

Для проведения ультразвукового контроля (УЗК) служит установка ПУЗК, показанная на рисунке 1.

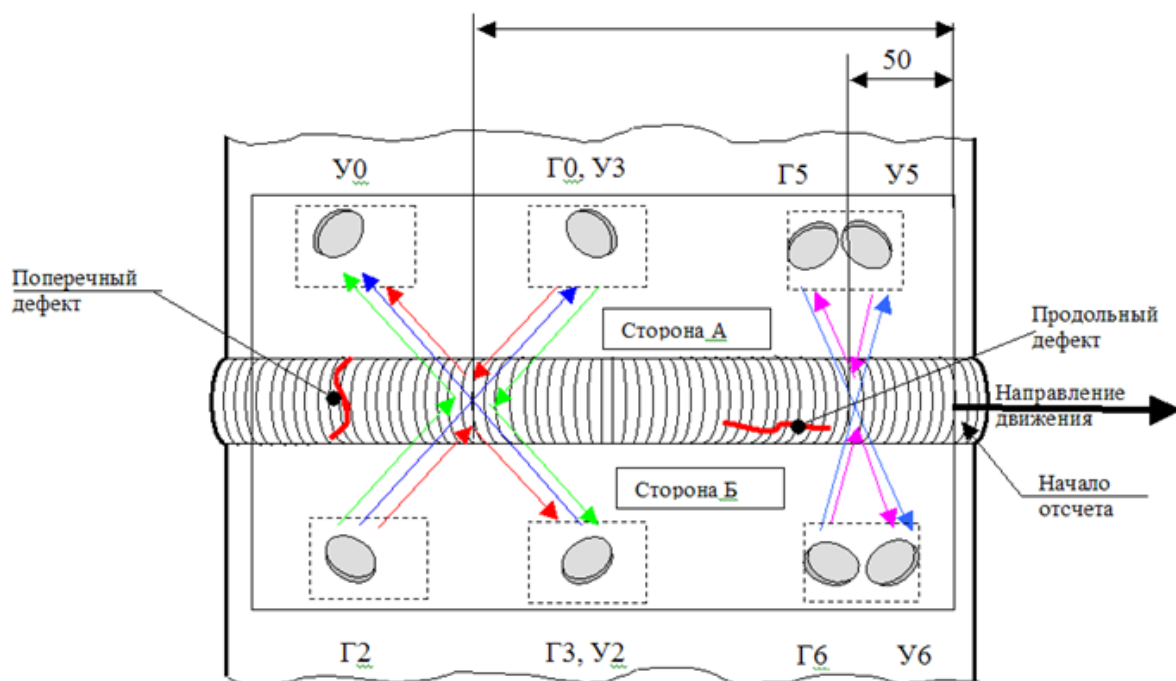


Рисунок 1 - Схема установки для проведения УЗК

Основные функции системы ПУЗК:

Выявление продольных и поперечных дефектов

Определение координат и условных размеров дефекта

Предназначена для проведения эксплуатационного контроля

В состав системы входят 8 преобразователей, располагающихся по обе стороны сварного шва. Часть из них является генераторами, а часть приемниками (усилителями) акустического сигнала (обозначены буквами Г и У), два преобразователя совмещают эти функции.

Эхо-метод

При эхо-методе преобразователи располагаются с одной стороны сварного соединения. Метод основан на том, что генератор излучает ультразвуковую волну, которая отражается от дефекта и принимается усилителем. В отсутствие дефекта сигнал на приемнике отсутствует.

