

ОБОРУДОВАНИЕ И МЕТОДИКИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ СВАРНЫХ ШВОВ ПРИВАРКИ КОЛЛЕКТОРОВ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ К ПАТРУБКАМ ПАРОГЕНЕРАТОРОВ ВВЭР-440 И ВВЭР-1000.

А.Х. Вopilкин, П.Ф. Самарин, Д.С. Тихонов
НПЦ «ЭХО+», Москва

EQUIPMENT AND PROCEDURES OF AUTOMATED ULTRASONIC TESTING OF THE WELDING JOINT OF THE HEAT-CARRYING COLLECTOR WITH THE SOCKET OF THE VVER 440 AND VVER 1000 STEAM GENERATORS

A.K. Vopilkin, P.F. Samarin, D. S. Tikhonov
SPC NDT "ECHO+", Moscow

SPC "Echo+" designed and developed equipment of the automated ultrasonic testing (AUT) of the welding joint of the heat-carrying collector with the socket of the VVER 440 and VVER 1000 steam generators. AUT procedure has significant advantages in comparison with manual methods of the ultrasonic testing. The officials have developed also procedure of AUT for welding joint of VVER 440 and VVER 1000 and care out in control of the objects. The multiaspect work gives possibilities to fulfill of the NPP requirements at designing of apparatuses.

Nowadays in NPP's was adoption the AUGUR 5.2 system having widely opportunities in comparison with the AUGUR 4.2 system. The AUGUR 5.2 system operates in two modes: search and measurement. In the search regime the system detects flaws with determination of their places and conditional sizing on specifications. On the base of results of the search mode an operator set fields, where carry out the AUT measurement control. The data of the AUT measurement mode are calculating using multifrequency acoustical coherent method (FT SAFT). The results of calculating are images of defects. On the images of defects there are determined of there geometrical sizes. The geometrical sizes of the defects can be using for monitoring welding joints and their strength calculating, that is necessary for estimation safety of the NPP's.

The report presents results using and validation of procedure of AUT for the AUGUR system as applied to the welding joints:

- heat-carrying collector with the socket Du1200 of the VVER 1000 steam generators;
- transitional ring with the socket Du1100 of the VVER 440 steam generators.

There were discussed testing of responsible welding joint of NPP's and registrations of results in the data base of AUT control with using the programs of the AUGUR systems.

ВВЕДЕНИЕ

С 1997 в НПЦ НК «Эхо+» разрабатываются и выпускаются системы АВГУР для проведения автоматизированного ультразвукового контроля (АУЗК) трубопроводов отечественных АЭС. Первоначальные разработки системы АВГУР (серия АВГУР 4.2) относились к контролю первого контура АЭС с реакторными установками (РУ) РБМК-1000, где проводился АУЗК трубопроводов Ду300 и Ду800.

В 2004-2005 г. разработана система нового поколения АВГУР 5.2 и методики для контроля ответственных сварных соединений (СС) для АЭС с РУ ВВЭР: аустенитных трубопроводов Ду200; СС приварки переходной втулки к патрубку корпуса реактора (СС № 10); композитное СС переходного кольца и патрубка парогенератора (ПГ) с РУ ВВЭР-440 (Ду1100); аустенитных сварных СС трубопроводов турбинного отделения и сварных соединений узлов приварки коллекторов теплоносителя к патрубкам Ду1200 ПГ с РУ ВВЭР-1000 (СС Ду1200).

АУЗК с использованием систем АВГУР имеет ряд преимуществ по отношению к традиционному (ручному) методу ультразвукового контроля, заключающиеся не только в автоматизации процесса регистрации данных, но также в проведении контроля в

измерительном режиме с последующей когерентной обработкой сигналов. В результате когерентной обработки данных, полученных при измерительном контроле, восстанавливаются акустические изображения, имеющие реальные (а не условные и эквивалентные) размеры дефектов [1]. Полученные изображения дефектов дают возможность эффективно проводить мониторинг оборудования АЭС, что имеет особое значение при определении остаточного ресурса.

