A = 71$  дБ

Зону контроля установить, как показано на рисунке 5-142:

$X1 = 24$  мм (запас 5 мм на неравномерность при линейном сканировании);

$X2 = 0$  мм;

$Z1 = 0$  мм;

$Z2 = 13$  мм (запас 3 мм на валик усиления).

Клавишей **F5** установить масштаб изображения таким образом, чтобы вся зона контроля была видна на экране.

Найдём образы зарубок в разных положениях в зоне контроля. На рисунке 5-142 виден образ ближней зарубки в начале зоны контроля (участок ЗТВ). Образ зарубки состоит из двух образов, которые фокусируются различными модами волн с различными скоростями, тем не менее, образ виден хорошо и его амплитуда составляет 71 дБ.

Перемещаем АР назад и пытаемся найти образ ближней зарубки в конце зоны контроля. Образ на прямом луче не виден, он виден на двукратно-отражённом луче. Амплитуда сигнала 54 дБ (рисунок 5-143).

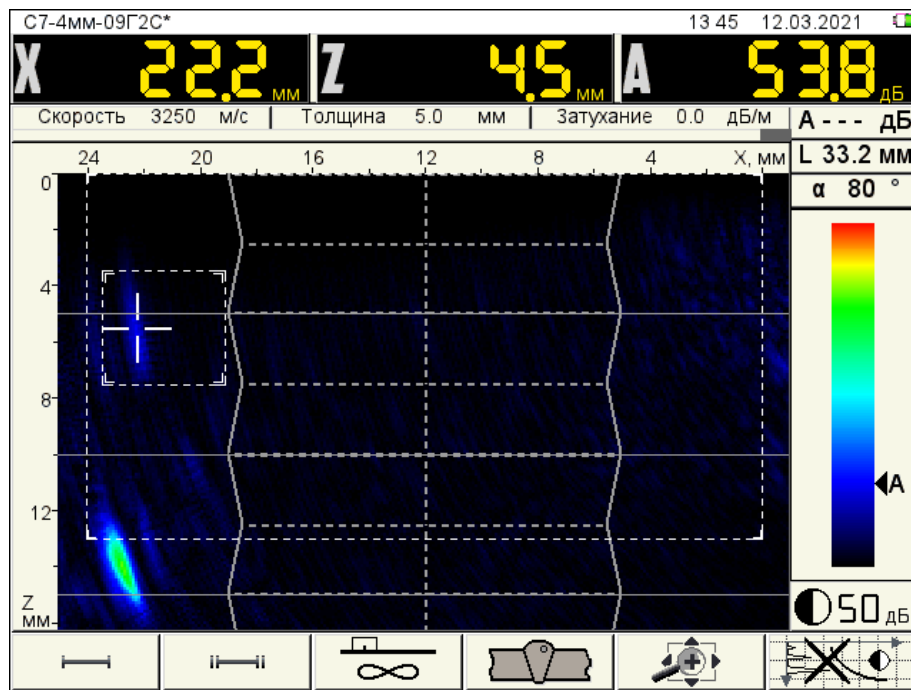


Рисунок 5-143 – Нижняя зарубка в левой части зоны контроля.  $A = 54$  дБ

То же самое сделаем на дальней (верхней) зарубке. Получим следующие результаты.