Хордовая схема

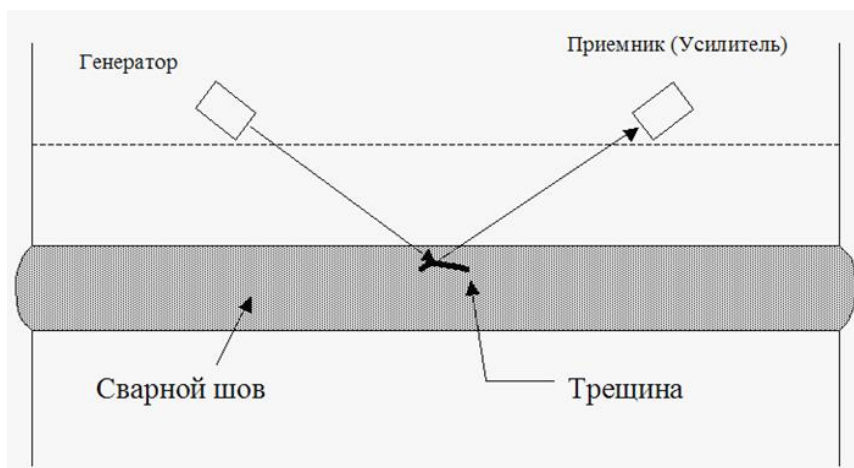


Рисунок 2 - Схема хордового эхо-метода

### Раздельно-совмещенная схема

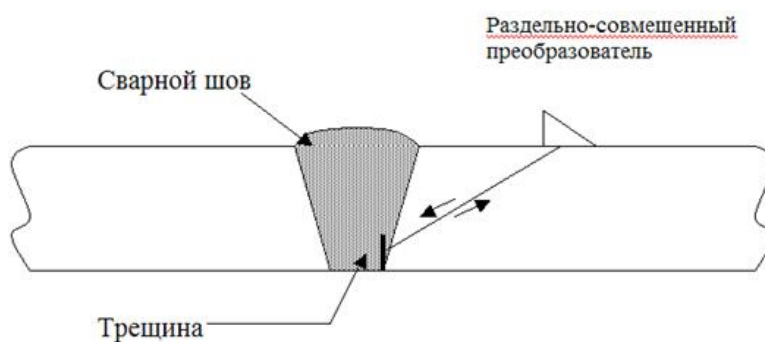


Рисунок 3 - Схема раздельно-совмещенного эхо-метода

### Теневой метод

При теневом методе генератор и приемник располагаются с разных сторон шва. Если дефекта нет, волна без потерь проходит от генератора к приемнику. При наличии дефекта сигнал на приемнике ослаблен из-за рассеивания ультразвуковой волны на дефекте.

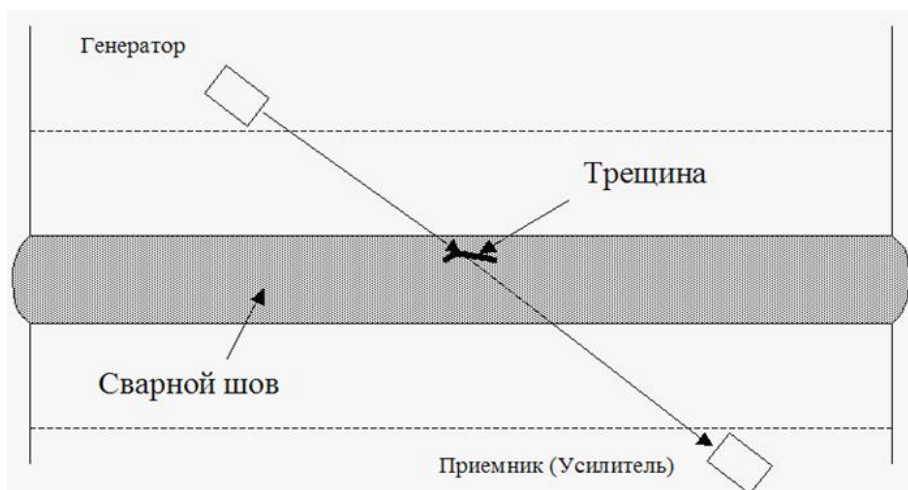


Рисунок 4 - Схема теневого метода контроля

Всего реализовано 16 различных схем прозвучивания материала сварного шва, описанные в таблице 1. Основными являются 4 схемы с использованием эхо-метода (эхо-такты, например, с генератором Г0 и приемником У0) и 4 с использованием теневого метода (теневые такты, например, Г6-У5). С их помощью осуществляется выявление продольных дефектов. Еще 2 эхо-схемы (Г2-У0 и Г0-У2) предназначены для обнаружения поперечных дефектов, которые также используют для выявления дефектов теневые схемы прозвучивания.

