

Опыт применения штатно-экспертного ультразвукового контроля сварных соединений трубопроводов пусковой Ростовской АЭС

В.А. Воронков, Д.С. Тихонов

Experience of Use of Conventional and Expert Ultrasonic Testing of Welds of Launching Rostov NPP pipe-lines.

Voronkov V.A., Tikhonov D.S.

Аннотация

Описан новый комплексный подход к ультразвуковому контролю. Этот подход совмещает традиционные методы ручного ультразвукового контроля и автоматизированный экспертный контроль, с последующим прочностным анализом. Такой подход позволяет делать обоснованные выводы о возможности эксплуатации трубопроводов или необходимости ремонта.

На основе этого подхода НПЦ НК «Эхо+» совместно с ГНЦ ЦНИИТМАШ и специалистами Ростовской АЭС в период с февраля 1999 г. по декабрь 2000 г. были проведены работы по ультразвуковому экспертному контролю и мониторингу сварных швов трубопроводов первого и второго контуров 1 блока Ростовской АЭС.

Предложены новые способы анализа данных автоматизированного ультразвукового контроля. Например, к возможности идентифицировать смещение нижних кромок, можно добавить возможность определения величины смещения. В некоторых случаях определение высоты смещения кромок возможно даже по измерениям с одной стороны от шва.

Приведены статистические данные по объему контроля и характеру основных несплошностей и дефектов сварных швов второго контура.

Приведены результаты сопоставительного анализа данных экспертного автоматизированного ультразвукового контроля и выборочных металлографических исследований ряда сварных швов. Эти результаты и опыт совмещения данных сплошного автоматизированного контроля и ручного контроля позволяет предложить варианты ультразвукового контроля, которые исключают необходимость ручного контроля.

Abstract

The new complex approach to ultrasonic testing is written. This approach is combined the conventional methods of hand ultrasonic testing and automated expert testing with consequent strength analysis. This approach is allowed to do the well-founded conclusions about possibility of exploitation of pipe-lines or necessity of repair.

SPC NDT "Echo+" together with CNIITMASH and specialists of Rostov NPP were carried out on the base of this approach in period since February, 1999 till December, 2000 the operations on ultrasonic expert testing and monitoring of welds of pipe lines of the first and second outlines of a first block of Rostov NPP.

The new ways are proposed for analysis of data of automated ultrasonic testing. For example, it is possible to add to the possibility to identify the displacement of lower edges the possibility of definition of displacement value. In some cases the definition of altitude of edge displacement is possible even at the measuring along one side of weld.

The statistical data about volume of testing and the character of basic discontinuities and flaws of welds of the second contour are cited.

The results of a comparative data analysis of an expert automated ultrasonic testing and selective metallurgical studies of a series of welds are shown. These results and the experience of combination of data of complete automatic testing and hand testing are allowed to offer alternatives of a ultrasonic testing, which eliminated necessity of hand testing.

Опыт применения штатно-экспертного ультразвукового контроля сварных соединений трубопроводов пусковой Ростовской АЭС

В.А. Воронков, Д.С. Тихонов

Experience of Use of Conventional and Expert Ultrasonic Testing of Welds of Launching Rostov NPP pipe-lines.

Voronkov V.A., Tikhonov D.S.

Научно-производственный центр неразрушающего контроля «ЭХО+» (НПЦ НК «ЭХО+»), Россия, 123183, пл. Курчатова, д. 1. Тел.: 196-91-91. Факс: 935-73-90. E-mail: echo.ndt@g23.relcom.ru. Web: www.echoplus.ru.

1. Введение. Новая технология ультразвуковой диагностики с применением систем серии «АВГУР»

1.1. Введение

Методы ультразвуковой (УЗ) дефектоскопии широко применяются в различных отраслях промышленности для неразрушающего контроля конструкций и оборудования. Основными недостатками традиционных методов являются низкая точность определения параметров дефектов и проблема их классификации, что затрудняет решение вопроса о ресурсе работы контролируемого объекта. Кроме того, нормы традиционного ручного контроля не гарантируют выявление наиболее опасных дефектов типа трещин вследствие сложной природы дифракции ультразвуковых волн на них.