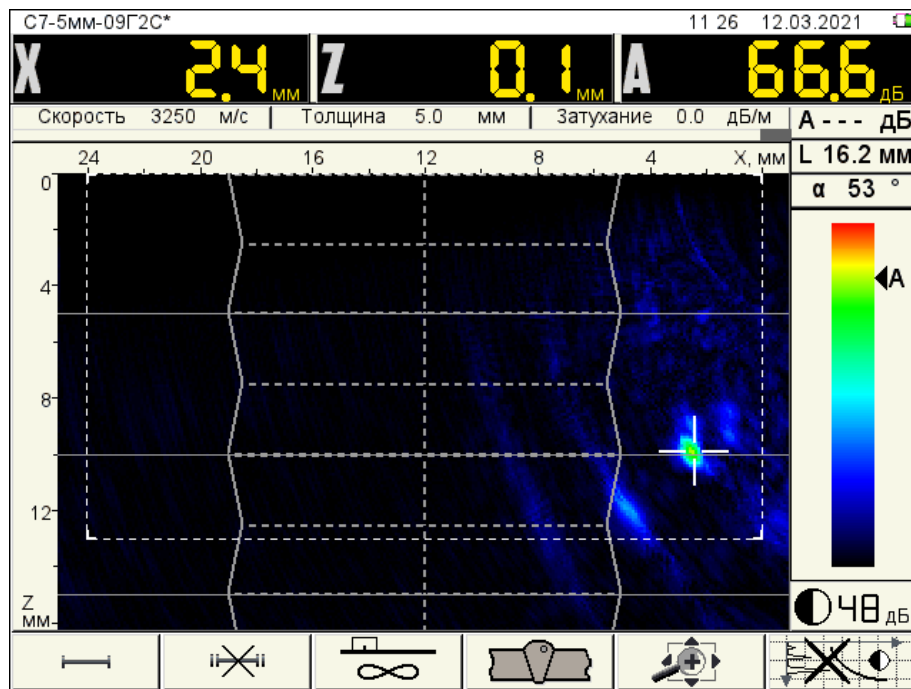


Рисунок 5-144 – Образ верхней зарубки в начале зоны контроля.  $A = 67$  дБ

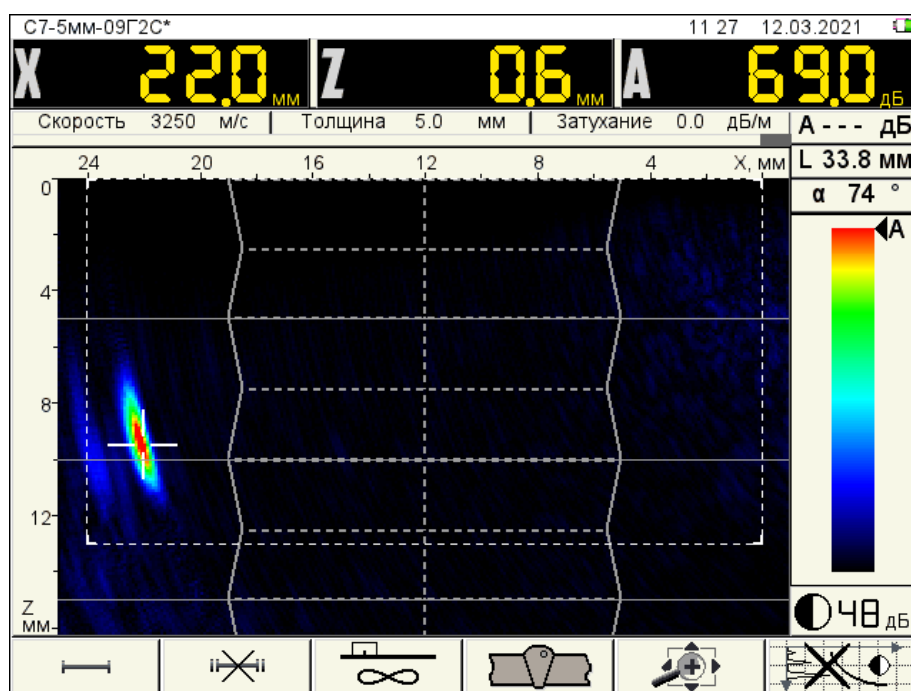


Рисунок 5-145 – Образ верхней зарубки в конце зоны контроля.  $A = 69$  дБ

Ситуация точно такая же, как и при классическом контроле обычными ПЭП. Контроль малых толщин с широкими валиками усиления лучше проводить в зоне одно и двукратных лучей. В режиме ТОМОГРАФ можно сделать то же самое, даже можно частично захватить зону прямого луча. Вид экрана и зона контроля будет выглядеть как показано на рисунке 5-146. Но расшифровывать множество сигналов при таком контроле будет конечно сложно.