Таблица 1 - Схемы прозвучивания

	Схема	Выявляемые несплошности	Сторона	Метод
	Хордовая	Продольные и поперечные	А	Теневой
	Хордовая	Продольные и поперечные	Б	Теневой
	Хордовая	Продольные	А	Эхо-метод
	Хордовая	Продольные	Б	Эхо-метод
	Хордовая	Поперечные	А-Б	Эхо-метод
	Хордовая	Поперечные	Б-А	Эхо-метод
	Хордовая	Продольные	А	Эхо-контактный
	Хордовая	Продольные	Б	Эхо-контактный
	Хордовая	Поперечные	А	Эхо-контактный
	Хордовая	Поперечные	Б	Эхо-контактный
	Раздельно-совмещенная	Продольные	А	Теневой
	Раздельно-совмещенная	Продольные	Б	Теневой
	Раздельно-совмещенная	Продольные	А	Эхо-метод
	Раздельно-совмещенная	Продольные	Б	Эхо-метод
	Раздельно-совмещенная	Продольные	А	Эхо-контактный
	Раздельно-совмещенная	Продольные	Б	Эхо-контактный

На случай недостаточного акустического контакта эхо-такты повторяются с усилением +6дБ (6 схем). Такое количество преобразователей и реализуемых с их помощью схем прозвучивания обеспечивает более надежное выявление дефектов.

Конструктивно все преобразователи объединены в так называемый сканер, в который также входят двигатель и датчик пути. Для проведения контроля сканер с помощью специального кольца устанавливается на сварное соединение и при помощи двигателя делает один оборот вокруг трубопровода с шагом 1 мм. При этом каждый миллиметр материала шва прозвучивается по всем 16 схемам, а датчик пути измеряет пройденное расстояние. С помощью кабеля сканер соединен с ультразвуковым дефектоскопом, на который в процессе контроля передается вся полученная

информация. По окончании контроля данные с дефектоскопа переносятся на персональный компьютер для дальнейшего анализа.

Типы выявляемых дефектов (аномалий в данных)

