

*На правах рукописи*

**МЕЛЕШКО НАТАЛИЯ ВЛАДИМИРОВНА**

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ  
УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ  
СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ  
С ПРИМЕНЕНИЕМ ДЕФЕКТОСКОПОВ  
С АНТЕННЫМИ РЕШЕТКАМИ  
(НА ПРИМЕРЕ КОНТРОЛЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ  
ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ МАШИН)**

Специальность 05.11.13 – Приборы и методы контроля  
природной среды, веществ, материалов и изделий

**АВТОРЕФЕРАТ**  
**диссертации на соискание ученой степени**  
**кандидата технических наук**

Москва – 2012

Работа выполнена в НУЦ «КАСКАД» МГУПИ в Государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Московский государственный университет приборостроения и информатики» (МГУПИ).

Научный руководитель: Коновалов Николай Николаевич  
доктор технических наук  
ОАО «НТЦ «Промышленная  
безопасность»,  
заместитель генерального директора

Официальные оппоненты: Самокрутов Андрей Анатольевич  
доктор технических наук  
ООО «АКС»,  
генеральный директор

Воронкова Любовь Владимировна  
кандидат технических наук  
ОАО НПО «ЦНИИТМАШ»  
Зав. лабораторией ИНМИМ

Ведущая организация: ЗАО «НИИИМ МНПО «Спектр»

Защита состоится 29 мая 2012 года в 16<sup>30</sup> часов на заседании диссертационного совета Д212.119.01 при Государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Московский государственный университет приборостроения и информатики» (МГУПИ) по адресу: 107996, г. Москва, ул. Стромынка, д. 20.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГОУ ВПО «Московский государственный университет приборостроения и информатики».

Сведения о защите и автореферат диссертации размещены на официальных сайтах ВАК Министерства образования и науки РФ <http://www.vak.ed.gov.ru> и Государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный университет приборостроения и информатики» (МГУПИ) <http://www.mgupi.ru>.

Автореферат разослан 28 апреля 2012 года.

Ученый секретарь  
Диссертационного совета Д212.119.01  
д.т.н., профессор



В.В. Филинов

# **1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

## **Актуальность**

Для обеспечения промышленной безопасности необходим комплекс мероприятий, одним из которых является улучшение качества организации процесса неразрушающего контроля (НК), в число которого входят повышение уровня подготовки персонала лабораторий НК, внедрение современных средств, а также разработка методических документов. Аппаратура, визуализирующая внутреннюю структуру материала, находит все большее применение в практике НК, но внедрение ультразвуковых дефектоскопов с антенными решетками (АР) ограничивает отсутствие соответствующей нормативно-технической документации (НТД). Поэтому исследование технологии контроля сварных соединений с применением оборудования, позволяющего проводить оценку и определение фактических размеров несплошностей, является в настоящее время актуальной проблемой.

## **Состояние проблемы**

Наиболее распространенным и востребованным физическим методом неразрушающего контроля является ультразвуковой контроль (УЗК), к одному из главных преимуществ которого можно отнести высокую вероятность выявления наиболее опасных плоскостных дефектов: трещин, непроваров и несплавов. Недостатком УЗК, кроме необходимости разработки специальных методик и технологических карт при дефектоскопии изделий различных типов, является сложная интерпретация результатов контроля.

Результатом контроля ультразвуковыми дефектоскопами с пьезоэлектрическими преобразователями (ПЭП) является эхо-сигнал от отражателя, который характеризуется амплитудой. Косвенные характеристики типа «эквивалентная площадь» и «условные размеры», определяемые для оценки степени опасности дефектов (несплошностей, не удовлетворяющих требованиям НТД) в большинстве случаев слабо связаны с реальными размерами.

В последние годы в связи с развитием вычислительной техники перспективными к применению в УЗК стали когерентные методы визуализации несплошностей. Когерентные методы используют больше информации о несплошности, что позволяет получать изображения с очень высоким разрешением – порядка длины волны, с хорошим соотношением сигнал/шум. Анализ измерений поля позволяет сделать заключение о размерах, форме и ориентации выявленной несплошности. Когерентные методы реализуются в приборах, работающих с ультразвуковыми АР.

Акустические изображения, получаемые дефектоскопами с АР, состоят в основном из набора «блестящих точек», формируемых отражающими элементами материала, в качестве которых могут выступать нормально ориентированные к лучу поверхности, уголкового отражатели, точечные и тонкие протяженные отражатели, границы трещин, поверхности с диффузным отражением и т.п. Поэтому интерпретация образов требует определенной подготовки оператора.