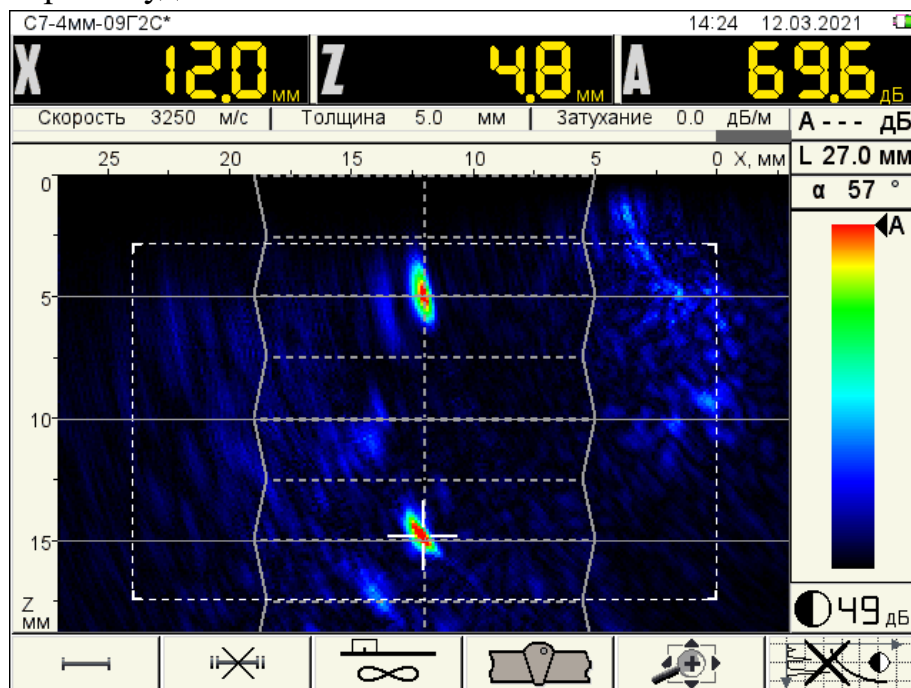
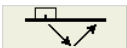


Рисунок 5-146 – Вид экрана с образом нижней зарубки при контроле на одно и двукратных лучах

В данной ситуации лучше попробовать применить технологию контроля с применением реконструкции изображения с учетом отражений от внутренней стенки, которая описана в пункте 2.4. При сканировании данных сварных швов рекомендуем применять «Режим пластина», в котором фокусируются диффузно-отражающие несплошности. «Режим нескольких алгоритмов» будет неудобен из-за того, что на экране будет намного большее количество образов из-за присутствия ложных отражателей, а также из-за низкой скорости сканирования в данном режиме. Режим «Вертикальных трещин» является всё-таки очень частным случаем, применять для сканирования его не рекомендуется, так как в сварном шве в основном присутствуют объемные дефекты или плоскостные, но разнонаправленные. Поэтому клавишей **F3** выбираем «Режим пластина» .

Теперь необходимо установить оптимальное значение в параметр «Макс. число отражений SAFT». Определяем это экспериментальным путем – сравниваем образы зарубок и их амплитуды при разных значениях этого параметра в разных местах зоны контроля. Практически одинаковые результаты мы получаем при значениях 4 и 6 и они лучше по сравнению со значением 3, которое было установлено по умолчанию. Так как мы выбрали «чётный алгоритм», то и значение данного параметра должно быть чётным. Выбираем 4, чтобы была возможность проводить линейное сканирование быстрее, если выбрать большее значение данного параметра, то это приведёт к замедлению работы прибора.

/ M9174-7,5МГц*		10:44	15.03.2021
M9065	Антенная решётка	M9170	
M9060	Тип решётки	наклонная	
M9170	Рабочая частота, МГц	7.5	
M9171	Импульс возбуждения, периоды	1.0	
	Шаг, мм	1.25	
M9174-7,5МГц ✓	Задержка, мкс	1.5	
M9174-7,5МГц-1	Стрела, мм	10.5	
	Нижняя граница обзора, °	30	
	Верхняя граница обзора, °	85	
	Угловая коррекция	выкл	
	Компенсация расхождения лучей	выкл	
	Макс. число отражений SAFT	4	
	Ноль оси X	фронт AP	

**Рисунок 5-147 – Выбор параметра «Макс. Число отражений SAFT»**

Проверим образы нижней и верхней зарубок после установки данного значения.