Вместе с тем, существуют разработанные методы расчетов прочностного состояния сварных швов и конструкций с учетом влияния дефектов. Имеются утвержденные методики расчетов. Однако до тех пор, пока отсутствовали средства оценки типов и реальных размеров дефектов, эти методики практически не использовались.

Следствием этого является:

во-первых, - наличие необоснованно завышенных норм на ультразвуковой контроль (УЗК) или жестких норм браковки, что приводит к значительному объему необоснованного и дорогостоящего ремонта;

во-вторых, - возможный пропуск опасных дефектов, не исключаяющих своего развития в процессе эксплуатации.

Разработанные в НПЦ НК «Эхо+» системы неразрушающего контроля серии «Авгур» [4] позволили преодолеть эти недостатки, а именно решить три задачи:

- автоматизировать процесс регистрации данных;
- визуализировать результаты контроля, т.е. получать изображения дефектов;
- определять типы дефектов и измерять их размеры.

Преимущества автоматизированного экспертного контроля (в сравнении со ручным контролем):

- определение реальных размеров несплошностей;

- уменьшение объемов недобраковки или перебраковки сварных швов, т.е. повышение надежности контроля;
- возможность проведения (на основании данных контроля) прочностных расчетов конструкций с определением реального ресурса их работы.

1.2. Новая технология ультразвукового контроля

Совместно со специалистами НИКИЭТ, РНЦ «Курчатовский Институт» и ВНИИАЭС была предложена и реализована новая технология диагностики сварных швов (алгоритм комплексного диагностирования). Сущность данной технологии состоит в следующем:

на первом этапе проводился ручной УЗК по методикам контроля ПНАЭ Г-7-030-91 и ОСТ108.004.108-80 [1], а оценка качества производилась в соответствии с нормами разбраковки ПК1514-72 [2], действовавшими во время проведения монтажа.

Для исключения случаев пропуска опасных дефектов плоскостного типа («недобраковки»), чувствительность фиксации ручного контроля была увеличена на 6-12 дБ.

Если амплитуда эхосигнала от отражателя не достигала уровня фиксации, то шов признавался годным и пропускаялся в эксплуатацию.

на втором этапе проводился автоматизированный УЗК с помощью экспертных систем «Авгур 4.2» по методике МЭ-ОМП-98 [3]. Экспертному контролю подвергались те швы, в которых при ручном контроле были обнаружены отражатели с амплитудой эхосигналов достигающей уровень фиксации.

Затем проводилась обработка данных автоматизированного экспертного контроля с целью получения трехмерных изображений несплошностей. По этим изображениям, после обработки и анализа данных, экспертами НПЦ НК «Эхо+» составлялись заключения о размерах и типе дефектов и несплошностей.

Важной особенностью контроля с помощью компьютерных автоматизированных систем УЗК является долговременное хранение данных контроля, которые могут быть во время хранения извлечены для просмотра или повторного анализа. Такая возможность в системе «Авгур 4.2» позволяет проводить очень детальный сопоставительный анализ данных измеренных в разное время. Это открывает возможности слежения за возможным развитием несплошностей обнаруженных ранее.

на третьем этапе информация о параметрах дефектов использовалась для прочностного расчета ресурса работы сварного шва с учетом других характеристик, влияющих на ресурс. Если по расчетам запас прочности таков, что имеется возможность дальнейшей эксплуатации, шов допускается в работу оборудования. В противном случае шов отправляется в ремонт.

Данная концепция ультразвукового диагностирования с использованием систем АВГУР позволяет:

значительно повысить надежность выявления дефектов различного типа за счет более высокой чувствительности контроля;

составить базу данных о наличии в сварных швах различного рода допустимых несплошностей (осуществить паспортизацию швов);

осуществлять эксплуатацию оборудования с «непроходными» (по действующим нормам) дефектами благодаря возможности оценки ресурса работы сварной конструкции по установленным размерам несплошностей и параметрам напряженного состояния;

проводить мониторинг за развитием дефектов в процессе эксплуатации объектов;

существенно сократить объемы ремонтных работ.