В результате контроля дефектоскопами с фазированными антенными решетками (ФАР) с электронным сканированием формируется секторная развертка области сканирования, на которой амплитуда эхо-сигнала от отражателя кодируется цветом. Применение дефектоскопов с ФАР позволяет излучать в объект контроля качающийся в плоскости падения ультразвуковой волны ультразвуковой луч, фокусировать его и получать изображения. В другом типе приборов с АР реализуется алгоритм фокусируемой синтезируемой апертуры (SAFT – Synthetic Aperture Focusing Technique).

Особую важность приобретает использование АР при УЗК сварных соединений небольшой толщины (от 6 до 20 мм). Существенно повышающий информативность контроля дифракционно-временной метод (ТОФД - Time Of Flight Diffraction), основанный на приеме волн, рассеянных на концах плоскостных дефектов, для объектов контроля такой толщины практически не применяется. Метод абсолютного времени прихода (ААТТ - Absolute Arrival Time Technique) в российских НТД не упоминается, методических рекомендаций при работе с АР не существует.

**Цель** данной работы – разработка и совершенствование методов и технологии ультразвукового контроля с применением дефектоскопов с антенными решетками, повышающих информативность результатов.

Для достижения поставленной цели в работе решались следующие **основные задачи**:

- определение типовых сварных соединений металлоконструкций грузоподъемных машин;
- анализ возможных методов и средств определения фактической высоты плоскостных дефектов;
- разработка типов контрольных отражателей, анализ полученных акустических изображений;
- контроль наиболее распространенных сварных соединений с их последующим вскрытием;

- анализ акустических изображений несплошностей в сварных соединениях, исследование топографии внутренних дефектов, определение информативных признаков разных типов несплошностей;
- разработка алгоритма классификации несплошностей по информативным параметрам;
- разработка «атласа дефектов», дающего возможность определять тип и размер дефектов сварных соединений, основываясь на данных, получаемых с помощью дефектоскопа, работающего с АР;
- разработка новой технологии определения фактических размеров несплошностей (высоты непровара в стыковых односторонних сварных соединениях со скосом одной кромки) по акустическим изображениям, получаемым ультразвуковым дефектоскопом с АР.

### **Методы исследования**

Данные по дефектности сварных соединений получены по результатам визуального контроля, ультразвуковой дефектоскопии и ультразвукового исследования с помощью дефектоскопов с АР, а также металлографического анализа и статистических методов обработки результатов экспериментов. Для теоретических исследований применялись математические модели трассировки лучей.

Выполненные исследования основывались на научных трудах в области неразрушающего контроля ряда отечественных и зарубежных ученых, в числе которых Н.П. Алешин, В.Т. Бобров, В.Н. Волченко, А.Х. Вopilкин, А.К. Гурвич, И.Н. Ермолов, В.В. Ключев, Н.Н. Коновалов, А.А. Самокрутов, В.Г. Шевалдыкин, В.Г. Щербинский и многие другие ученые и специалисты.

### **Научная новизна работы**

Предложен и экспериментально подтвержден способ определения фактической, а не условной высоты непроваров в односторонних стыковых сварных соединениях со скосом одной кромки по акустическим изображениям.

Разработана новая технология контроля дефектоскопами с антенными решетками, позволяющая определять размеры отражателей различного типа.

Получены дополнительные информационные признаки идентификации непровара со стороны скоса по разнице амплитуд сигналов от угла и конца непровара.

## **Практическая ценность работы**

Использование данного способа позволяет перейти в некоторых случаях от дефектоскопии к дефектометрии.

Усовершенствована нормативная база по ультразвуковому контролю сварных соединений грузоподъемных машин.

Разработаны методические рекомендации по контролю сварных соединений грузоподъемных машин.

Предложены контрольные отражатели для настройки уровня чувствительности, позволяющего обнаружить сигналы от дифракционного рассеяния на конце непровара.

Создан атлас дефектов односторонних стыковых сварных соединений со сколом одной кромки.

## **Реализация и внедрение результатов работы:**

- на основе выполненных исследований и разработок созданы паспорта на экзаменационные образцы сварных соединений для проведения экзаменов и аттестации специалистов I и II уровня в соответствии с Правилами аттестации персонала в области неразрушающего контроля (ПБ 03-440-02) для Независимого органа по аттестации персонала НУЦ «КАСКАД» МГУПИ;

- разработан для Российского общества по неразрушающему контролю и технической диагностике (РОНКТД) интерактивный расширенный курс по ультразвуковому контролю, включающий теорию и практику использования дефектоскопов с АР при контроле сварных соединений грузоподъемных машин;

- для ФГУП «НПО «Техномаш» проведена исследовательская работа, заключающаяся в сравнении возможностей различных дефектоскопов с АР, определению разрешающей способности приборов;

- на Шимкентском нефтеперерабатывающем заводе «ПетроКазахстан» опробована разработанная методика контроля сварных соединений небольшой толщины (до 20 мм);

- разработаны Методические рекомендации по ультразвуковому контролю дефектоскопами с антенными решетками сварных соединений грузоподъемных машин, утвержденные ОАО «НТЦ «Промышленная безопасность».