В 1999 г. в НПЦ НК «Эхо+» образовано специальное подразделение, сотрудники которого осуществляют проведение АУЗК сварных соединений и на различных ответственных объектах включая АЭС. Основная цель контроля состоит не только в первичной оценке качества СС, но также и в мониторинге - слежении за размерами ранее обнаруженных дефектов. Многолетний опыт выполнения контроля с использованием систем АВГУР на АЭС первого контура с реакторами РБМК (Ленинградская, Курская, Смоленская) подтверждает эффективность комплексного АУЗК, разработанного в «Эхо+» [2]. После проведения каждого контроля в «Эхо+» анализируются все замечания по аппаратуре, методике и программному обеспечению, что дает возможность эффективно устранять недостатки и совершенствовать системы контроля.

1. СИСТЕМЫ АВГУР

Используемые в настоящее время при проведении АУЗК на АЭС системы АВГУР 4.2 и АВГУР 5.2 имеют универсальный состав: блок системный, блок выносной, комплект кабелей, комплект пьезоэлектрических преобразователей (ПЭП), сканеры, цепи, треки, переговорное устройство и система подачи контактной жидкости (СПКЖ). Общий вид систем представлен на рис. 1.

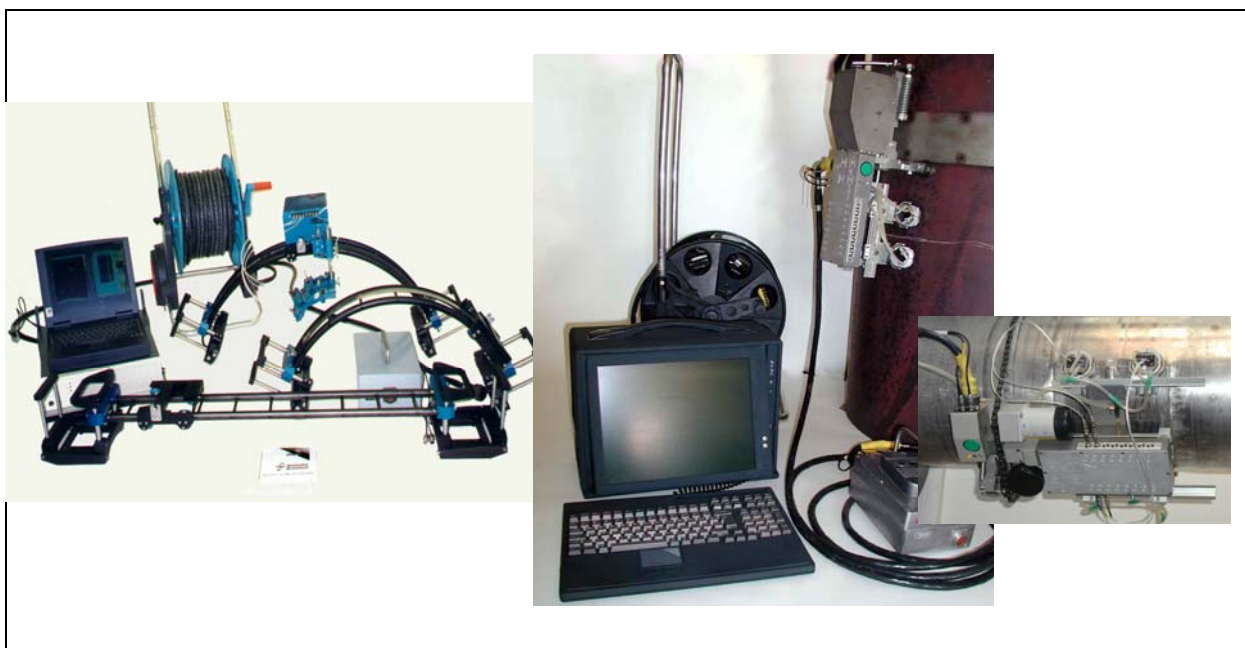


Рис. 1. Общий вид систем АВГУР 4.2 (слева) и АВГУР 5.2 (справа)

Программное обеспечение систем АВГУР позволяет проводить контроль в двух основных режимах работы:

1. поисковый (АВГУР 5.2) или обзорный (АВГУР 4.2) контроль;
2. измерительный (АВГУР 5.2) или экспертный (АВГУР 4.2) контроль.