2. Ультразвуковой контроль.

Работы по УЗ контролю проводились в несколько этапов. Ниже приведено описание основных результатов работы на каждом этапе. Последовательность изложения (номер этапа) соответствуют их исторической последовательности.

2.1. Контроль швов приварки коллекторов парогенераторов Ду1200.

На первом этапе по описанной технологии проводился контроль швов приварки коллекторов парогенераторов к патрубку Ду1200.

Ручным контролем в сечении всех восьми таких швов не было обнаружено дефектов. Только один шов по данным ручного УЗ контроля содержит несплошность на уровне фиксации по ПК1514-72. В корневой части шва ручным УЗК в пяти швах обнаружены отражатели, превышающие браковочный уровень.

Экспертным контролем все отражатели в корне шва идентифицированы как неровности внутренней поверхности шва. Несплошность в сечении шва, на уровне фиксации, идентифицирована экспертным контролем как непротяженная.

Вместе с тем, по данным экспертного УЗК, в четырех швах обнаружены протяженные несплошности, которые по результатам прочностного анализа, признаны допустимыми для эксплуатации этих швов при расчетных параметрах.

Изображение одной из таких протяженных несплошностей приведено на Рис. 1.

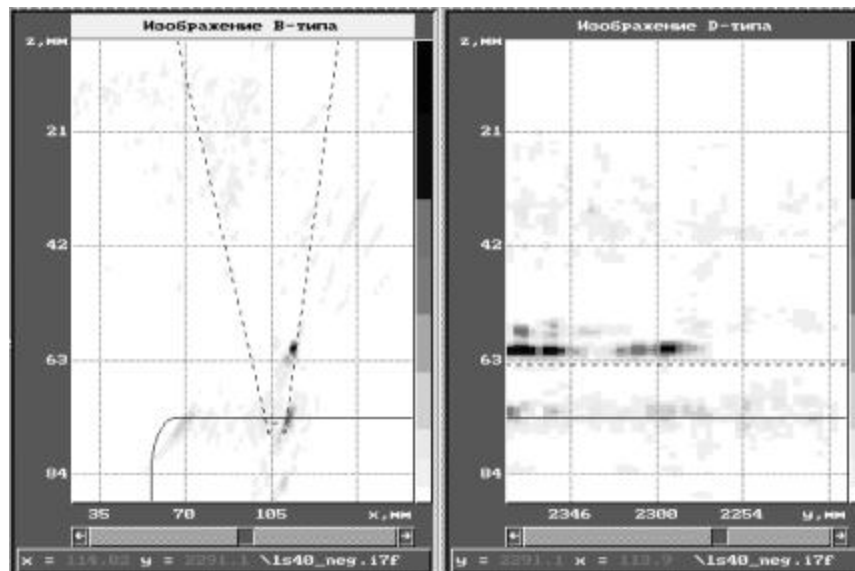


Рис. 1. Изображение протяженной несплошности в сварном шве № 111/2 «хол».

После проведения термообработки контроль швов был полностью повторен. Сравнительный анализ данных контроля до и после термообработки не показал каких-либо изменений в размерах несплошностей.

2.2. Контроль швов Ду850.

На втором этапе по описанной технологии проводился контроль всех монтажных сварных швов главного циркуляционного трубопровода (ГЦТ) Ду850. Из 40 швов, по данным ручного УЗК, только в одном обнаружены два допустимых непротяженных отражателя на глубине 52 мм, с эквивалентной площадью, соответствующей минимально фиксируемой – 5 кв. мм. На Рис. 2 и Рис. 3 приведено изображение этих несплошностей, полученное системой «Авгур 4.2».

В 11 швах, автоматизированным экспертным контролем были исследованы протяженные несплошности на повышенной чувствительности фиксации. По результатам

прочностного анализа все сварные швы ГЦТ признаны годными к эксплуатации при расчётных параметрах.