## **Апробация работы**

Основные результаты работы доложены и обсуждены на:

- XIX Всероссийской конференции по неразрушающему контролю и технической диагностике, г. Самара, СГАУ им. Королева, 6-8 сент. 2011;

- XIV Международной научно-практической конференции, посвященной 75-летию МГУПИ, г. Сочи, 3-7 окт. 2011;
- 2-ом Научно-практическом семинаре «Ультразвуковая томография, как метод контроля сосудов и аппаратов, трубопроводов, листового проката, а также сооружений», ОАО «НИИХиммаш» г. Москва, 3-5 окт. 2011;
- I Всероссийском конгрессе молодых ученых, Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, г. Санкт-Петербург, 10-13 апр. 2012.

### **Публикации**

По теме диссертации опубликовано 5 печатных работ, из них 1 без соавторов, 2 в журналах, признанных ВАК научными изданиями.

### **Структура и объем диссертации**

Диссертационная работа изложена на 101 странице машинописного текста, иллюстрируется 85 рисунками и состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы из 112 наименований.

### **Основные положения и результаты, выносимые на защиту:**

- обоснование возможности определения фактических размеров и расстояний между ними различных отражателей: «прорезь», «проточка», «выступ», «пропил», «несплавление», «пористость», «шлаковое включение» дефектоскопами двух типов – осуществляющих электронное сканирование и реализующих SAFT-метод;
- способ контроля стыковых сварных соединений со скосом одной кромки с оценкой погрешностей определения фактических размеров несплошностей и информационные признаки типа и размера обнаруженных несплошностей;
- технология проведения УЗК дефектоскопами с АР, включающая настройку оборудования, разработанные контрольные образцы и оценку несплошностей, позволяющая проводить дефектometriю.

## **2. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обоснованы актуальность темы диссертационной работы, своевременность разработки методологии контроля с применением АР, необходимость внедрения технологии УЗК сварных соединений, учитывающих возможности современного оборудования. Сформулированы цель, научная новизна и практическая значимость работы. Приведены сведения об апробации и о реализации результатов работы, а также основные положения и результаты, выносимые на защиту.

**В первой главе** проведен анализ конструктивно-технологических и эксплуатационных особенностей сварных металлоконструкций грузоподъемных машин и методов их контроля, выбран объект исследования.

Установлено, что сварные соединения грузоподъемных машин имеют сходные конструктивно-технологические признаки. В основном используются малоуглеродистые и низколегированные стали (ВСт3пс, ВСт3сп, 09Г2, 09Г2С, 10ХСНД, 15ХСНД, 14Г2АФ и др.). Способы сварки ограничиваются ручной дуговой, в защитном газе и под флюсом. Диапазон толщин свариваемых элементов, как правило, составляет 4÷50 мм. Основные толщины расчетных элементов конструкций: 4, 5, 6, 7, 8, 10, 12, 14, 16, 20, 22, 24, 30, 35, 40, 50 мм, — однако наиболее распространенный диапазон толщин элементов конструкций 6÷16 мм. Наряду со стыковыми сварными соединениями (С2, С4, С5, С6, С7, С8, С10, С17, С19, С21, С25) широко используют нахлесточные (Н1) и тавровые соединения (Т1, Т3, Т6, Т7, Т8, Т9), в том числе соединения с конструктивными неповарами (ГОСТ 5264–80, ГОСТ 8713–79, ГОСТ 14771–76).

Объектом исследования выбраны наиболее распространенные и с признаками, встречающимися при рассмотрении акустических изображений несплошностей при контроле других сварных соединений (разделка кромок под углом  $45^0$  или без разделки кромок), сварные соединения типа С8.

**Во второй главе** рассмотрены принципы и оценены технические возможности существующих методов контроля сварных соединений. Показано, что существующие методы контроля и браковочные нормы не вполне удовлетворяют обеспечению промышленной безопасности опасных производственных объектов.

Выбор методов УЗК проводился на основе анализа наиболее апробированных методов. При выборе учитывались: характер (вид) сварочных дефектов и их расположение, формы и размеры контролируемых элементов конструкций.

