

УДК 621.311.25

## АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОНТРОЛЬ КОРПУСА РЕАКТОРА

Соколюк В.С.

Научный руководитель – к.т.н, доцент Герасимова А.Г.

Ультразвуковой контроль (УЗК) нашел широкое применение при диагностике оборудования тепловых и атомных электрических станций в период их эксплуатации. Как правило, контроль проводится в период плановых ремонтов, при этом применяется обычно та же методика контроля, что и при изготовлении оборудования.

Для обеспечения высокой надежности и долговечности атомных электростанций международное агентство по атомной энергии (ИАЕА) в нормах безопасности ядерных реакторов рекомендует предусматривать предэксплуатационный и эксплуатационный периодический контроль основного металла и сварных соединений корпуса реактора. В виду высокой радиационной опасности контроль корпуса реактора необходимо проводить в автоматическом режиме [1].

Высокая точность, достоверность, чувствительность и возможность полной автоматизации ультразвукового метода сделали его одним из основных методов оценки состояния металла корпусов водо-водяных энергетических реакторов (ВВЭР).

Как правило, контроль корпуса реактора проводят с использованием автоматизированных систем контроля. Эти системы разработаны для контроля как с наружной стороны при наличии прямого доступа, так и изнутри, через наплавку из аустенитной стали. Автоматизированному УЗК в настоящее время подвергаются корпуса ВВЭР-440, ВВЭР-1000, ВВЭР-1200. С учетом особенностей конструкторского исполнения данных реакторов для каждого вида реактора разработаны отдельные методики автоматизированного ультразвукового контроля.

Рассмотрим методику автоматизированного контроля корпуса реактора ВВЭР-1200 (данного типа реакторы будут эксплуатироваться на Белорусской АЭС), разработанную ООО «ТДК – Атомкомплект». Чертеж корпуса реактора ВВЭР-1200 показан на рисунке 1.

Данная методика предназначена для проведения, автоматизированного УЗК сварных соединений и антикоррозионных наплавки корпуса реактора ВВЭР-1200, изготовленного из марки стали перлитного класса 15Х2НМФА. Антикоррозионные наплавки корпуса выполнены из сталей: 07Х25Н13 (первый слой) и 04Х20Н10Г2Б (второй и последующие слои).