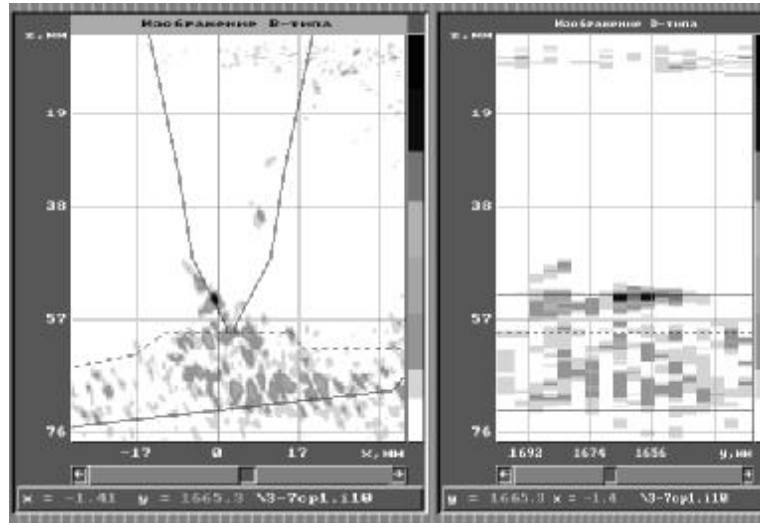


Рис. 2. Изображение несплошностей в сварном шве № 3-7 ГЦТ Ду850

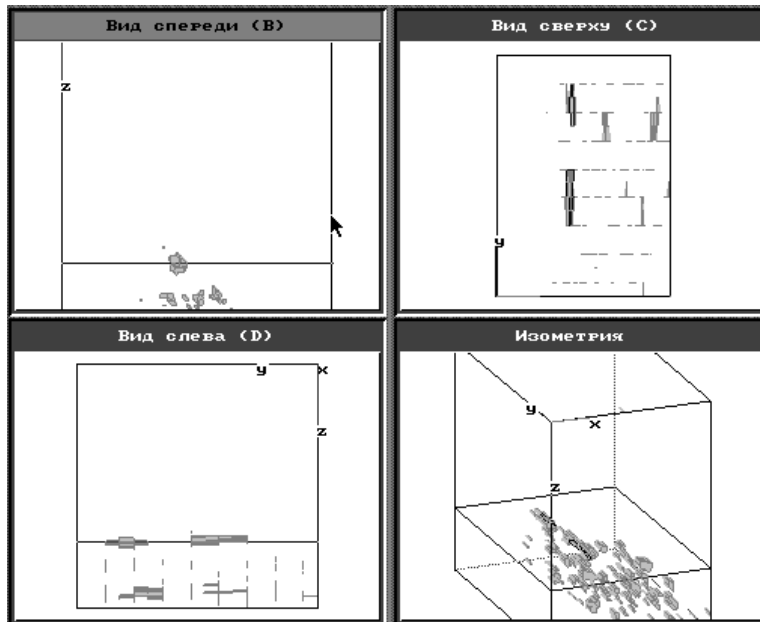


Рис. 3. То же изображение, что и на Рис. 2, в виде трех проекций и изометрии, после введения уровня отсечки, равного минимально фиксируемой эквивалентной площади.

2.3. Контроль швов второго контура реактора.

На третьем этапе проводился контроль монтажных сварных швов второго контура. Этот этап работ самый крупный по объему проделанной работы. Было проконтролировано 937 швов разных типоразмеров. В таблице 1 представлен весь объем ручного и автоматизированного УЗК первого и второго контуров до проведения холодно-горячей опрессовки (ХГО).

Ручным контролем было проверено 956 швов. В 268-и из них обнаружены фиксируемые несплошности, из которых, в свою очередь, 157 забракованы по нормам ручного контроля. Все швы были подвергнуты экспертному контролю с последующим прочностным расчетом. Оказалось, что только три сварных шва необходимо

отремонтировать. В остальных швах обнаруженные отражатели не влияют на прочностные свойства конструкции в условиях эксплуатации.