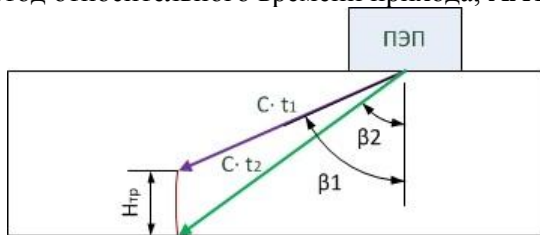
Выполнен теоретический обзор волн дифракции. Рассмотрены виды дифракции. Взаимодействие ультразвуковой волны с острыми краями трещины (концом неповара) относится к дифракции I типа, рассмотрены законы геометрической теории дифракции (ГТД), сделаны выводы по точным решениям для рассеяния на краю трещины. Решение задачи дифракции ищется в виде сумм полей лучевого типа



$$U = \sum U_n = \sum A_n \cdot e^{jkS_n},$$

где  $U$  – суммарное волновое поле,  $U_n$  – составляющая волнового поля,  $k$  – волновое число,  $S_n$  – функция, определяющая фазовую структуру поля,  $A_n$  – амплитуда. Коэффициенты дифракции находятся из анализа точного решения для сходной по геометрии поверхности. Любая несплошность формирует дифракционные поля, т.е. в каждой точке пространства вокруг дефекта существует дифракционное поле.

Рассмотрены методы, основанные на использовании волн дифракции, а также существующие технологии определения размеров дефектов с применением явлений дифракции: TOFD, RATT (Relative Arrival Time Technique) – метод относительного времени прихода, AATT (Рисунок 1).



**Рисунок 1** Схема метода абсолютного времени прихода (ААТТ)

Суть метода ААТТ заключается в том, что используется информация о времени прихода сигнала от корня трещины и от ее вершины. Высота трещины определяется по формуле:

$$H_{mp} = C \cdot t_2 \cdot \cos \beta_2 - C \cdot t_1 \cdot \cos \beta_1,$$

где:  $H_{mp}$  – высота трещины;  $C$  – скорость ультразвуковых волн;  $t_1$  – время, пройденное лучом от точки выхода ПЭП до вершины трещины;  $t_2$  – время, пройденное лучом от точки выхода ПЭП до корня трещины;  $\beta_1$  – угол, под которым получен сигнал от вершины трещины;  $\beta_2$  – угол, под которым получен сигнал от корня трещины.

Автором было предложено для измерения высоты непроваров в типовых сварных соединениях грузоподъемных машин использовать аналог метода ААТТ при контроле дефектоскопами с АР.

В существующих руководящих документах по контролю с помощью АР применяют амплитудный критерий, причем используется в подавляющем большинстве случаев только эхо-метод. При выборе браковочного уровня руководствуются рекомендациями, данными для контроля ПЭП. Например, в качестве браковочного уровня выбирают сигнал от плоского отражателя типа «зарубка», но при работе с АР

помимо одного углового сигнала может присутствовать сигнал и от рассеяния на конце «зарубки».

В зарубежных нормативных документах часто в качестве браковочного уровня выбирается цилиндрический отражатель и предлагается использовать для настройки и калибровки именно этот тип, однако, как известно, он плохо имитирует наиболее опасные дефекты сварных соединений – непровары, несплавления, трещины.

**В третьей главе** рассмотрены принципы действия и конструкция существующих ультразвуковых АР (Таблица 1), проанализированы достоинства и недостатки каждого типа.

Выполнена работа по оценке разрешающей способности, получены акустические изображения отражателей разного типа (Рисунок 2) – «цилиндрическое отверстие», «прорезь», «выступ», «проточка», «пропил» (Таблица 2), а также изображения типовых дефектов – несплавлений по кромке, пористости, шлаковых включений.

Решетки с приборами, осуществляющими электронное сканирование, называются по аналогии с радарными фазированными (ФАР), однако фазировка достигается за счет управления временным интервалом начала возбуждения каждого элемента фазированной антенной решетки, а не за счет сдвига фаз. Во всех представленных на рынке оборудовании с ФАР для ручного контроля дефектоскопах не предусмотрена динамическая фокусировка.

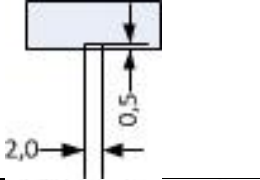
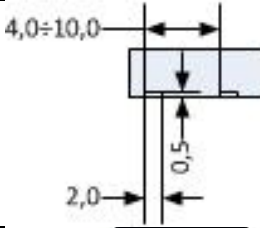
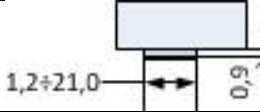
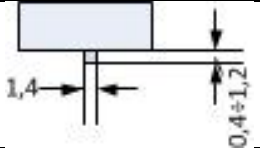
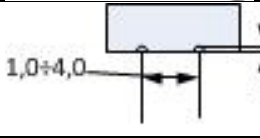
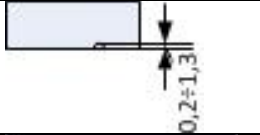
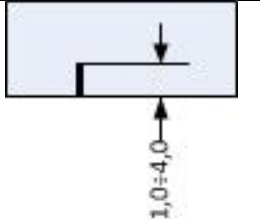
**Таблица 1**