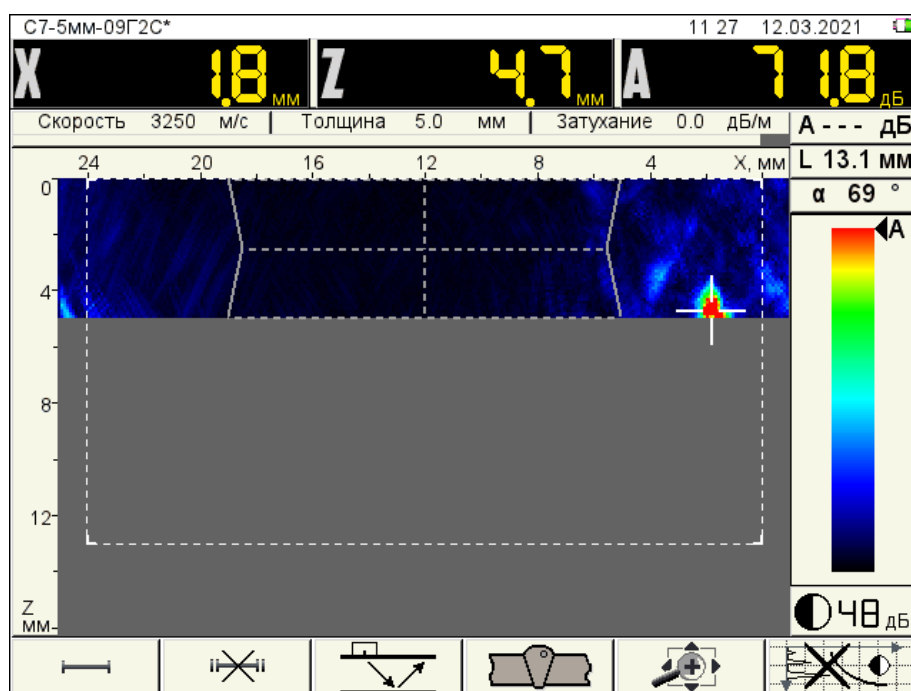


Рисунок 5-148 – Образ нижней зарубки в начале зоны контроля.  $A = 72$  дБ

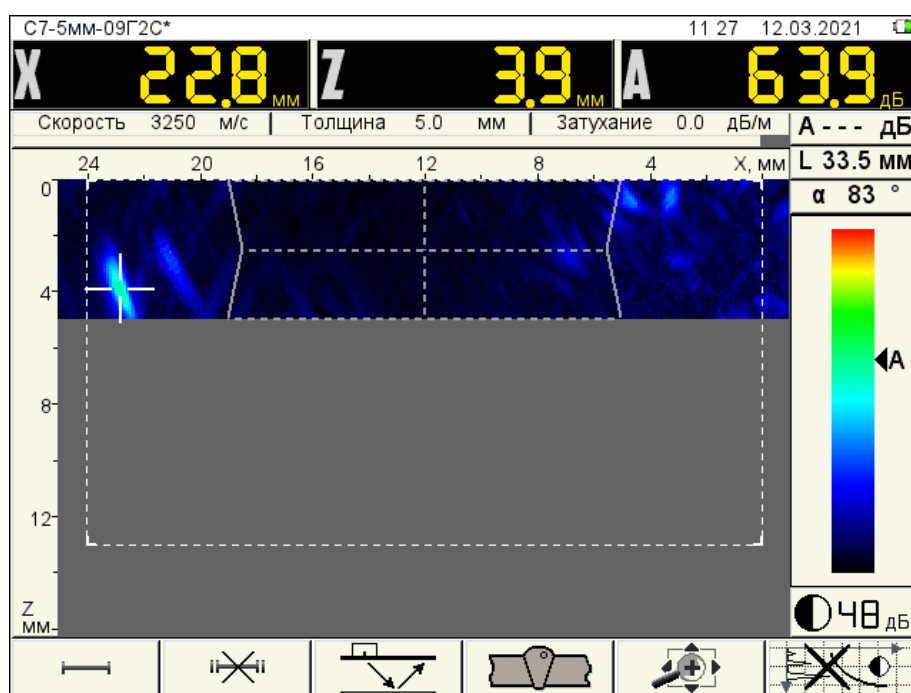


Рисунок 5-149 – Образ нижней зарубки в конце зоны контроля.  $A = 64$  дБ

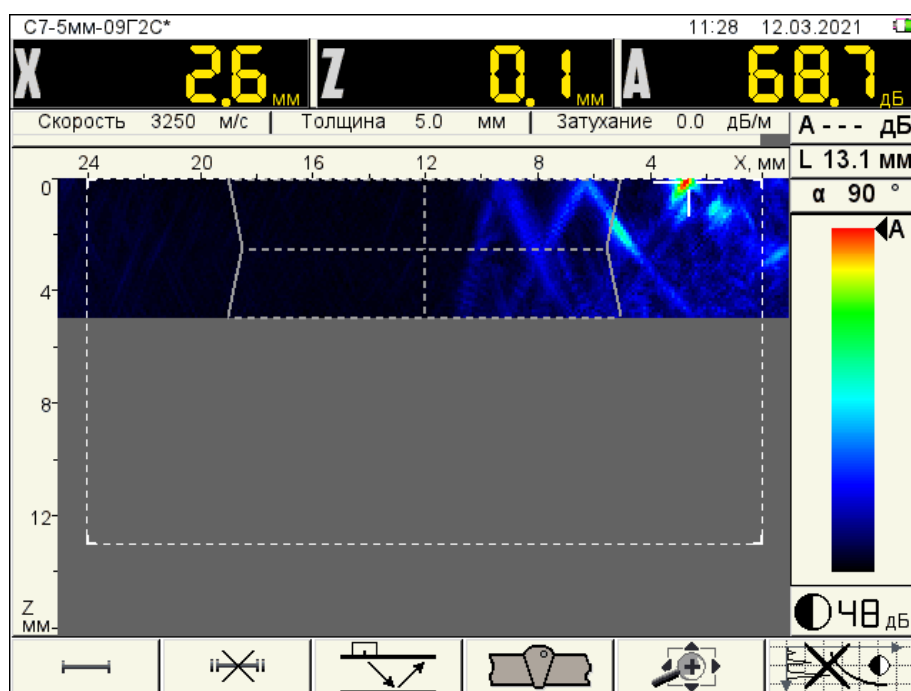


Рисунок 5-150 – Образ верхней зарубки в начале зоны контроля.  $A = 69$  дБ

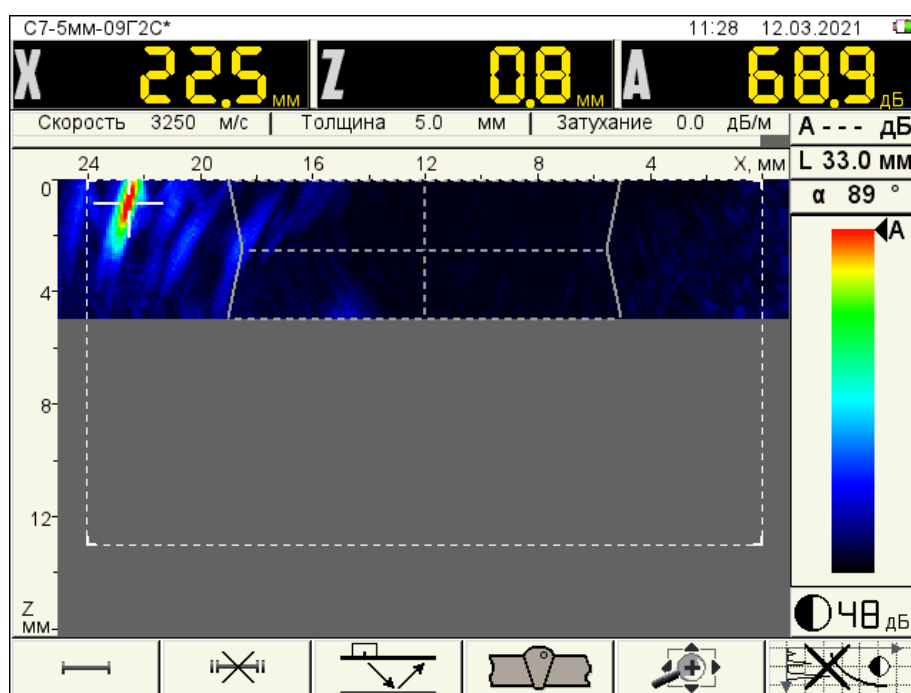


Рисунок 5-151 – Образ верхней зарубки в конце зоны контроля.  $A = 69$  дБ


