

Титов Вячеслав Юрьевич

**Совершенствование метрологического обеспечения ультразвукового
контроля с фазированными решетками**

Специальность: 05.11.15-Метрология и метрологическое обеспечение

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук



Москва - 2015

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана» (ФГБОУ ВПО МГТУ им. Н.Э. Баумана).

Научный	Сычев Виктор Васильевич
руководитель:	доктор технических наук, доцент
Официальные	Мишакин Василий Васильевич,
оппоненты:	доктор технических наук, заведующий лабораторией неразрушающего контроля и диагностики материалов и конструкций, Институт проблем машиностроения (ИПМ) РАН
	Шевалдыкин Виктор Гавриилович,
	доктор технических наук, зам. директора по научной работе, ООО «Акустические Контрольные Системы»
Ведущая организация:	Закрытое акционерное общество «Научно-исследовательский институт интроскопии МНПО «СПЕКТР» (ЗАО «НИИИН МНПО «Спектр»)

Защита состоится «_____» _____ 2015г. в _____ на заседании диссертационного совета Д212.141.18 при МГТУ им. Н.Э. Баумана по адресу: 105005, г. Москва, ул. 2-я Бауманская, д.5.

Ваш отзыв на автореферат в двух экземплярах, заверенных печатью, просьба выслать по указанному адресу.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МГТУ им. Н.Э. Баумана и на сайте www.bmstu.ru.

Телефон для справок: +7 (499) 267 09 63.

Автореферат разослан «_____» _____ 2015г.

Ученый секретарь

диссертационного совета Д212.141.18,

доктор технических наук,

профессор



Цветков Юрий Борисович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Введение. Оценка работоспособности, фактического состояния и остаточного ресурса сложного стационарного оборудования и ответственных металлоконструкций представляет для отечественного хозяйства важную технико-экономическую задачу. Одним из наиболее объективных и эффективных методов получения указанных оценок является ультразвуковой контроль (УЗК). Поэтому совершенствование технологии и повышение достоверности УЗК во многом определяет перспективы как повышения надежности объектов контроля, так и дальнейшего расширения сферы его рационального применения. В свою очередь достоверность и полезность УЗК существенно зависят не только от данных о наличии дефектов, но и о параметрах, обнаруженных несплошностей.

Развитие ультразвукового контроля с применением фазированных решеток (ФР) и рациональное его использование невозможно без всестороннего изучения метрологических характеристик соответствующей аппаратуры и разработки соответствующего метрологического обеспечения.

Актуальность работы. Технология проведения ультразвуковых работ, как правило, не позволяет с необходимой точностью оценивать параметры и характеристики несплошностей. Вместе с тем, на рынке появляются все более новые и совершенные приборы УЗК, реализующие технологию ФР, а также методы когерентной обработки получаемой информации. Однако их потенциальные возможности ограничиваются недостаточным вниманием к метрологическому обеспечению процесса ультразвукового контроля, а также отсутствием необходимой нормативно-правовой базы.

Атомная энергетика – одна из отраслей промышленности, где перспективно применение методов контроля с ФР для внедрения мероприятий, по оценке фактического состояния оборудования. Применение технологии ФР для контроля толстостенных сварных соединений (толщиной свыше 60 мм) позволяет проводить мониторинг зафиксированных несплошностей для наиболее ответственных элементов энергетического оборудования, например,

главного циркуляционного трубопровода (ГЦТ), ротора турбины, реактора и т.д. Поэтому необходимы исследования метрологических методов и средств, позволяющих более полно использовать потенциальные возможности УЗК с ФР.

Диссертационная работа посвящена разработке метрологических методов повышения достоверности получаемой ультразвуковой информации, что повышает эффективность мониторинга оборудования с высоким уровнем риска техногенных аварий и является важной и актуальной задачей.

Цель работы. Целью диссертационной работы является ультразвуковой контроль сварных соединений главного циркуляционного трубопровода атомных электростанций и совершенствование его метрологического обеспечения согласно требованиям системы стандартов «Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Техногенные аварии и катастрофы».