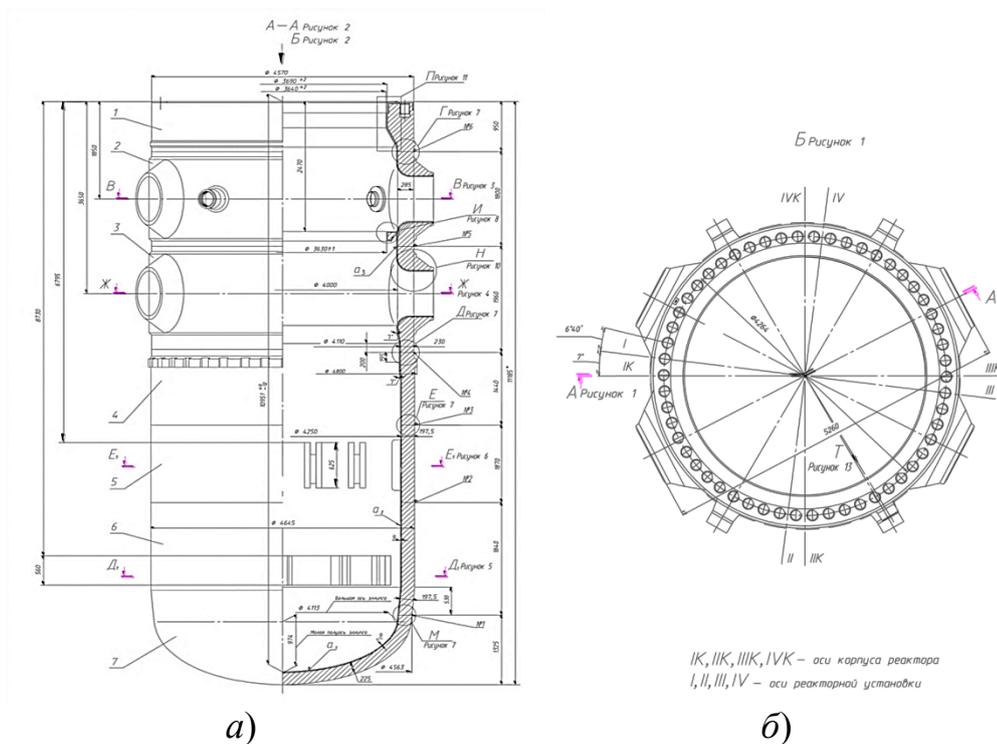


Рисунок 1. Корпус реактора ВВЭР-1200: а – вид сбоку, б – вид сверху

В соответствии с методикой контролю подвергаются сварные соединения обечаек между собой (рисунок 2), с фланцем и эллиптическим днищем, а также наплавленные покрытия на этих сварных соединений, а также антикоррозионная наплавка в зонах радиусных переходов патрубков Ду850 и цилиндрической части патрубков.

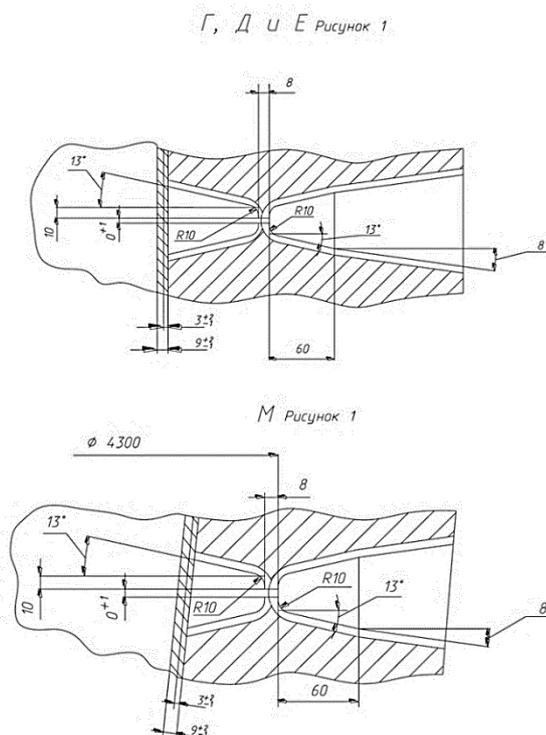


Рисунок 2. Сварные соединения обечаек корпуса реактора ВВЭР-1200

Для реализации данной методики автоматизированного УЗК используется система контроля корпуса и внутрикорпусных устройств реактора изнутри. Методика и используемая для ее реализации система контроля предназначены для проведения входного и эксплуатационного контроля в период ремонтных кампаний в течение всего жизненного срока реакторной установки.

Контроль с применением этой методики позволяет выявлять и измерять параметры:

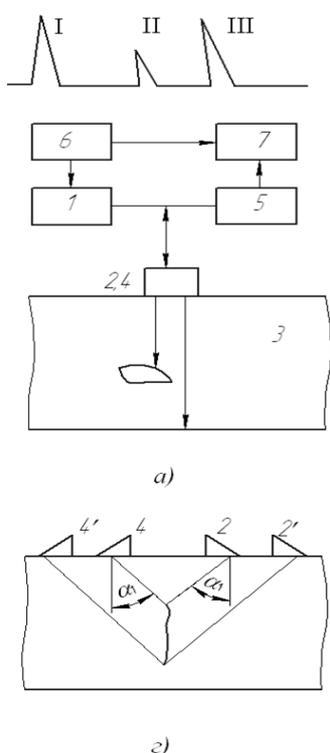
- несплошностей в основном металле, в сварных соединениях и околошовной зоне, в том числе трещин, возникших в сварных соединениях в результате циклической нагрузки корпуса реактора и выходящих на одну из поверхностей и развивающихся от внутренних несплошностей в сварных соединениях и не имеющих выхода ни на одну из поверхностей корпуса реактора;

- отслоения антикоррозионного покрытия (в зоне расположения сварных соединений);

- объемных несплошностей и отслоений антикоррозионной наплавки от металла сварного соединения и зонах радиусных переходов патрубков условного диаметра 850 мм и цилиндрической части патрубков.

Контроль с применением данной методики обеспечивает измерение эквивалентной площади и условной протяженности дефектов, действительные размеры несплошностей и их характер не определяются.

При проведении контроля применяется эхо-импульсный метод отражения, схема которого приведена на рисунок 3.