Недоступными для проведения автоматизированного контроля, оказались только 2% от всего количества сварных швов (1-ый и 2-ой контур), предназначенных для экспертного контроля. Недоступные швы – это такие швы, на которые из-за конструктивных особенностей либо затруднена установка сканирующего устройства, либо невозможно полноценное сканирование.

Таблица 1. Объем комплексного УЗК сварных швов трубопроводов 1-го и 2-го контура, выполненных НПЦ «ЭХО+» на Ростовской АЭС.

	Типоразмер трубопровода	Всего сварных швов	Швы - брак по РУЗК	Швы с допустимыми несплошностями по РУЗК	Швы для экспертного контроля и прочностного анализа	Отправлено в ремонт
Первый контур	Ø850x65	40	0	14	14	0
	Ø1200x75	8	5	1	8	0
Второй контур	Ø630x25	198	17	42	80	1
	Ø530x28	214	2	12	14	0
	Ø426x24	216	73	17	94	1
	Ø325x19	157	28	14	42	0
	Ø273x16	80	20	4	24	0
	Ø219x13	43	12	5	17	1
Итого		956	157	109	293	3

На Рис. 4 приведено относительное количественное распределение типов несплошностей и дефектов в сварных швах II контура, подвергнутых экспертному контролю.

Из этой диаграммы видно, что 74% швов, в которых ручным контролем обнаружены недопустимые несплошности, относятся к неопасным провисаниям корня шва или незначительным неровностям корня. 9% сварных швов имеют несплошности плоскостного характера, из которых только 3 шва, по данным специалистов по прочности, содержат недопустимые дефекты. В 8% сварных швов несплошности не имели однозначных признаков для отнесения их к какому-либо типу в рамках выбранной классификации. В этом случае прочностной расчет проводился по наиболее консервативной оценке – предполагалось, что несплошности неустановленного типа являются трещинами.

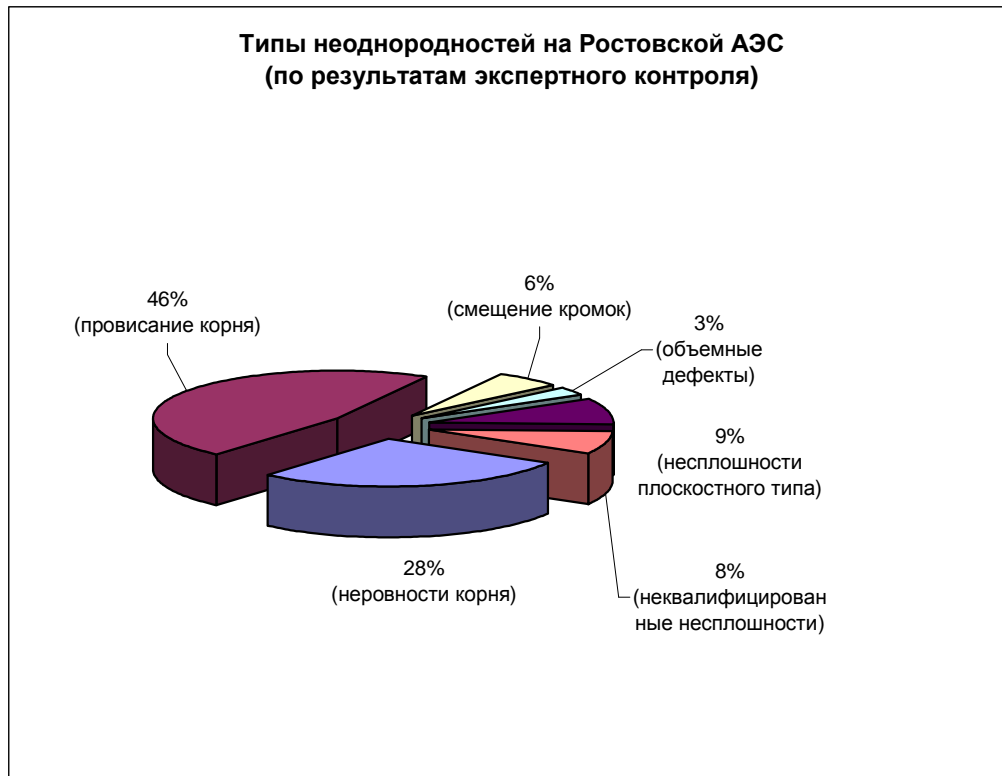


Рис. 4. Классификация неоднородностей в сварных швах II контура Ростовской АЭС.