**Дефектоскопы с антенными решетками**

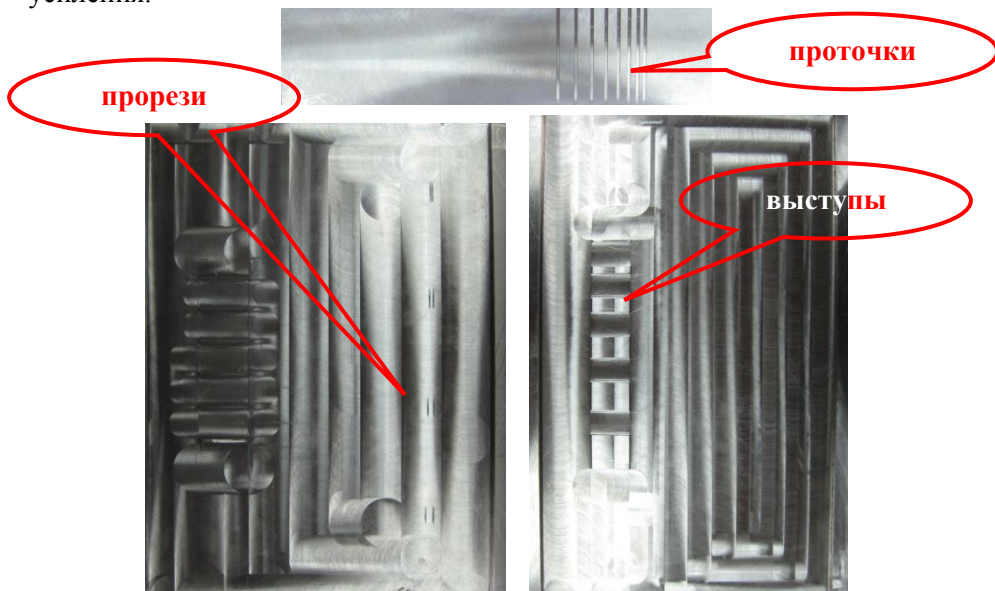
<b>Тип прибора</b>	<b>Производитель</b>	<b>Тип сканирования</b>	<b>Тип фокусировки</b>
X-32	Harfang Microtechniques	Электронное	Глубина смещение, путь
OmniScan	Olympus	Электронное	Глубина
Phasor-XS	фирмы GE Inspection Technologies	Электронное	Путь
Isonic 2009 UPA-Scope	Sonotron NDT	Электронное	Путь, смещение
A1550 IntroVisor	ООО «АКС»	SAFT	Виртуальная

Таблица 2

## Типы отражателей для оценки возможностей АР

Тип отражателя	Схематическое изображение	Задача
Проточка		Измерение ширины и высоты Ширина 2 мм Высота 0,5 мм
		Измерение расстояния между проточками от 4,0 до 10,0 мм
Выступ		Измерение ширины выступа от 1,2 до 21 мм
		Измерение высоты выступа от 0,4 до 1,2 мм
Прорези		Определение расстояния между прорезями 1, 2, 3, 4 мм
		Измерение глубины прорези от 0,2 до 1,3 мм
Пропилы		Измерение высоты пропила от 1,0 до 4,0 мм

Чем больше элементов в ФАР, тем лучше фокусировка, однако увеличение апертуры ограничивает обследование сварных соединений небольшой толщины (6÷16 мм), требует контроль как минимум на двукратно отраженных лучах, а то и более. Но с учетом того, что фокусирование работает в ближней зоне, возможно, ФАР покажут хорошие результаты при контроле сварных швов со снятым валиком усиления.



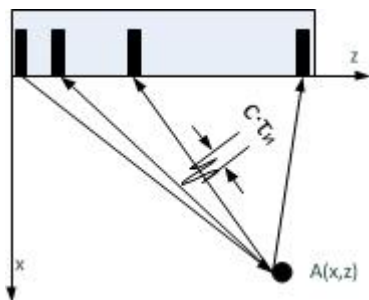
**Рисунок 2** Образцы с отражателями типа «проточка», «прорезь», «выступ»

Основное преимущество оборудования, реализующего SAFT метод, - это возможность фокусировки в каждую точку объекта контроля.

Для получения изображения в т.  $A(x, y)$  из каждой записанной реализации выбирается фрагмент длительностью  $\tau_u$  с временем задержки  $t_{A_i,j}$ . Все эти фрагменты содержат эхо-импульсы от отражателя в т.  $A(x,z)$ , полученные при разных ракурсах падения в эту точку и отражения (Рисунок 3).