Продольные дефекты

Продольные дефекты - дефекты (трещины), расположенные вдоль оси сварного шва

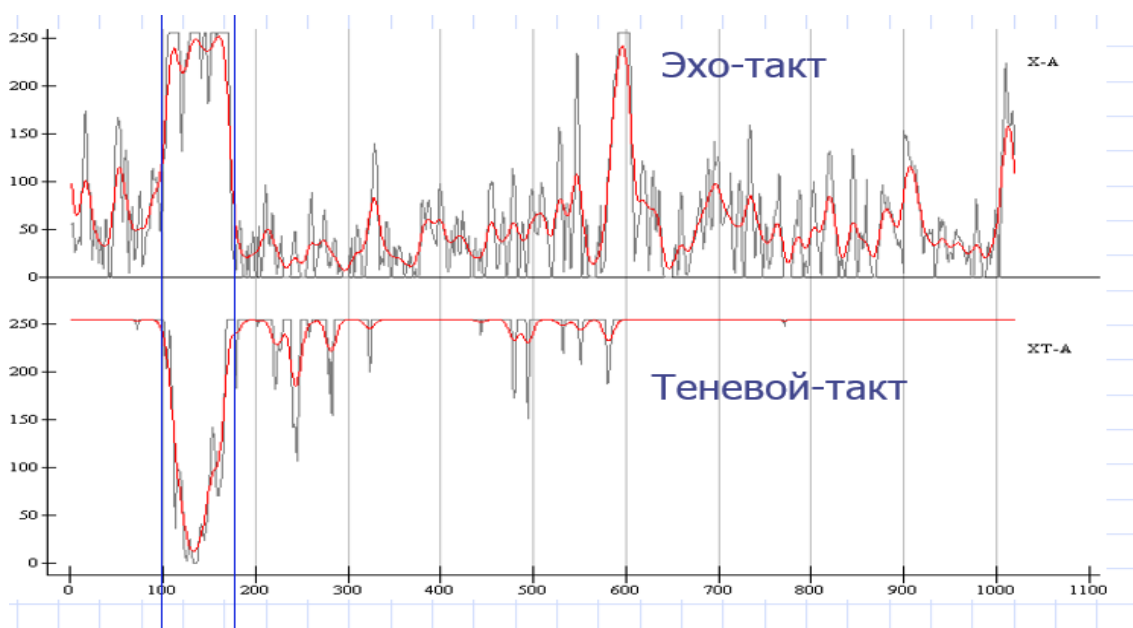


Рисунок 5 – Эхо сигналы от продольных дефектов

Поперечные дефекты

Поперечные дефекты - дефекты, расположенные перпендикулярно оси сварного шва.

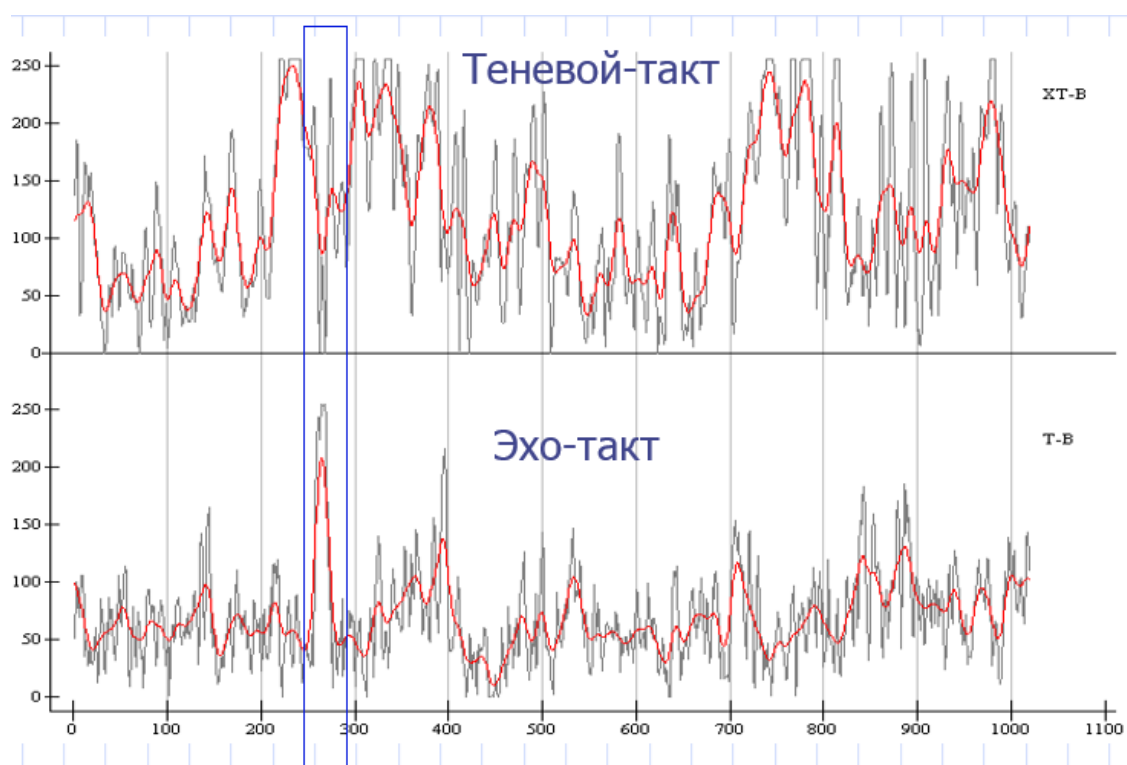


Рисунок 6 – Эхо сигналы от поперечных дефектов

#### Потеря акустического контакта

Акустический контакт – способ передачи акустического сигнала из объекта контроля в преобразователь и наоборот. Акустические волны сильно отражаются от тонких воздушных зазоров. Поэтому для передачи волн от преобразователя к объекту такие промежутки часто заполняются жидкостью.