2.4. Предпусковой контроль швов второго и первого контура реактора.

После проведения ХГО был проведен повторный контроль сварных соединений.

Был полностью повторен ручной УЗК для швов ГЦТ первого контура. Экспертный УЗК швов ГЦТ Ду850 проводился только для тех швов, в которых при первичном контроле до ХГО обнаружены фиксируемые несплошности.

Экспертный и ручной УЗК второго контура проводился в основном для швов, в которых до гидроиспытаний были обнаружены дефекты. Всего повторному экспертному контролю были подвергнуты 137 швов второго контура.

Результаты контроля подтвердили наличие отражателей, зафиксированных при первоначальном контроле. Экспертный контроль показал отсутствие развития дефектов после ХГО.

3. Новые способы анализа данных автоматизированного УЗК.

Во время работы было обнаружено много полезных эффектов, проявляющихся в данных автоматизированного УЗК, который проводится на повышенной чувствительности в широком динамическом диапазоне амплитуд принятых эхо-сигналов.

Высокая информативность обнаруженных явлений дает возможность использовать их в новых методических принципах анализа данных автоматизированного контроля.

Рассмотрим некоторые из этих явлений.

3.1 Определение величины смещения кромок

Методами автоматизированного УЗК легко обнаруживается смещение нижних кромок и определяется направление этого смещения. При анализе данных автоматизированного УЗК, проведенного по всему периметру стыка, хорошо заметен эффект перехода сигнала углового отражения с одной стороны шва на другую. При одинаковых толщинах стыкуемых труб, такой эффект позволяет сделать точный вывод о

несоосности стыковки. Такой давно известный эффект используется при двухстороннем доступе к шву.

По опыту контроля на Ростовской АЭС, можно сказать, что в некоторых случаях определение высоты смещения кромок возможно по измерениям с одной стороны от шва. Проводя автоматизированный контроль на повышенной чувствительности можно легко обнаружить сигналы, отраженные от внутренней поверхности трубы. Эти сигналы особенно заметны при контроле преобразователями сдвиговых волн. После обработки методами визуализации эти сигналы точно повторяют профиль внутренней поверхности трубы на изображении.

При определенных условиях можно наблюдать перепад уровней внутренней поверхности трубы соответствующий смещению нижних кромок. Измерение высоты этого перепада может быть выполнено с погрешностью не менее 1 мм.

3.2 Трансформация сдвиговой волны на неровностях донной поверхности

При проведении контроля был обнаружен эффект образования переотражений трансформированных волн, возникающий на неровностях корня шва. Эти волны, хорошо идентифицируемые при автоматизированном УЗК, ручным контролем воспринимаются как сигналы из сечения шва, образованные волнами, отраженными от донной поверхности, или «зеркальными» волнами. Отсутствие критериев выделения этих сигналов при ручном УЗК приводит к необходимости отмечать наличие несплошностей там, где несплошностей нет. При обработке данных автоматизированного контроля в экспертном режиме такие сигналы легко отличаются от сигналов реальных несплошностей.

Часто трансформации сдвиговой волны и просто ее отражение в вертикальном направлении возникают на конусных переходах внутренней поверхности трубы. Амплитуды таких сигналов нередко превосходят браковочный уровень. Не имея возможности визуализации таких сигналов легко совершить ошибку перебраковки. Несколько таких случаев было зафиксировано при контроле трубопроводов второго контура Ростовской АЭС.