#### 5.5.4. Настройка чувствительности

Разница амплитуд в разных частях зоны контроля составляет до 8 дБ. Для того чтобы провести контроль с применением линейного сканирования требуется выровнять чувствительность в зоне контроля с разницей  $\pm 2$  дБ.


Для этого настроим функцию ПРЧ.

Включить второй строб.

По ширине поместить его на всю ширину зоны контроля, по высоте сделать небольшим, чтобы в нем помещался только один отражатель.

Зайти в режим НАСТРОЙКА и в строке «Метод оценки дефектов – ПРЧ (А, дБ)» нажать клавишу .

Найти образ нижней зарубки.

Найти максимум сигнала и нажать клавишу , на месте образа появляется желтая узловая точка.

Переместить АР назад, примерно на 5 мм, и сохранить следующую узловую точку.

Повторить эти операции для верхней зарубки.

Сохранить построенную ПРЧ. То, что максимумы сигналов и соответственно узловые точки «прыгают» по глубине, объясняется особенностью отражений от зарубки при разных углах озвучивания.

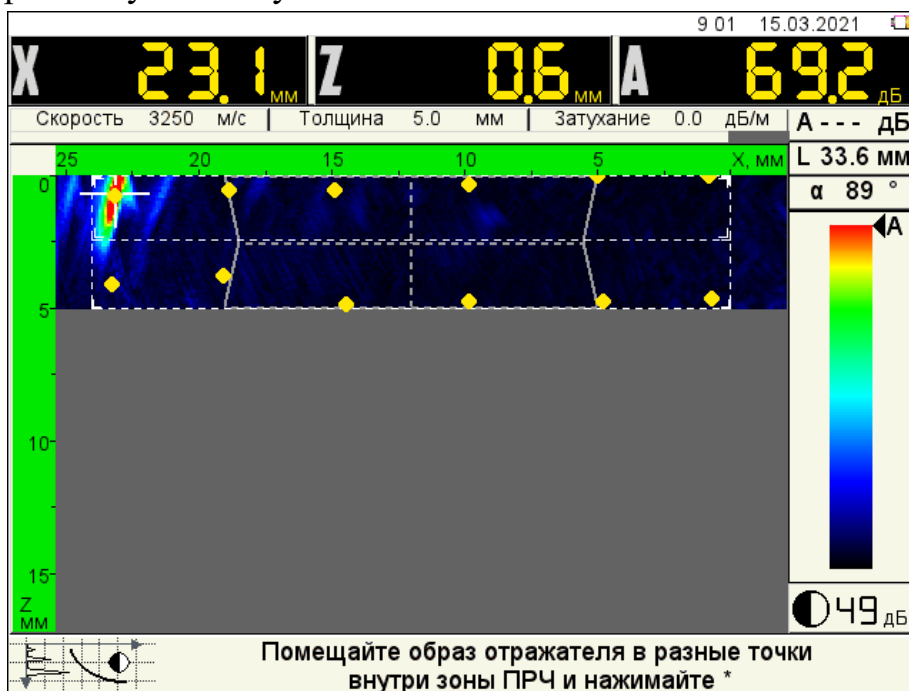


Рисунок 5-152 – Настройка ПРЧ

Не выходя из режима НАСТРОЙКА, установить опорный уровень. Для его установки следует использовать положение образа любой зарубки примерно в середине зоны контроля.