Для достижения поставленной цели решались следующие **задачи**:

1. Уточнение мероприятий метрологического обеспечения средств ультразвукового контроля в составе сложных технических систем.
2. Построение математической модели акустического тракта в ближней и дальней зонах зондирования фазированной решетки.
3. Разработка научно-методического сопровождения решения измерительных задач ультразвукового контроля для класса сварных соединений и обеспечения достоверности полученных результатов
4. Разработка структурно-параметрической идентификации математической модели формирования измерительного сигнала в задаче неразрушающего ультразвукового контроля.
5. Совершенствование метода аттестации настроечных образцов (НО), предназначенных для калибровки ультразвуковых приборов с технологией фазированных решеток.
6. Решение измерительной задачи идентификации основной погрешности ультразвукового дефектоскопа (инструментальной составляющей

погрешности и погрешности неадекватности), оценивание положительных результатов поверки.

7. Совершенствование метрологического обеспечения качества ультразвукового контроля ответственных трубопроводов на строящихся и эксплуатируемых атомных электростанциях (АЭС).

В основе данной работы лежат труды отечественных ученых и специалистов: Алешина Н.П., Гурвича А.К., Ермолова И.Н., Ключева В.В., Пытьева Ю.П., Щербинского В.Г. и др.

Методы и средства исследования

В работе использованы теоретические и эмпирические методы. Эмпирические исследования проводились при помощи создания комплекса образцов с различными характеристиками отражателей, необходимые для обоснования проходящих волновых процессов, а также анализа качества получаемой информации для применения в реальных условиях. Теоретическая часть заключается в построении математических моделей: оценка параметров волновых процессов в акустическом тракте, формирование измерительного сигнала и определение доверительной вероятности при ультразвуковом контроле. Результаты исследования практически опробованы при проведении мониторинга сварных соединений главного циркуляционного трубопровода ультразвуковыми дефектоскопами с одноэлементными и ФР преобразователями.

Научная новизна работы заключается в том, что:

1. Разработана локальная поверочная схема и принята оценка достоверности, которая рекомендована ГОСТ 8.731, для ультразвуковых дефектоскопов.

2. Предложен расчет инструментальной погрешности с учетом погрешности неадекватности принятой модели распределения наблюдаемой составляющей погрешности при утвердительном результате положительной поверки при ультразвуковом контроле с ФР, впервые учитывающий методику расчета апостериорной достоверности на основе программ «ММК-стат» и

«ММИ-поверка 2.0».

Практическая ценность работы заключается в следующем:

Полученные результаты исследований позволили разработать метрологические критерии оценки контроля объекта при использовании технологии ФР.

1. Реализован элемент локальной поверочной схемы на примере аттестации комплекса НО с получением акустического образа отражателей, которые применяются для оценки ультразвукового тракта преобразователей на ФР и корректировки данных по одноэлементным пьезоэлектрическим преобразователям (ПЭП).

2. Разработаны методы расчета акустического тракта преобразователей ФР, позволяющие повысить точность интерпретации результатов измерений с использованием НО.

3. Обоснованы рекомендации по совершенствованию нормативно-технической документации в части ультразвукового контроля с использованием ФР, обеспечивающие повышения качества контроля.

4. Проведен расчет погрешности поверки ультразвукового дефектоскопа на основе программы «ММИ – поверка 2.0» с использованием усеченных распределений.

5. Обоснована возможность применения графического метода (экспресс-метода) оценивания результатов контроля без статистических проверок гипотез на основе понятия погрешности неадекватности для ультразвуковых дефектоскопов.

6. Проведено сравнение результатов измерения условных характеристик отражателей (несплошностей) при УЗК с использованием методов математической статистики на основе программы «ММК-стат».

7. Получена формула связи между данными измерения амплитуды и переменными выражения для многофакторной оценки ультразвукового контроля на основе программы «ММК-стат М».

8. На базе ультразвукового контроля осуществляется мониторинг толстостенных сварных соединений ГЦТ, с целью эффективного слежения за параметрами несплошностей.