В первом режиме контроля выявляются дефекты с определением их местоположения. На основании данных поискового (обзорного) контроля оператор определяют зоны для проведения измерительного (экспертного) АУЗК, в результате обработки данных которого получают изображения с истинными размерами несплошностей.

По результатам сопоставительного анализа результатов АУЗК с использованием систем АВГУР с данными металлографических исследований получены следующие абсолютные погрешности измерения высоты и длины несплошностей, соответственно, мм: $\pm 1,5$ и ± 5 [2, 3].

Система АВГУР 5.2, обладающая более широкими возможностями в сравнении с системой АВГУР 4.2, позволяет в режиме поискового контроля выявляет дефекты с определением их условных размеров (или эквивалентных площадей). Новое программное обеспечение АВГУР 5.2 позволяет регистрировать результаты контроля и обработки в формируемой базе данных (по каждой АЭС), автоматизировано формировать протоколы по результатам поискового и измерительного контроля и т.д.

2. МЕТОДИКА И АУЗК СС ДУ1100

Методика АУЗК СС Ду1100 предназначена для контроля композитного СС переходного кольца и патрубка Ду1100 ПГ РУ реакторной установки ВВЭР-440 с применением системы АВГУР 5.2. Схема соединения патрубка Ду1100 ПГ с ГЦТ приведена на рис. 2., а схемы разделок СС Ду1100 – на рис.3.

При проведении контроля используются раздельно-совмещенные ПЭП с углами ввода: 45, 55, 75 град., а также на головные волны. Калибровка ПЭП проводится на системе АВГУР 5.2 с использованием стандартных образцов СО-2 и СО-3, в результате калибровки определяются АРД-диаграммы и параметры для каждого ПЭП. Параметры ПЭП необходимы для последующей автоматической настройки чувствительности контроля в поисковом режиме и задания параметров обработки при восстановлении изображений несплошностей по А-сканам, полученным в измерительном режиме контроля.

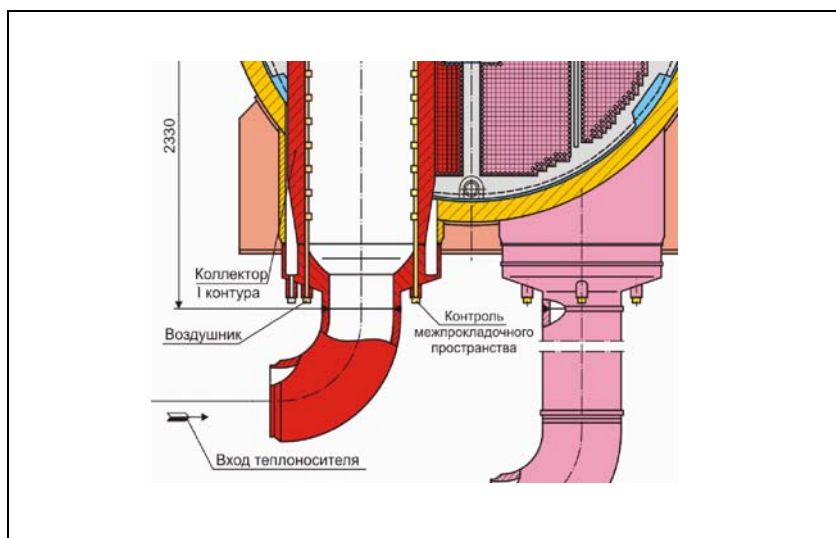


Рис. 2. Схема соединения патрубка Ду1100 парогенератора ВВЭР-440 с ГЦТ

В режиме автоматического оконтуривания по данным поискового АУЗК определяют места локализации несплошностей и их протяженность, амплитуда эхо-сигналов которых превышает браковочный уровень 30 мм^2 , фиксируются все несплошности, амплитуда эхо-сигналов которых превышает контрольный уровень 15 мм^2 , а условная протяженность вдоль оси СС равна или превышает 15 мм.

При необходимости проведения оценки размеров и уточнения месторасположения, выявленных во время поискового контроля несплошностей, проводится контроль в измерительном режиме. Измерения проводят в областях, содержащих недопустимые несплошности.