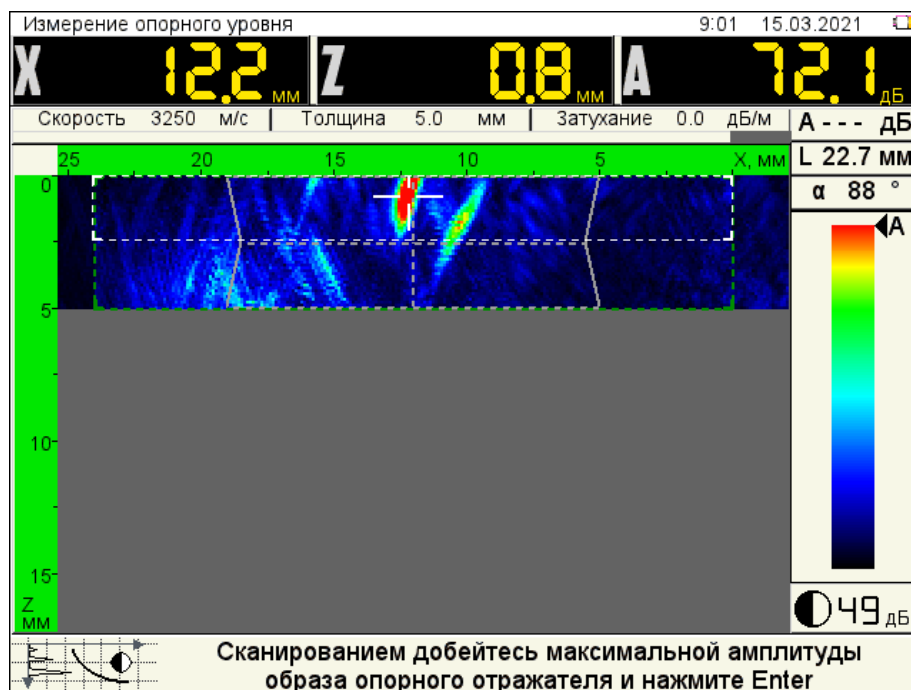




Рисунок 5-153 – Установка опорного уровня

Проверить разницу амплитуд в разных частях зоны контроля. Амплитуда равна  $(72 \pm 2)$  дБ.

Клавишами  и  установить рабочее значение контрастности изображения таким образом, чтобы справа на шкале уровней чувствительности, уровни Б (Браковочный), К (Контрольный), П (Поисковый) делили шкалу на визуально равные доли.