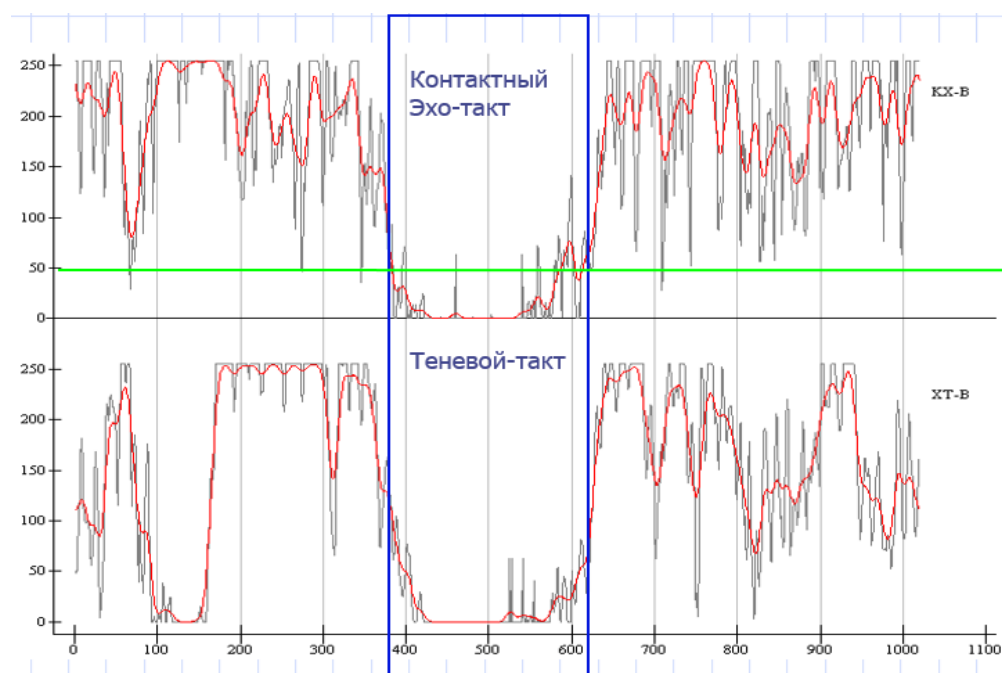


Рисунок 7 – Эхо сигналы при потере акустического контакта

## Локальное улучшение акустического контакта

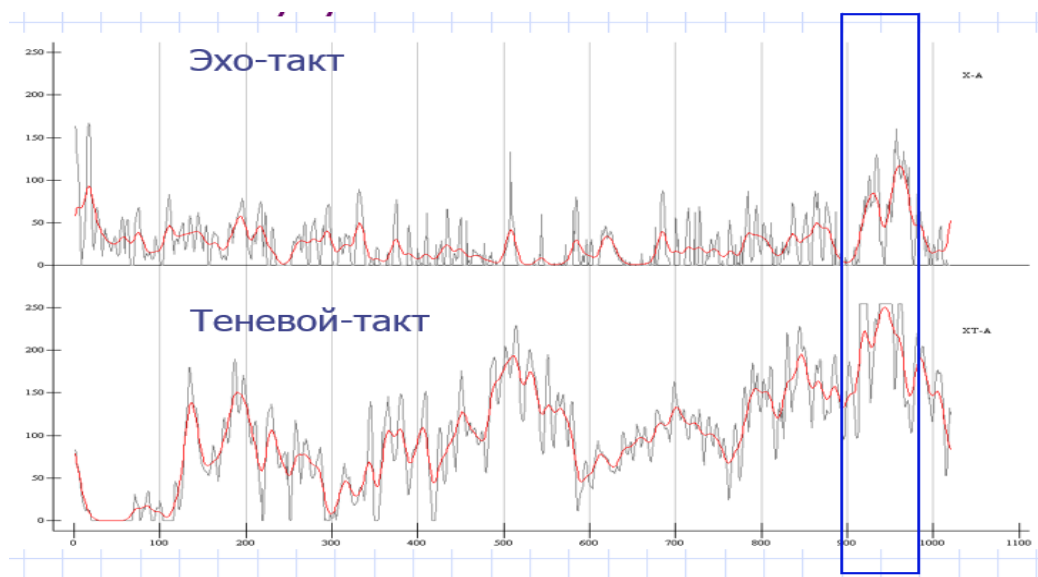


Рисунок 8 – Эхо сигналы во время локального улучшения акустического контакта

Описанная выше система в течение нескольких лет используется на российских АЭС с реакторами РБМК. Анализ результатов контроля выполняется экспертом, который выдает заключение о наличии дефектов в данном сварном соединении и их координатах. Основным признаком дефекта является одновременное повышение уровня эхо-сигнала (пик) и падение амплитуды теневого сигнала (провал) хотя бы по одной паре тактов. Таким образом, основная задача эксперта состоит в выделении пиков и провалов сигнала на фоне помех. После определения координат дефекта, его высота определяется по величине падения теневого сигнала.

В идеале амплитуда эхо-сигнала при отсутствии дефекта должна равняться нулю, а амплитуда теневого сигнала – 255 усл.ед. При наличии дефекта должно наблюдаться обратное соотношение сигналов по эхо и теновым тактам.

В реальности, анализ сигналов затруднен наличием целого ряда мешающих факторов. Даже при отсутствии дефекта, ультразвуковая волна отражается на границах зерен структуры материала. Поэтому в сигнале всегда присутствует так называемый структурный шум. Свое влияние

оказывают электрические помехи и ошибки амплитудного квантования сигналов. Поведение сигналов УЗК существенно зависит от размера, ориентации и положения дефекта относительно измерительного блока. Наконец сильнейшее влияние на сигнал оказывает непостоянство акустического контакта датчиков и контролируемой поверхности

Таким образом, эксперт должен проводить одновременный анализ и сопоставление, в условиях шумов и мешающих факторов, 16-и сигналов, изменяющихся при изменении координат сканера. Понятны высокие требования к квалификации и опыту эксперта, которые часто недостижимы штатным персоналом лабораторий контроля металлов на АЭС. Это приводит к необходимости привлечения для контроля сотрудников организаций – разработчиков реактора и диагностического оборудования. Другими проблемами являются низкая скорость обработки результатов, субъективность оценки состояния сварного шва и влияние на нее “человеческого фактора”.