Выбранные фрагменты совмещаются по времени  $t$  с точностью до фазы и суммируются:

$$u_A(t) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n u_{i,j}(t - t_{A_{i,j}}), \forall t \in [t_{A_{i,j}}, t_{A_{i,j}} + \tau_u].$$



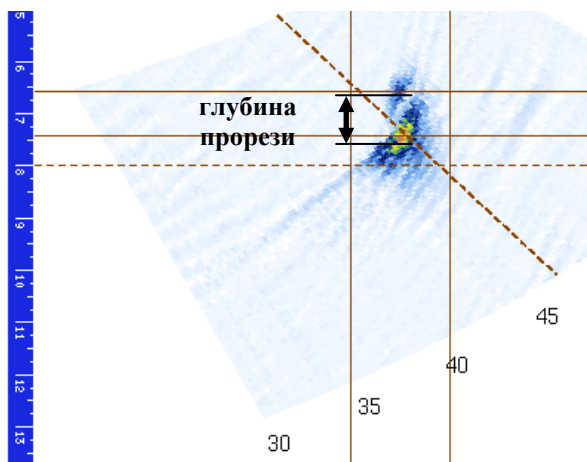
**Рисунок 3** Схема распространения лучей от излучающих элементов к отражателю в т.  $A(x,z)$  и обратно

Вычисляется огибающая результирующего эхо-импульса, максимум функции записывается в память прибора. Этому значению присваивается определенный цвет или яркость т.  $A(x,y)$  на экране прибора.

Алгоритмы обработки сигналов для улучшения визуализации несплошностей не всегда идеальны и могут терять информационные признаки. Автором анализировались все сигналы, попавшие в область сканирования, без использования алгоритмов, предложенных производителями (например, «режим приповерхностных дефектов», «режим вертикальных трещин» и др.). Однако при разработке информационных признаков иногда эти алгоритмы полезны.

Результаты контроля двумя типами приборов («Х-32» и «А1550 IntroVisor») оказались сопоставимыми. Четко различаются фокусные пятна цилиндрических отверстий диаметром 1 и 1,5 мм, расположенных на расстоянии  $2,5^0$  по радиусу 25 мм и 3 мм на глубине от 10 до 25 мм. Определив координаты отражателей, можно измерить расстояние между ними.

Рассмотрена возможность определения фактических размеров отражателей типа «проточка», «прорезь», «выступ» с помощью ультразвуковых дефектоскопов. Показано, что уверенно измерять фактические размеры отражателей возможно от 1 мм. Отражатели, находящиеся на расстояниях более 1 мм друг от друга, разрешались и измерялись также удовлетворительно.



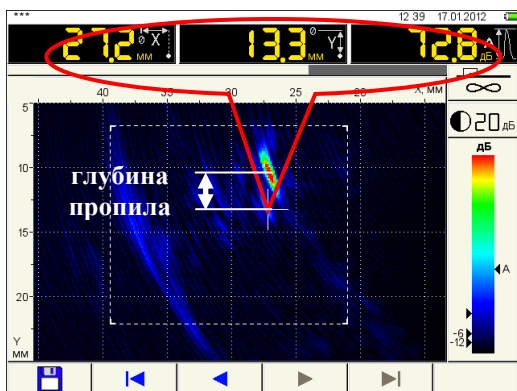
**Рисунок 4 Изображение на X-32 при измерении глубины прорези (0,9 мм) на образце**

Качественно выполнена оценка акустических изображений различных типов дефектов сварных соединений (несплавление по кромке, шлаковое включение, пористость и др.), выделены некоторые информационные признаки. Например, при наличии несплавления по кромке на экране наблюдается фокусное пятно в направлении, перпендикулярном центральному лучу в секторе сканирования, вытяженное. Если уменьшать чувствительность, пятно преобразуется в точку, но при увеличении чувствительности при некотором значении оно не будет изменяться в размере.

Измерение амплитуды в «X-32» осуществлялось следующим образом. Определялся угол, на котором выявлялось максимальное значение, сигнал устанавливался на стандартный уровень (50% экрана), и записывалось показание аттенюатора. При работе с «A1550 IntroVisor» программное обеспечение выдавало значение максимального сигнала. Амплитуда от несплавления по кромке оказалась максимальной, а для выявления пористости чувствительность следовало увеличивать более чем на 20 дБ.

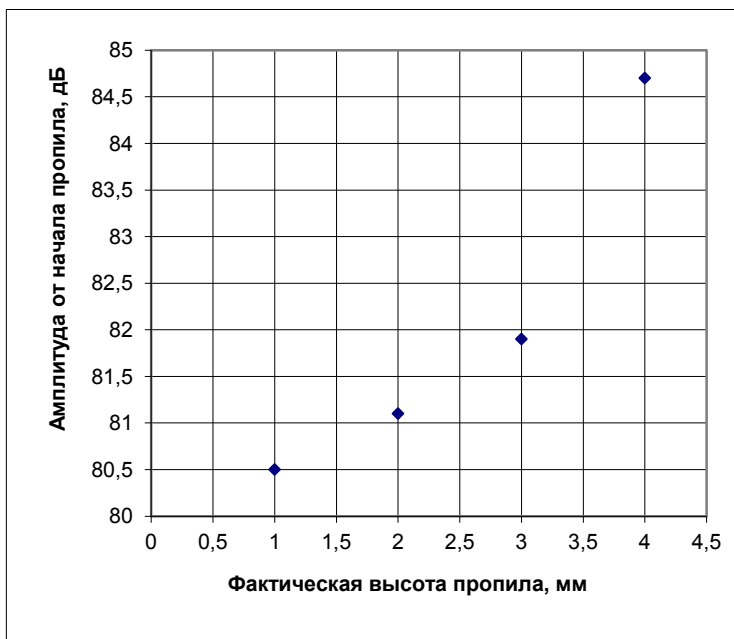
В четвертой главе приведены практические результаты. Исследования проводились на образцах односторонних сварных соединений со скосом одной кромки (типа С8 по ГОСТ 5760-80, ГОСТ 8713-79, ГОСТ 14771-76).