Достоверность и обоснованность научных положений подтверждаются теоретическими и экспериментальными исследованиями на специально созданном комплексе настроечных образцов; успешной апробацией на практике разработанных методических положений контроля; а также корректностью применения информационной модели методов измерений, представляющую собой взаимосвязь между моделью объекта контроля и комплекса контролируемых параметров.

Личный вклад автора. Автором выполнен анализ точности оценки характеристик несплошностей в сварных соединениях методами и средствами УЗК на базе совершенствования их метрологического обеспечения. Разработана структурно-параметрическая идентификация математической модели формирования измерительного сигнала в задаче неразрушающего ультразвукового контроля и оценки его погрешностей. Выполнены теоретические и экспериментальные определения взаимосвязи метрологической аттестации настроечных образцов с обеспечением единства оценки параметров при калибровке средств УЗК с ФР. Внедрены предложения по совершенствованию метрологического обеспечения качества ультразвукового контроля ответственных трубопроводов на строящихся и эксплуатируемых атомных электростанциях. Все результаты диссертационной работы получены лично автором или при его непосредственном участии в результате проведения экспериментальных и расчетных работ. Во всех необходимых случаях заимствования чужих результатов в диссертации приведены ссылки на литературные источники.

Реализация и внедрение результатов работы

Результаты диссертационной работы использованы в методических рекомендациях ООО «НТК ЭКОНТ» по применению преобразователей на ФР,

а также при контроле ответственного оборудования на энергоблоках атомных электростанций и при проведении комплексного контроля специальных металлоконструкций для ФГУП «ЦАГИ».

Апробация работы

Основные результаты работы докладывались на четырех всероссийских конференциях и семинарах: XI Всероссийской научно-технической конференции «Состояние и проблемы измерений», Москва, 2011; X Всероссийском совещании-семинаре «Инженерно-физические проблемы новой техники», Москва, 2012; XII Всероссийской научно-технической конференции «Состояние и проблемы измерений», Москва, 2013; XI Всероссийском совещании-семинаре «Инженерно-физические проблемы новой техники», Москва, 2014.

Публикации

Основные положения диссертации полностью отражены в 8 научных работах, из них в изданиях, входящих в перечень ВАК РФ – 4, общим объемом 0,95 п. л.

Структура и объем диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, общих выводов, списка литературы из 115 наименований. Общий объем диссертации изложен на 146 страницах машинописного текста, содержит 73 рисунка, 21 таблицу и приложение.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность выбора темы диссертации, сформулированы цели и задачи исследования, отмечается актуальность повышения достоверности ультразвукового контроля оборудования с высоким уровнем риска техногенных аварий в части оценки фактического состояния ответственных толстостенных сварных соединений.

В первой главе проведен анализ основных методов и средств неразрушающего контроля толстостенных сварных соединений и требования к объектам контроля. Обоснована актуальность работы, связанная с

возрастающим количеством находящихся в эксплуатации блоков АЭС ВВЭР-1000, а также протяженностью всех сварных соединений ГЦТ и прогноз их роста. Отмечена необходимость новых подходов к изучению параметров дефектов, прогноза их состояния, снижения затрат на мониторинг и эффективности работы.

Проанализирована статистика выявляемости несплошностей, их характера различными методами неразрушающего и ультразвукового контроля, в частности, перспективы методов ультразвукового контроля с датчиками на фазированных решетках, возможности пост-обработки данных при применении различных когерентных методов (SAFT, C-SAFT и др.) и комплексов средств («Авгур», «A1550 IntroVisor» и др.), а также при использовании автоматических или автоматизированных УЗ систем. Проведена оценка погрешности обнаружения и допустимости дефектов при УЗК.

Сформулированы основные мероприятия метрологические обеспечения ультразвукового контроля, выполнена постановка измерительной задачи (ИЗ): выбран объект измерения, дана формулировка ИЗ и цель ИЗ, описана структура решения ИЗ, контролируемые параметры и влияющие величины, которые обеспечивают заданное качество оценки фактического состояния сварных соединений.