Эхо-метод отражения основан на регистрации эхо-сигналов от дефекта. На индикаторном экране ультразвукового дефектоскопа обычно наблюдают посланный (зондирующий) импульс *I*, импульс *III*, отраженный от противоположной поверхности (донной поверхности) объекта контроля (донный сигнал) и эхо-сигнал отраженный от дефекта – *II*. Время прихода импульсов *II* и *III* пропорционально глубине залегания дефекта и толщине объекта контроля [3].

Автоматизированный УЗК корпуса реактора реализуется с помощью раздельно-совмещенных преобразователей (ПЭП ФР) и пьезоэлектрических преобразователей головной волны (ПЭП ГВ).

Процесс контроля осуществляется под водой. Особенность этой методики заключается в применении средств контроля, использующих технологию фазированных решеток и использовании автоматизированных средств доставки и перемещения преобразователей.

Рисунок 3. Схема эхо-импульсного метода отражения: 1 – генератор; 2 – излучатель; 3 – объект контроля; 4 – приемник; 5 – усилитель; 6 – синхронизатор; 7 – индикатор

Зона контроля кольцевых сварных швов включает в себя весь объём сварного шва и зону термического влияния (20 мм основного металла с каждой стороны шва), а также «запас» по 12,5 мм с каждой стороны от зоны термического влияния (рисунок 4).

Методика предусматривает два режима контроля:

- контроль в режиме поиска;
- контроль в режиме измерения.

Контроль сварного соединения в режиме поиска осуществляют путем механического сканирования с определенно-установленным методикой шагом.

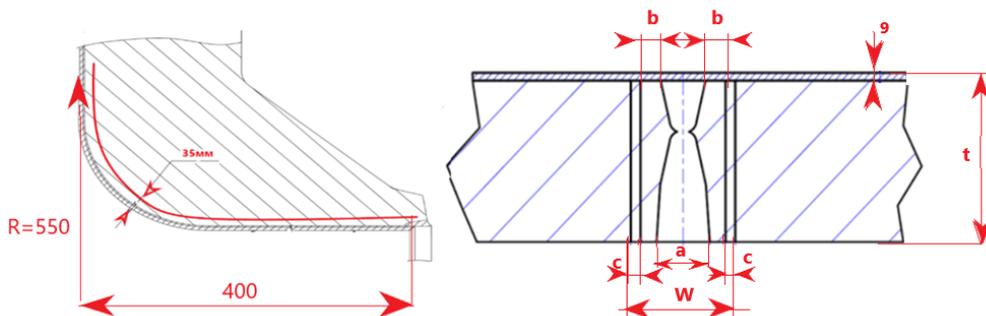


Рисунок 4. Зона контроля сварных соединений корпуса реактора и радиусных переходов

В состав системы автоматизированного контроля входит комплект оборудования для сбора и анализа данных, который состоит из ультразвукового дефектоскопа DYNARAY, ультразвуковых преобразователей (ПЭП ФР и ПЭП ГВ) и персонального компьютера с программным средством UltraVision. Программа UltraVision предназначена для анализа данных автоматизированного УЗК и отображения результатов контроля в различных форматах (A-scan, B-scan, C-scan, D-scan). Программа обеспечивает сбор первичных данных контроля, перевод их в цифровую форму и анализ полученных данных.

Пример отображения данных индикации на B-scan и C-scan скане приведен на рисунке 5.

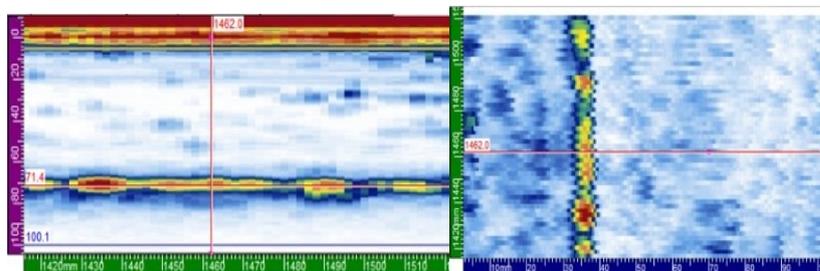


Рисунок 5. Отображение геометрической индикации наплывки сварного шва на протяжении всей окружности шва: слева C-scan, справа – B-scan

В комплект оборудования для сбора данных также входит транспортный манипулятор, который обеспечивает перемещение блока акустических преобразователей в зоне сканирования в соответствии с командами аппаратуры

управления, формирует координаты исполнительных органов и передают эти координаты ультразвуковому дефектоскопу и аппаратуре управления. Общий вид манипулятора показан на рисунке 6.