Перед проведением контроля на образцах сварных соединений были выполнены минимально возможной ширины «пропилы» высотой 1, 2, 3 и 4 мм. Исследовалась возможность и точность измерения фактической глубины пропила, а также связь амплитуды от угла и от дифракционного рассеяния на вершине пропила (Рисунок 5).



**Рисунок 5 Координаты и амплитуда сигналов от вершины пропила высотой 3 мм**

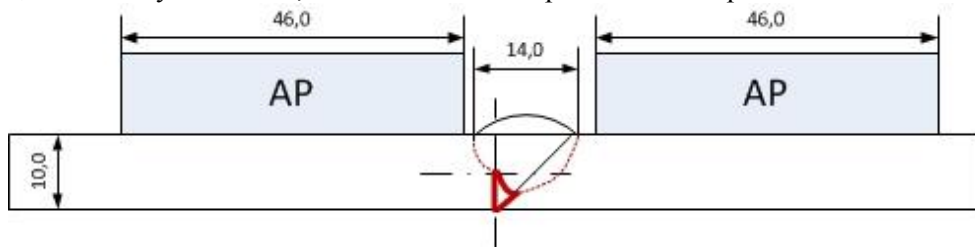
Погрешность измерения глубины пропила по расстоянию между амплитудами фокусных пятен составляет менее 5%. При небольшой высоте пропила (до 5 мм) показано, что чем больше глубина пропила, тем больше амплитуда сигналов от начала пропила (Рисунок 6). Разница амплитуд между сигналами от начала и вершины пропила составляет более 6 дБ.



**Рисунок 6 Зависимость амплитуды сигналов от вершины пропилов**

При контроле сварных соединений толщиной 10÷16 мм антенной решеткой с рабочей поверхностью с неснятым валиком усиления возможно отображение сигналов только на отраженных лучах. Получены акустические изображения различного размера непроваров как со стороны скоса, так и со стороны без скоса кромок (Рисунок 7).

Непровар в образцах после вскрытия, как правило, располагается с двух сторон, реже – только со стороны без скоса. Непровар только со стороны скоса был получен, когда присутствовали пора диаметром 2,5 мм на глубине 5 мм, вышедшая на поверхность со стороны скоса.



**Рисунок 7 Схема контроля стыковых сварных соединений со скосом одной кромки**



Наиболее понятно интерпретируется акустическое изображение, получаемое при контроле со стороны без скоса кромки при непроваре высотой более 1,5 мм (Рисунок 8).

На акустическом изображении (Рисунок 9) присутствуют два фокусных пятна, одно из которых (более яркое) является сигналом от углового отражателя, образованного гранями пластины, другое – результат дифракционного рассеяния на вершине непровара. По расстоянию между ними можно с точностью не менее 25% определить высоту непровара (Рисунок 10).