Сделан краткий обзор существующей нормативно-технической базы (НТД), регламентирующей методику ультразвукового контроля и оценку изделий в различных отраслях промышленности, в том числе в атомной энергетике. Выявлены несоответствия НТД в части проведения контроля с использованием технологии ФР и оценки результатов, сформулированы предложения по гармонизации применяемых методик и норм оценки.

Уточнены цели и задачи метрологических исследований преобразователей ФР: разработка модели процесса получения информации, оценка точности теоретических расчетов и экспериментальных исследований акустического тракта ФР для разработки критериев метрологической оценки

параметров отражателей в настроечных образцах, предназначенных для калибровки средств УЗК.

Вторая глава посвящена совершенствованию метрологического обеспечения ультразвуковых дефектоскопов на фазированных решетках.

Проведен анализ особенностей метрологического обеспечения ультразвуковой дефектоскопии, основные из которых: отсутствие первичного эталона и поверочных схем для средств ультразвукового контроля; использование для настройки в качестве рабочих эталонов калибровочных образцов или настроечных образцов; невозможность прямого сопоставления параметров дефектов с полученными результатами без нарушения целостности объекта контроля.

Проанализированы основные составляющие погрешности при ультразвуковом контроле. Представлены графики акустического поля преобразователя в дальней зоне для наклонного датчика от различных типов отражателей.

Определены критерии достоверности и дана оценка качества поверки ультразвукового дефектоскопа поверителем на основе экспресс-метода (графического метода) (согласно МИ 2916-2005), а также выполнен расчет достоверности поверки с проверкой гипотез о виде распределения с помощью программы «ММИ – поверка 2.0». Решена задача о нахождении измеряемых параметров в допуске. Измерительная задача решалась в классе усеченных распределений, критерий выбора распределения является его максимум воспроизводимости или минимум погрешности неадекватности для полученной статистической функции распределения данных и учет погрешности поверки.

По данным контроля строилась характеристика положения и проверялась, на сколько отклоняются результаты от математической модели. Определение параметров модели проводилось с помощью программы «ММК-стат» двумя методами: ММКМНК – метод наименьших квадратов и ММКМНМ – метод наименьших модулей. В результате проведенной работы получено, что расчет достоверности вероятности можно проводить экспресс-методом.

В качестве параметра сличения различных групп (методов) ультразвукового контроля и обеспечение прослеживаемости передачи единицы измерения, согласно ГОСТ Р ИСО 5725-6, построена локальная поверочная схема (Рисунок 1).