#### Результаты УЗК

Результаты УЗК сварного соединения представляют собой файл данных, в котором записана служебная информация (номер соединения, условия контроля и т.д.) и таблица измеренных значений сигналов. Первая строка файла является служебной и содержит информацию о номере сварного шва, о приборе контроля, дате и времени контроля, температуре и пр. В первом столбце таблицы записываются показания датчика пути (расстояние вдоль сварного шва в миллиметрах), а в остальные значения амплитуд сигналов по всем 16 схемам прозвучивания. Длина окружности трубопровода составляет 1020 мм. Для надежного контроля начального участка сканирование проводится с нахлестом от 10 до 100 мм. Амплитуда сигнала изменяется в диапазоне 0–255 условных единиц.

#### Обнаружение дефектов

Проявление дефекта в сигнале эхо-такта можно представить, как увеличение уровня сигнала от некоторого начального значения, области



постоянного уровня (при сканировании вдоль дефектной области) и последующим снижении уровня сигнала.

Длину дефекта определяют, как разность координат конца и начала сигнала от дефекта на С-скане, то есть разность границ дефекта.

Высоту дефекта определяют по уровню падения сигнала от несплошности. Так, например, если падение сигнала от 255 усл.ед. составляет 200 усл.ед. то высота дефекта находится в диапазоне от 8 мм и более. А если падение сигнала от 255 усл.ед. находится в диапазоне от 10 до 20 усл.ед. то высота дефекта будет 2-3 мм.

#### Тренировочная выборка

В качестве тренировочной последовательности будет использоваться выборка SOP в архиве data.zip, полученная в результате сканирования системой ПУЗК стандартного образца предприятия (СОП). Сканирование образца выполнялось 3 раза подряд, именно поэтому даются 3 выборки для обучения. Также в архиве data.zip расположен файл с целевой переменной target.csv с характеристиками и размерами дефектов в сварных швах.