Технология проведения контроля включает в себя следующие основные операции:

- подготовительные мероприятия по организации проведения контроля (подготовка объекта контроля, подготовка системы контроля, настройка ультразвуковой аппаратуры, подтверждение настройки системы контроля);
- проведение контроля (сканирование зоны контроля);
- анализ результатов контроля с оформлением отчетной документации.

Ультразвуковой контроль предъявляет высокие требования к качеству контролируемой поверхности. Поверхность зоны сканирования должна быть защищена от ржавчины, забоин, отложений и т.п.



Рисунок 6. Общий вид транспортного манипулятора

Шероховатость поверхности сканирования должна быть не ниже Rz40. При подготовке поверхности должен быть обеспечен доступ к объекту контроля. При отсутствии возможности доступа (частично или полностью), недоступные для контроля участки должны быть определены и задокументированы в заключении по результатам контроля, а схема сканирования откорректирована.

Основным сканированием является параллельное и поперечное сканирование относительно сварного сканирования. Схема сканирования показана на рисунке 7. Если зафиксирован сигнал от дефекта, то проводится повторное сканирование участка с этим дефектом. Сканирование в режиме поиска выполняется со скоростью не более 100 мм/с для поперечного сканирования и не более 75 мм/с для продольного сканирования.

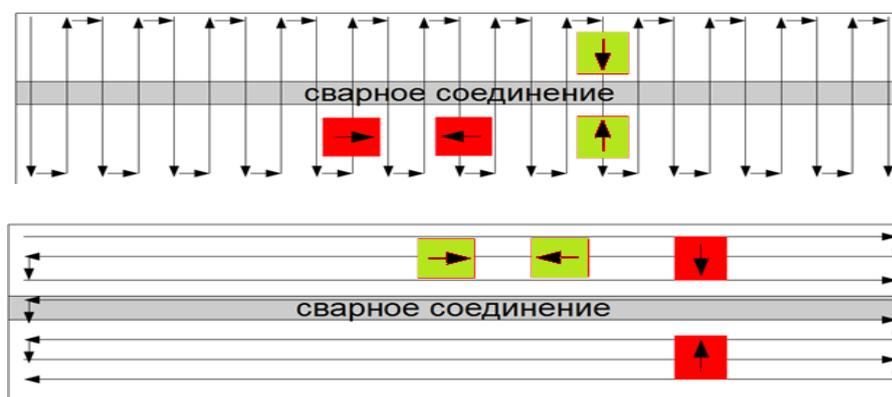


Рисунок 7. Траектория перемещения пьезоэлектрического преобразователя на фазированной решетке при поперечном и параллельном сканировании

По результатам контроля оформляется заключение. В заключение заносятся максимальные измеренные значения параметров дефектов (эквивалентная площадь, условная протяженность и глубина залегания) независимо от того, на каких каналах и на каких углах ввода они были получены. Все индикации, превышающие контрольный уровень, подлежат обязательной фиксации в заключении по результатам контроля.

Качество сварного соединения и аустенитной наплавки считается удовлетворительным при одновременном соблюдении следующих требований:

- характеристики и количество несплошностей удовлетворяют нормам, приведенным в [2];
- дефект не является протяженным;
- расстояние по поверхности сканирования между двумя соседними дефектами не менее условной протяженности дефекта с большим значением этого показателя;
- отсутствуют поперечные дефекты.

Данная система автоматизированного ультразвукового контроля уже внедрена на Нововоронежской АЭС при проведении предэксплуатационного контроля корпуса реактора.

#### Литература

1. Неразрушающий контроль; В 8 т./ Под. общ. ред. В.В. Клюева. т.3. И.Н. Ермолов, Ю.В. Ланге. Ультразвуковой контроль. – 2-е изд., испр. – М.: Машиностроение, 2008. – 864 с.: ил.
2. Автоматизированный ультразвуковой контроль корпуса реактора: Методика МТ 1.1.4.02.001.1526-2018 / АО «Концерн Росэнергоатом», 2019. – 108 с.: ил.
3. Герасимова, А.Г. Контроль и диагностика тепломеханического оборудования ТЭС и АЭС: учебн. Пособие – А.Г.Герасимова. – Минск: Выш.шк., 2011. – 272 с.