3.3 Экранировка сигналов из корня шва

Практически всегда при автоматизированном УЗК на повышенной чувствительности наблюдаются сигналы, отраженные от неровностей корня шва.

При анализе исходных данных и изображений, полученных по ним, часто обнаруживался очевидный эффект экранировки сигналов из корня шва высокими плоскостными дефектами, расположенными со стороны излучающего преобразователя. Сигналы из корня шва полностью пропадают в области существования высокой несплошности.

Этот эффект (или его отсутствие) может быть использован для предварительной, грубой оценки высоты плоскостного дефекта.

3.4 Отказ от ручного УЗК

Опыт совместного применения сплошного автоматизированного контроля и ручного контроля позволяет предложить варианты ультразвукового контроля, которые исключают необходимость ручного контроля для довольно большого количества швов. Это обусловлено, во-первых, значительно большей информативностью автоматизированного контроля, проводимого на высокой чувствительности. Такой контроль включает в себя все возможные результаты ручного контроля. Во-вторых, возможностью систематического слежения за качеством акустического контакта по наличию непрерывного изображения акустических сигналов. В-третьих, объективностью, долговременным хранением данных в виде изображений, возможностью проведения мониторинга.

4. Результаты контроля

4.1. Результаты сопоставлений

Несколько ремонтов, проведённых на Ростовской АЭС и зафиксированные актами исследования отремонтированных швов, подтвердили высокую точность измерений. Во время работы проведено несколько исследований сварных соединений. На рисунках ниже приведены некоторые из результатов этих исследований. На первых двух приведена фотография среза шва трубы $\text{Ø}219 \times 13$ с характерным непроваром и В-изображения, полученные системой «Авгур 4.2» в том же сечении трубы. (Шов № 108 ($\text{Ø}219 \times 13$) главного паропровода).

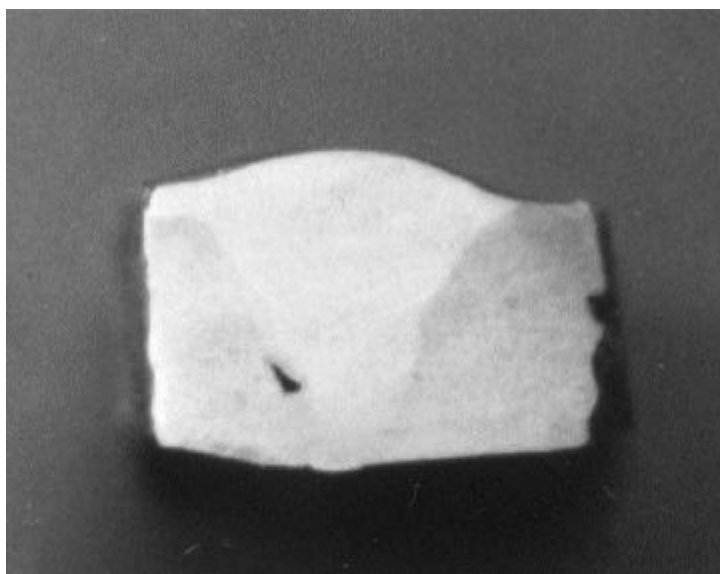


Рис. 5. Микрошлиф шва трубы $\text{Ø}219 \times 13$ в области 12 часов.

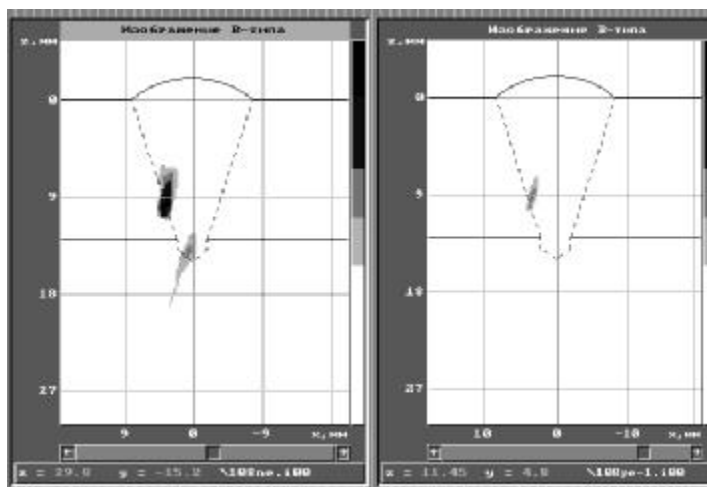


Рис. 6. Изображение несплошности того же шва в области 12 часов, полученное системой «Авгур 4.2».