Данные, полученные в измерительном режиме, обрабатываются методом вычислительной многочастотной акустической голографии (FT SAFT). По анализу

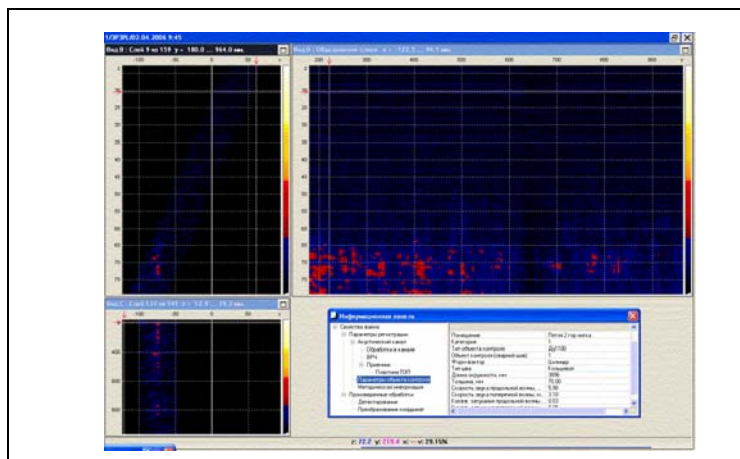


Рис. 7. Результаты АУЗК в поисковом режиме на реальном СС Ду1100

погрешностями измерения высоты и длины несплошностей, соответственно, мм: $\pm 1,5$ и ± 5 .

В измерениях на образце были обнаружены также дополнительные отражатели с малой амплитудой (ниже уровня фиксации), не обозначенные в дефектограмме, Одна из которых выделена красным прямоугольником с координатой ~ 320 мм по оси Y (см. рис. 5).

В качестве примера на рис. 7 приведены результаты контроля в поисковом режиме на реальном СС Ду1100, наблюдаются шумы в области корня шва, дефекты не обнаружены.

3. МЕТОДИКА И АУЗК СС ДУ1200

Методика АУЗК СС узлов приварки коллекторов теплоносителя к патрубкам Ду1200 ПГ РУ ВВЭР-1000 предназначена для контроля № 111 (76). Чертёж СС Ду1200 с областью прозвучивания и разделками СС приведён на рис. 8.

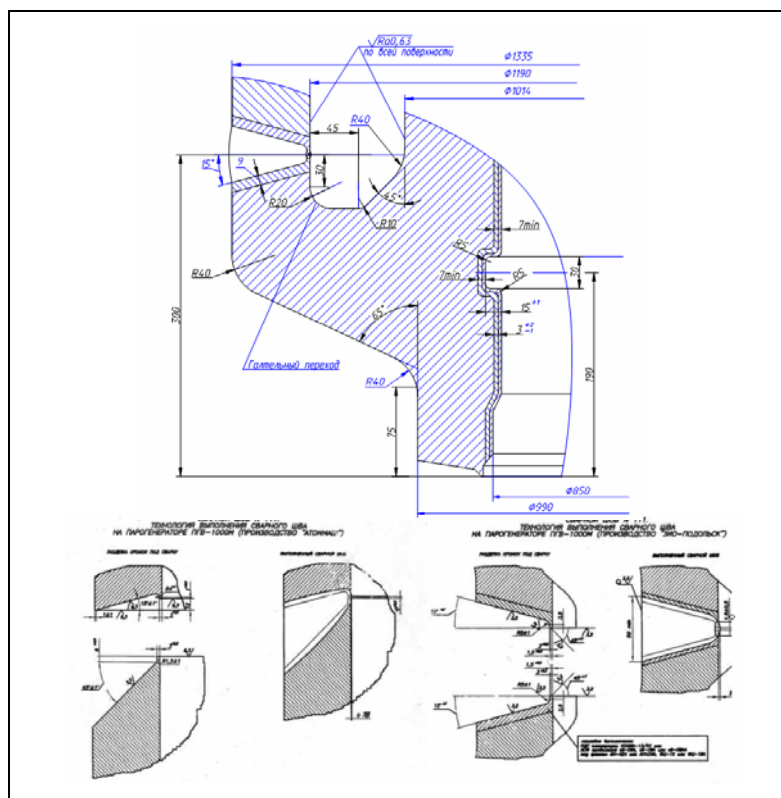


Рис. 8. Чертёж СС Ду1200 и схемы разделок: наклонная (слева) прямая (справа)