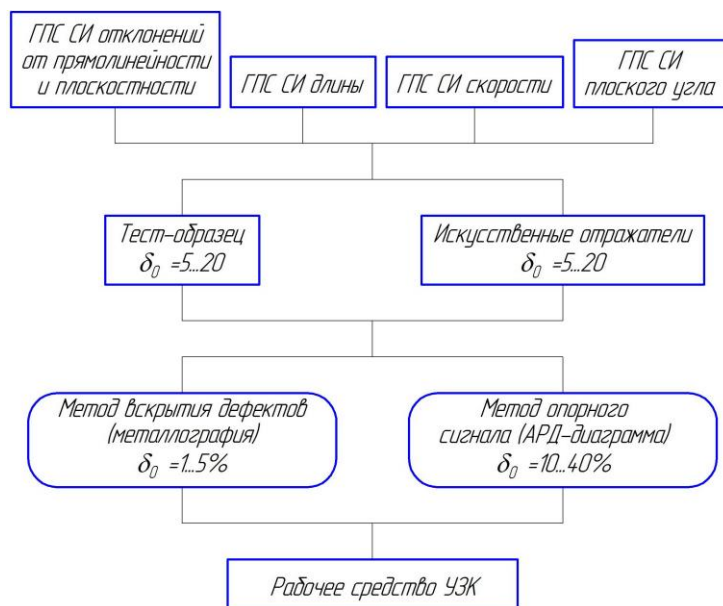


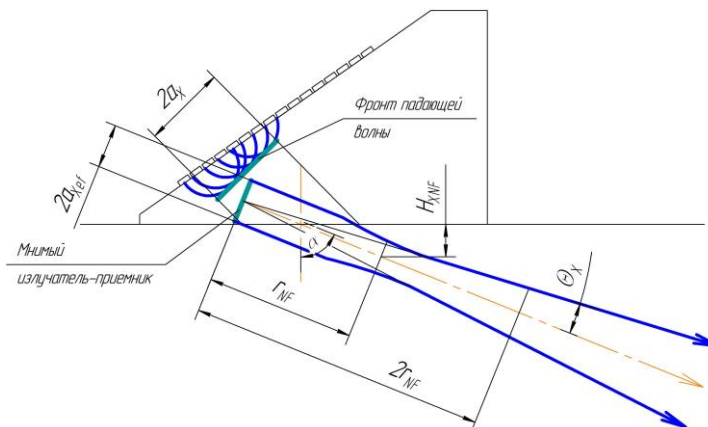
Рисунок 1. Локальная поверочная схема достоверности ультразвукового контроля

Локальная поверочная схема позволяет проверять: состояние и применение поверочного оборудования и НО; соответствие выполняемых метрологических работ; сходимость и воспроизводимость результатов измерений.

Обоснованы критерии для выявления скрытой эквивалентности, характеризующих качество моделей с точки зрения их соответствия априорной информации об объекте контроля. Приведены экспериментальные данные, подтверждающие влияние точности интерпретационной модели на достоверность контроля.

Рассмотрена возможность интерпретации результатов УЗК с применением методов редукции измерений. Эти методы позволяют в процессе обработки результатов УЗК изменять и дополнять модели принятия решений, основываясь на фактах и предположениях, связанных с предыдущим опытом и промежуточными результатами анализа, в том числе с привлечением

Уточнены соотношения, описывающие формирование измерительного сигнала в акустическом тракте преобразователей ФР. Акустическое поле преобразователя ФР для наклонной призмы разделено на ближнюю, переходную и дальнюю зоны (Рисунок 2).



Проведены исследования по уточнению расчетных и экспериментальных АРД-диаграмм, а также инженерных расчетов по условной протяженности и условной ширине отражателя, а также оценки их погрешностей.

Разработаны алгоритмы для: амплитуды эхо-сигнала от плоского дна отверстия, нормированного относительно максимального значения амплитуды сигнала от бесконечной плоскости в дальней зоне ПЭП; амплитуды эхо-сигнала от плоскодонного отверстия в ближней зоне и переходной зонах ПЭП; условной протяженности ΔL и условной ширины ΔX плоскодонного отверстия.

С помощью программы «ММК-стат М» получена формула связи между данными измерения амплитуды и переменными, входящими в выражение:

$$N_{dNF} - (N_{\infty \max} + \Delta N) = 20 \lg \frac{A_d}{A_{\infty \max}} - \Delta N \approx 20 \lg 2,5 \frac{\pi d^2}{\hat{E} \cdot 16 a_l a_x \frac{\cos \alpha}{\cos \beta}} +$$

$$+ 40 \frac{\delta_t (H_{\infty \max} - H)}{\cos \alpha} \lg e - \Delta N,$$

в виде трехмерного степенного ряда с указанием погрешности неадекватности.

$$\tilde{A}(x_1, x_2, x_3) = -0,97457588x_1 + 5,9157062x_2 - 0,00093497511x_1^2 + 6,1103854x_2^2 +$$

$$+ 0,35236317x_1x_2 + 0,024388893x_3^2 - 1,02000001x_2x_3$$

Используя программу «ММИ-поверка 2.0», получено распределение отклонений от модели с учетом погрешности неадекватности и с учетом инструментальной погрешности.

В третьей главе представлены результаты экспериментальных исследований по оценке точности полученных теоретических результатов.

Для проведения научных исследований создана экспериментальная база, состоящая из дефектоскопа, одноэлементных и ФР преобразователей, комплекса разработанных настроечных образцов.