На Рис. 5 приведен макрошлиф в области $Y = 0$ (12 часов), а на рисунке 2 - В-Изображения несплошности, полученные системой «Авгур 4.2». В-срезы в слоях $Y = -15$ и $+5$ мм.

На следующем рисунке приведено изображение трещины, обнаруженной системой «Авгур 4.2» в сварном шве № 11 паропровода второго контура $\text{Ø}630 \times 25$. Точность измерений в этом шве также подтверждена актом исследования (см. приложение).

На Рис. 7 приведены В- и D-срезы трехмерного изображения несплошности, полученное системой «Авгур 4.2».

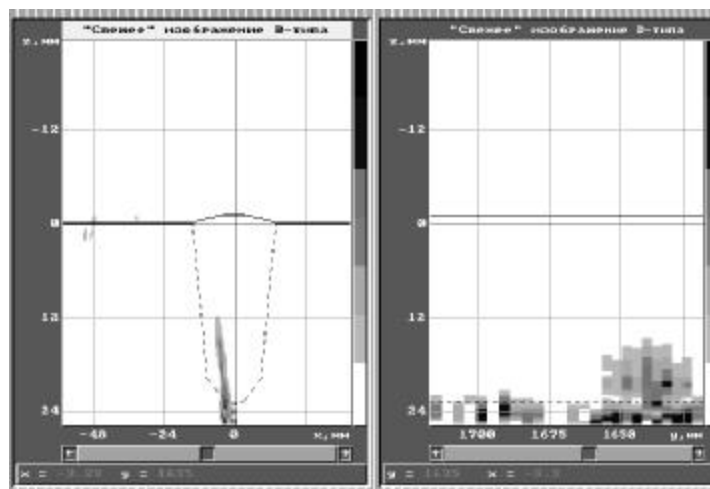


Рис. 7. Изображение плоскостного дефекта в сварном шве № 11.

4.2. Основные результаты

Наиболее важным результатом работы можно считать сокращение объемов ремонта, при более высоком уровне надежности ультразвукового контроля. Ремонтные работы по результатам штатного УЗК потребовали бы около четырёх месяцев, что привело бы к значительной задержке пуска блока.

Впервые перед пуском блока получена полная информация об исходном состоянии швов. Эта информация хранится в виде файлов данных и изображений в архиве данных контроля. Полная картина состояния позволит проводить слежение за изменением состояния швов во время эксплуатации блока.

Полученная информация позволяет увеличить периодичность и уменьшить объемы эксплуатационного контроля.

Литература

1. ПНАЭ Г-7-030-91. Унифицированные методики контроля основных материалов (полуфабрикатов), сварных соединений и наплавки оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок., Ультразвуковой контроль., Часть 2., Контроль сварных соединений и наплавки.
2. Правила контроля сварных соединений и наплавки узлов и конструкций атомных электростанций, опытных и исследовательских ядерных реакторов и установок, ПК 1514-72, 1974г.
3. «Ультразвуковой экспертный контроль сварных швов трубопроводов и оборудования АЭС с применением компьютерных голографических систем серии «Авгур»», МЭ-ОМП-98.
4. Бадалян В.Г., Базулин Е.Г., Бычков И.В., Вopilкин А.Х., Каплун С.М., Ломакин А.В., Пентюк М.В., Рубен Е.А., Тихонов Д.С., Штерн А.М. Компьютерная система ультразвукового контроля с когерентной обработкой данных "Авгур 2.1". - Дефектоскопия, 1993, №7, с. 3-15