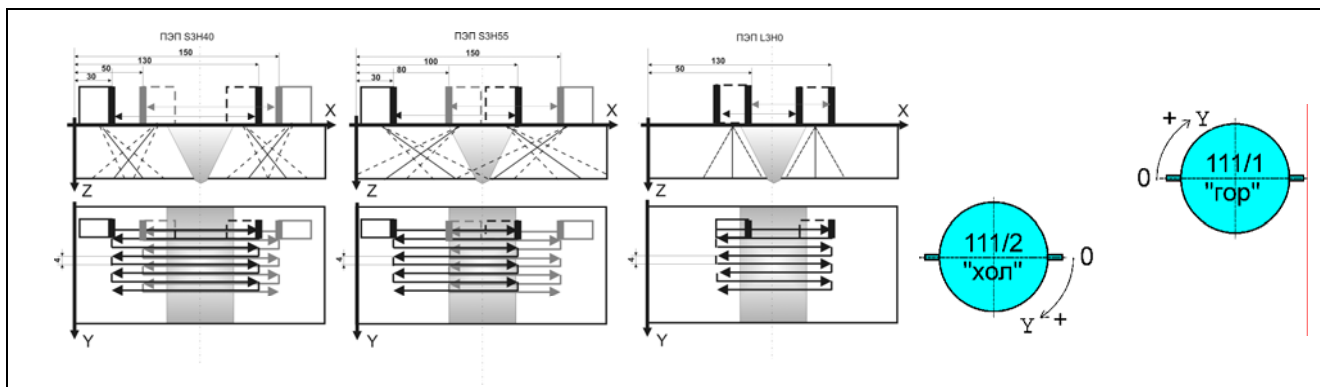


Рис. 9. Схемы прозвучивания сварного соединения Ду1200: слева поперек СС, вдоль СС

При проведении контроля используются совмещенные ПЭП с углами ввода: 0, 40, 50 и 55 град. Калибровка ПЭП производится, как и в методике Ду1100 (см. раздел 2). На рис. 9 приведены основные схемы прозвучивания СС Ду1200: поперек СС (по оси X) и вдоль СС (по оси Y).

Браковочный уровень при АУЗК устанавливается соответствующим эквивалентной площади 7 мм^2 , а поисковый – $3,5 \text{ мм}^2$. Для определения размеров выявленных несплошностей проводится АУЗК в измерительном режиме. Результаты контроля качества СС оформляются в заключениях по АУЗК.

В качестве примера на рис. 10 приведены результаты контроля в обзорном режиме на

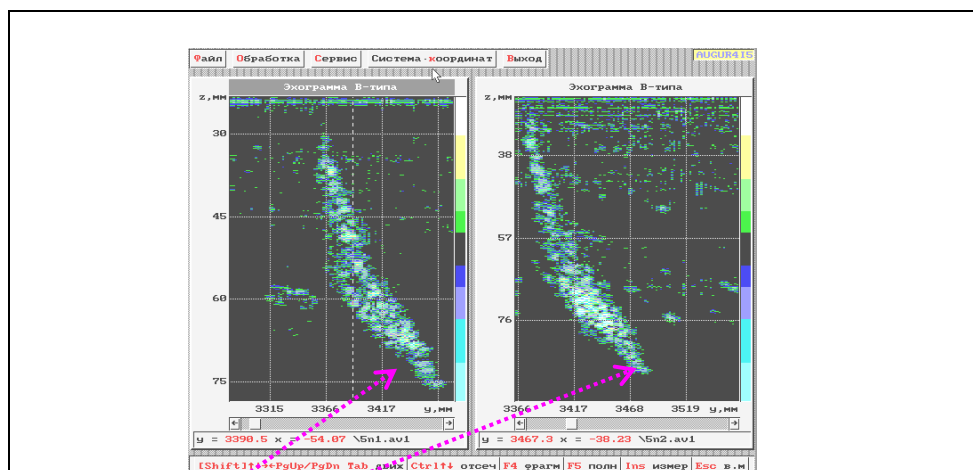


Рис. 10. Результаты АУЗК в обзорном режиме СС Ду1200 в области расположения дефекта ПЭП с углами ввода 55° (слева) и 40° (справа)