Проанализированы результаты исследований интерпретационной модели, которые показали, что для одноэлементного датчика при углах наклона отражающей поверхности больше 10° наблюдается существенное изменение величины определяющего параметра (амплитуды) и (Рисунок 5), по сравнению с ФР (Рисунок 6).

Для метрологической аттестации настроечных образцов использовались плоскодонные отверстия различного диаметра, выполненными на глубине от 10 до 100 мм (с шагом через 10 мм), с различными режимами фокусировки: режим фокусировки УЗ луча на глубину залегания отражателя и режим фокусировки на бесконечность.

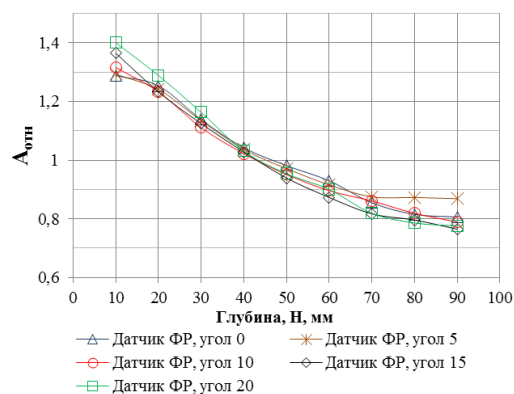
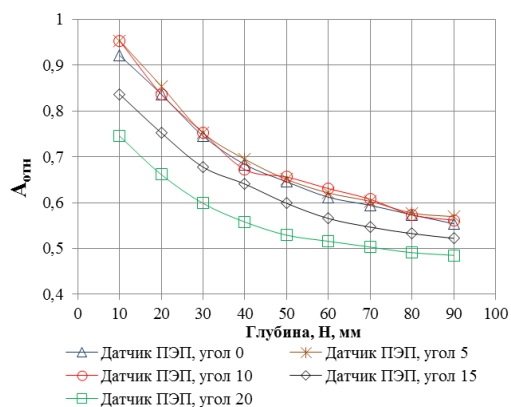


Рисунок 5. Зависимость амплитуды от глубины залегания отражателя для ПЭП

Рисунок 6. Зависимость амплитуды от глубины залегания отражателя для ФР

На Рисунке 7 приведены расчетные и экспериментальные кривые, полученные для плоскодонного отверстия диаметром 2, 3 и 4 мм и угла ввода УЗ луча 50° на частоте 2,25 МГц.

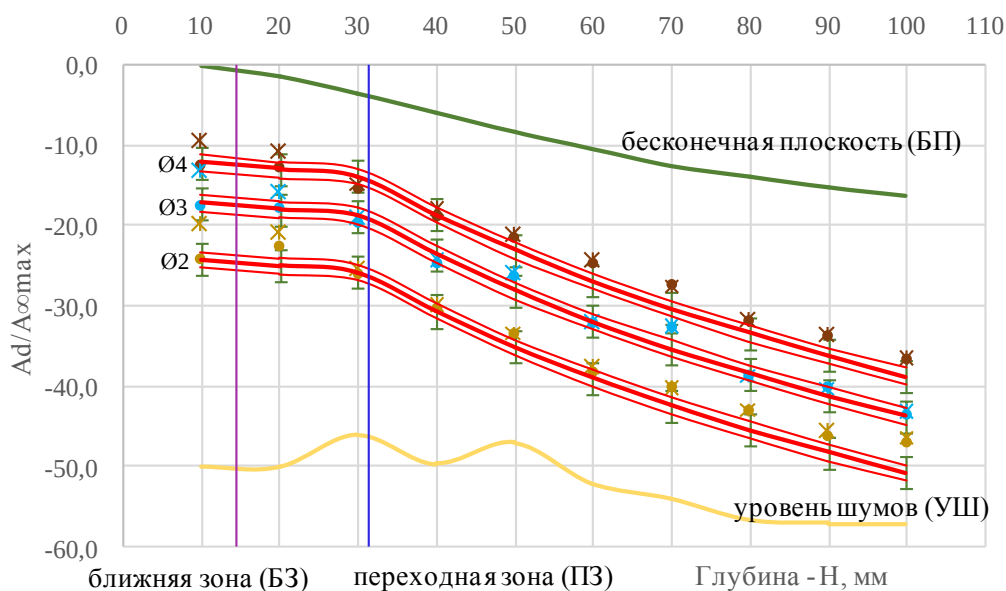


Рисунок 7. АРД-диаграмма. ПЭП ФР 2L64-A2, угол $\alpha=50^\circ$.