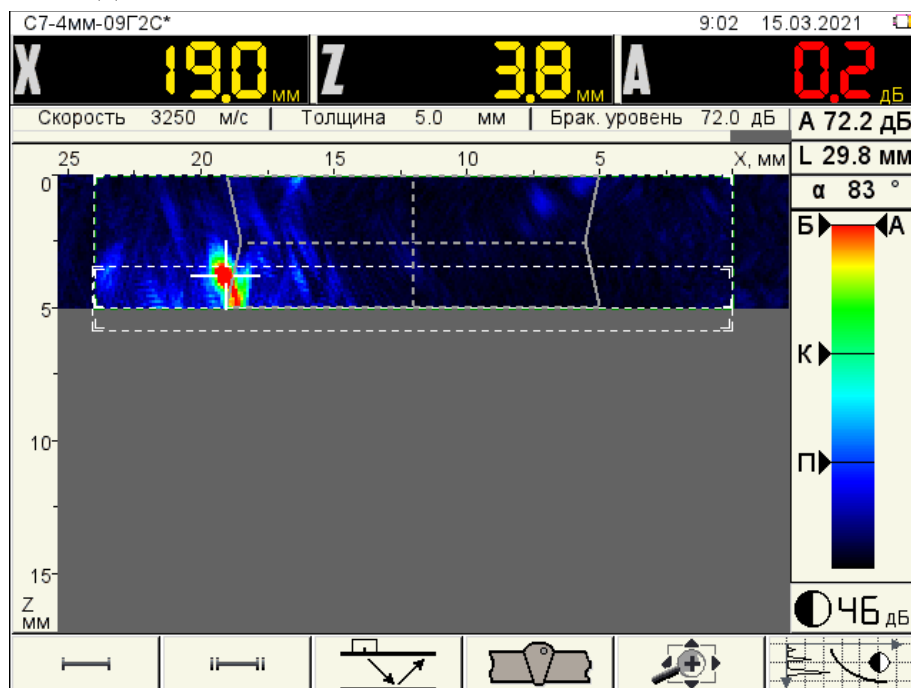


Рисунок 5-154 – Образ нижней зарубки.  $A = 0,2$  дБ

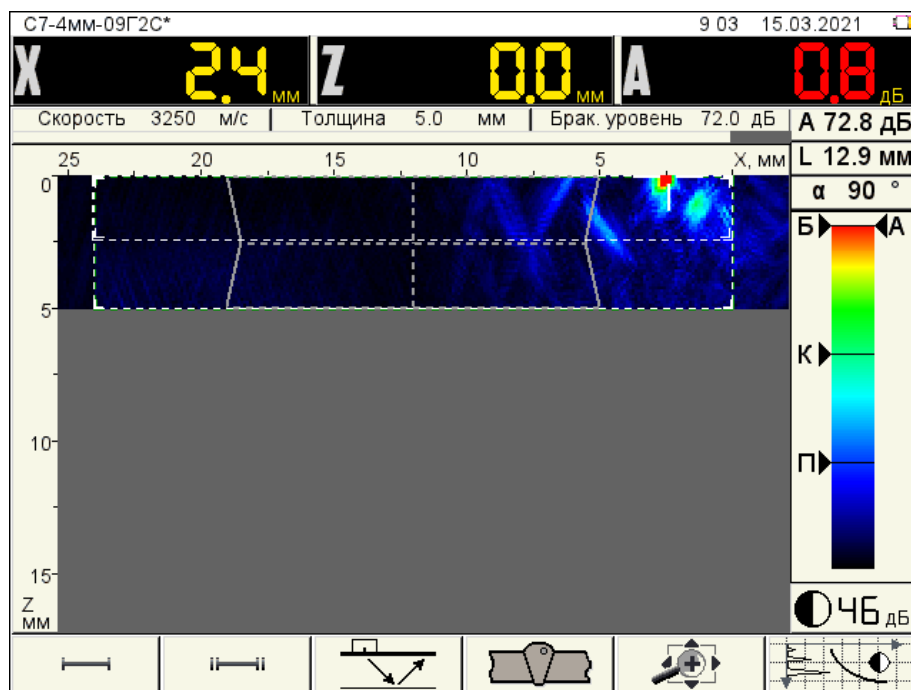


Рисунок 5-155 – Образ верхней зарубки.  $A = 0,8$  дБ

Сохранить изменённую АР М9074, перейдя на вторую страницу режима НАСТРОЙКА.

На первой странице режима НАСТРОЙКА сохранить изменённую конфигурацию С7-5 мм-09Г2С.

Настройка завершена.

### 5.5.5. Проведение контроля

Антенную решётку установить в сканирующее устройство MS150 TuScan и прикрепить на объект контроля.

Нажать клавишу **Mode** для перехода в режим СКАНЕР.

Войти в режим НАСТРОЙКА, перейти на пятую страницу **F5** и провести калибровку сканера в соответствии с руководством по эксплуатации.

На линейке сканера установить отступ 12 мм.

Установить сканер так, чтобы его целеуказатель показывал на середину шва.

Провести сканирование от начальной точки с обеих сторон сварного шва, в соответствии с методикой, приведённой в пункте 5.4.5.

Дефектоскопы ультразвуковые A1550 IntroVisor / A1525 Solo  
МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ РЕЖИМА ТОМОГРАФ

Версия 1.5

Редакция апрель 2021 г.