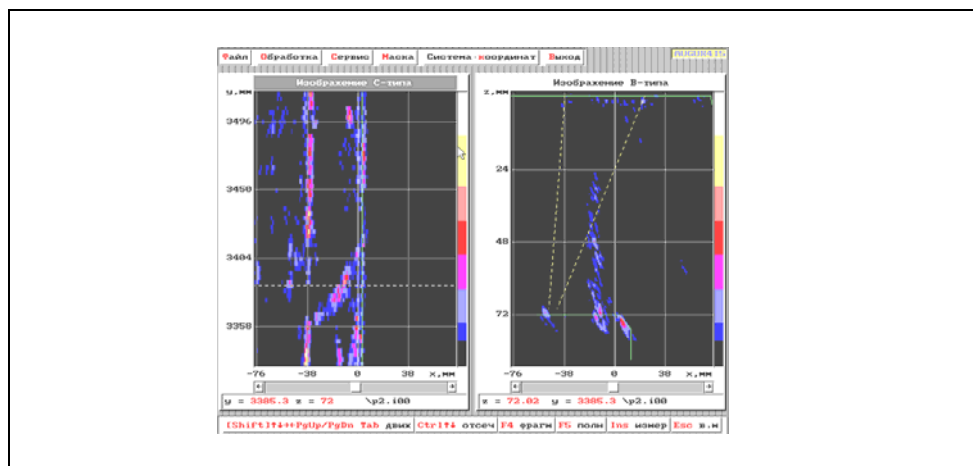


Рис. 11. Изображение дефекта СС Ду1200

реальном СС Ду1200 (измерения проводились системой АВГУР 4.2) в области зарегистрированного дефекта. На рис. 11 приведено изображение дефекта в СС Ду1200, полученное обработкой экспертных А-сканов (ПЭП с углом ввода 40°). Хорошо видна диагональная поперечная трещина на фоне сигналов от корня и галтели.

На основании полученных данных составлено заключение контроля, содержащее данные о размерах, местоположении и ориентации дефекта (заключение АУЗК с использованием системы АВГУР 4.2).

Результаты последующего вскрытия подтвердили точность определенных параметров дефекта с учетом погрешностей методов вскрытия и контроля.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Системы автоматизированного ультразвукового контроля, разрабатываемые НПЦ НК «Эхо+» для АЭС: РБМК-1000, ВВЭР-440 и ВВЭР-1000, имеющие преимущества по отношению к ручному методу УЗК, дают возможность эффективно проводить мониторинг оборудования АЭС.

2. В настоящее время НПЦ НК «Эхо+» продолжает внедрение на АЭС недавно разработанной системы АУЗК АВГУР 5.2, обладающей более широкими возможностями в сравнении с системой АВГУР 4.2.

3. В докладе демонстрируется применение систем АВГУР при проведении контроля ответственных сварных соединений ПГ РУ ВВЭР-440 и ВВЭР-1000: СС коллекторов с патрубком Ду1200 парогенераторов ВВЭР-1000 и СС переходного кольца к патрубку Ду1100 парогенераторов ВВЭР-440.

4. В результатах АУЗК с использованием систем АВГУР 4.2 и АВГУР 5.2 подтверждается абсолютная погрешность измерений высоты и длины несплошностей, соответственно, мм: $\pm 1,5$ и ± 5 .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бадалян В.Г., Вopilкин А.Х., Тихонов Д.С. Новый подход к ультразвуковому неразрушающему автоматизированному контролю ответственных сварных соединений. - Контроль. Диагностика. 1999. № 10. С. 23-31.
2. Бадалян В.Г., Вopilкин А.Х. Мониторинг сварных соединений трубопроводов с использованием систем автоматизированного УЗК с когерентной обработкой данных. – В мире неразрушающего контроля, 2004, № 4, с. 22-27
3. Бадалян В.Г. Погрешность измерения дефектов с использованием систем с когерентной обработкой данных. – Дефектоскопия. 2003. № 3. С. 12-23.