Аналогичные данные были получены для ПЭП ФР 2L64-A2 на частоте 2,25 МГц с углами ввода $\alpha=40^\circ$ и 70° . Для ПЭП ФР 5L64-A2 на частоте 5,0 МГц исследования проведены с углами ввода $\alpha=40^\circ$, 50° и 70° .

Проведено сравнение расчетных и экспериментальных значений оценки погрешностей УЗ поля в ближней, переходной и дальней зонах при различных углах ввода.

Из Рисунка 7 видно, что в дальней и ближней зонах экспериментальные значения при различных режимах фокусировки согласуются с расчётными кривыми с погрешность не превышающей 8%.

Получены результаты расчетных и экспериментальных значений погрешности оценки условной протяженности и условной ширины в зависимости от глубины залегания отражателя для ФР.

Указанные погрешности согласуются с расчетными и экспериментальными данными условных размеров отражателя и имеют мультипликативный характер в зависимости от глубины, что позволяет проводить оценку точности получаемых значений.

Проведенные исследования позволяют формировать зону толерантности математической модели, содержащую требуемую долю распределения возможных значений отклонения, и описывать распространения ультразвукового луча в объекте контроля при взаимодействии с отражателями и формировать точный (в пределах задачи) акустический образ сварного соединения с учетом законов распространения ультразвукового поля ФР. Это позволяет проводить мониторинг объекта контроля, фиксировать обнаруженные несплошности и анализировать динамику изменения их параметров.

В четвертой главе представлены результаты внедрения проведенных теоретических и экспериментальных исследований на объектах атомной энергетики.

Проведены мероприятия по контролю металла, направленные на обоснование безопасности при эксплуатации энергоблоков атомных станций, в частности, проведение неразрушающего контроля главного циркуляционного трубопровода АЭС. Результаты работ оформлены в виде отчетов, утвержденные головной материаловедческой организацией, по результатам неразрушающего контроля сварных соединений и отводов ГЦТ с оценкой состояния сварных соединений с уточнением и анализом развития ранее обнаруженных несплошностей. Показано, что при контроле ФР

преобразователями ранее зафиксированные несплошности имеют эквивалентную площадь меньше браковочного уровня и не имеют протяженности. С целью обеспечения единства и точности измерений выявленных отражателей создан архив результатов сканирования УЗК ФР (электронный паспорт), для проведения постоянного мониторинга объекта.

Разработана структура принятия решения согласно ПНАЭ Г-7-010-89 и ПНАЭ Г-7-030-91.

Разработаны технологические карты проведения ультразвукового контроля с ФР для сварных соединений ГЦГ.

Практика использования результатов работы на объектах атомной промышленности показала эффективность и целесообразность рекомендаций и предложений, основанных на проведенных исследованиях.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Разработана оценка достоверности результатов ультразвукового контроля в виде локальной поверочной схемы, учитывающих степень соответствия полученных и принятых результатов. Это позволяет проверять состояние калибровочного оборудования, НО, соответствие НТД при аттестации различных групп образцов, оборудования и определении их степени ответственности.

2. Для преобразователей ФР определен оптимальный коэффициент изменения интенсивности поля $|I|^2$ равный 2,5, а также предложена и экспериментально подтверждена модель мнимого излучателя-приемника для расчета волновых процессов распространения УЗ луча в ближней ($r_{NF} > r$), переходной ($r_{NF} < r < 2r_{NF}$) и дальней ($r > 2r_{NF}$) зонах. Это позволяет вводить корректирующие поправки погрешности акустического тракта для аттестации НО при настройке автоматизированного ультразвукового оборудования.

3. Для определения предельной чувствительности ультразвукового контроля разработаны и аттестованы НО с диапазоном залегания отражателей от 10 до 100 мм, углами ввода 0° - 70° и эквивалентной площадью плоскодонных отверстий диаметром 2, 3, 4 мм меньше апертуры

14

преобразователя ФР. Это позволяет экспериментально определить величину поправок к погрешностям акустического тракта при калибровке средств ультразвукового контроля.

4. Решена измерительная задача идентификации основной погрешности ультразвукового дефектоскопа, инструментальной составляющей погрешности и погрешности неадекватности, и оценены положительные результаты поверки. Показана возможность оценки достоверности результатов поверки и контроля с помощью экспресс-метода (графический метод), так как разница значений с программными продуктами составила менее 8%.

5. Сформирована зона толерантности математической модели, содержащая требуемую долю распределения возможных значений отклонения (максимальный выброс значений составил менее 8%), и описано распространение ультразвукового луча в объекте контроля при взаимодействии с отражателями, что позволяет проводить мониторинг объекта контроля, фиксировать обнаруженные несплошности и анализировать динамику изменения их параметров.

6. Для улучшения сходимости и воспроизводимости результатов калибровки при настройке автоматизированного ультразвукового оборудования с ФР обоснованы рекомендации по внесению в паспорт образца:

- акустического образа отражателя (максимальной амплитуды эхо-сигнала и условных размеров отражателя ($A_{\max}$, ΔL , ΔX) с учетом инструментальной погрешности и погрешности неадекватности),
- параметров УЗ преобразователя и его погрешности.

Список публикаций, отражающих основное содержание диссертации

1. Гребенников В.В., Гребенников Д.В., Титов В.Ю. Исследование акустического тракта ультразвукового дефектоскопа с пьезопреобразователями на фазированных решётках. АРД – диаграммы// Контроль. Диагностика. 2013. №3. С.3-8.(0,35 п. л./0,25 п. л.).

2. Гребенников В.В., Гребенников Д.В., Титов В.Ю. Исследование акустического тракта ультразвукового дефектоскопа с пьезопреобразователями

на фазированных решётках. Условная протяженность и условная ширина дефектов при контроле ультразвуковым дефектоскопом типа OMNISCAN// Контроль. Диагностика. 2013. №8. С. 21-30.(0,55 п. л./0,4 п. л.).

3. Титов В.Ю., Скрипка В.Л. Особенности применения фазированных антенных решеток при ультразвуковом контроле сварных соединений нефтегазовых трубопроводов// Управление качеством в нефтегазовом комплексе. 2014. №1. С. 39-43.(0,2 п. л./0,1 п. л.).

4. Титов В.Ю., Скрипка В.Л. Достоверность интерпретации акустических характеристик ультразвуковых преобразователей при оценке геометрических параметров объекта контроля// Метрология. 2014. №6. С. 22-27.(0,3 п. л./0,2 п. л.).

5. Титов В.Ю., Скрипка В.Л. Применением методов редукции измерений при ультразвуковом контроле // XI Всероссийская научно-техническая конференция «Состояние и проблемы измерений». Москва, 2011. С. 91-92.(0,2 п. л./0,1 п. л.).

6. Титов В.Ю., Скрипка В.Л. Эффективность использования датчиков на фазированных решетках при ультразвуковом контроле // X Всероссийский совещание-семинар «Инженерно-физические проблемы новой техники». Москва, 2012.С. 82-84. (0,2 п. л./0,1 п. л.).

7. Титов В.Ю., Скрипка В.Л. Экспериментальные исследования условной протяженности и условной ширины дефектов при ультразвуковом контроле //XII Всероссийская научно-техническая конференция «Состояние и проблемы измерений». Москва, 2013.С. 112-114. (0,2 п. л./0,1 п. л.).

8. Титов В.Ю., Скрипка В.Л. Построение модели объекта измерения при ультразвуковом контроле // XI Всероссийский совещание-семинар «Инженерно-физические проблемы новой техники». Москва, 2014.С. 77-79. (0,2 п. л./0,1 п. л.).