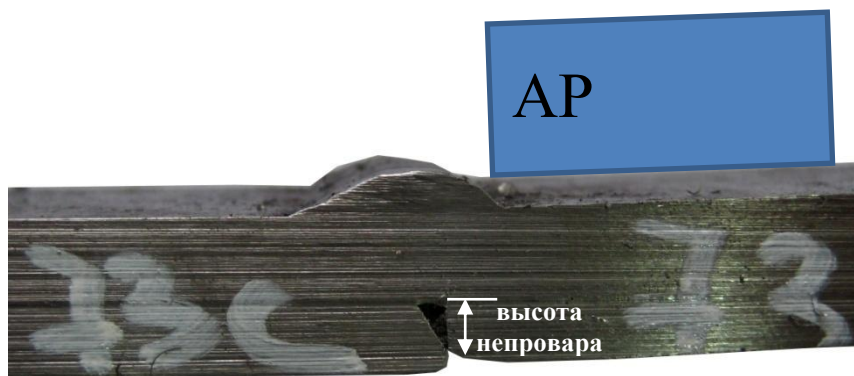


Рисунок 8 Контроль со стороны без скоса

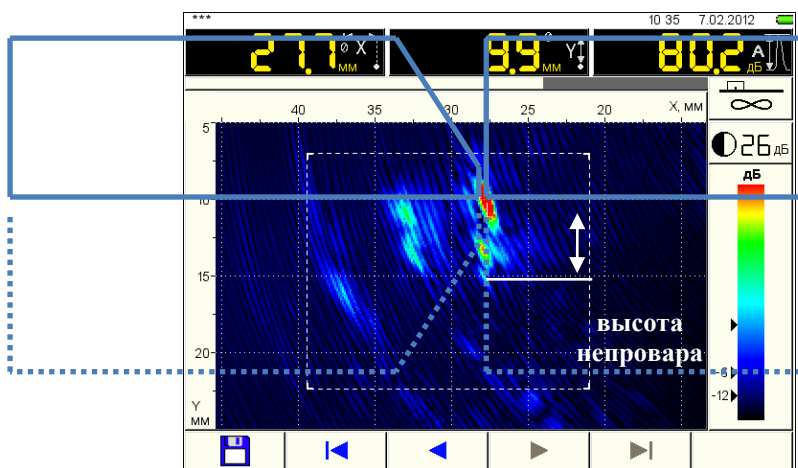
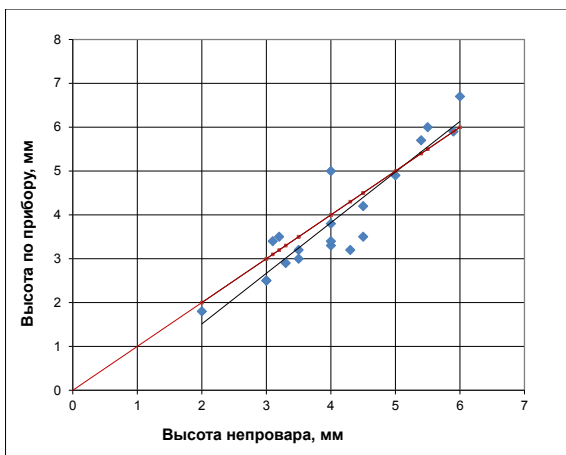


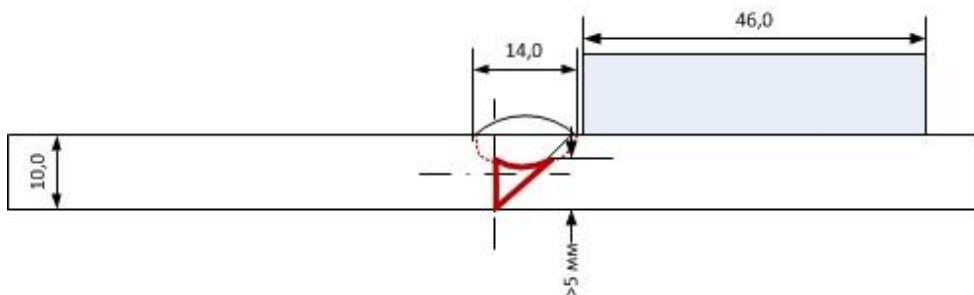
Рисунок 9 Акустическое изображение непровара при контроле со стороны без скоса кромок

При контроле со стороны скоса кромок результаты интерпретируются не столь однозначно. Может получиться несколько видов изображений в зависимости от размеров непроваров, их конфигурации.

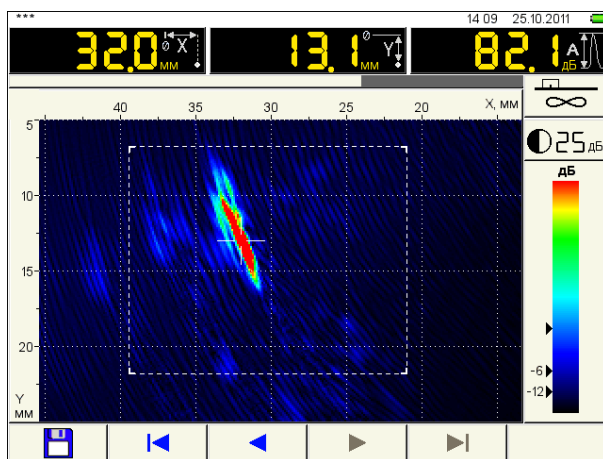
Если непровар только со стороны без скоса, то изображение получается идентично, как при контроле со стороны без скоса, с двумя фокусными пятнами от начала и конца непровара. Если размер непровара со стороны скоса более 5 мм, то наиболее вероятно появление одного фокусного пятна, полученного от скоса кромки (Рисунок 11, Рисунок 12). В этом случае возможна только качественная оценка размера непровара.



**Рисунок 10** Зависимость фактической высоты непровара от измеренной при контроле со стороны без скоса кромок

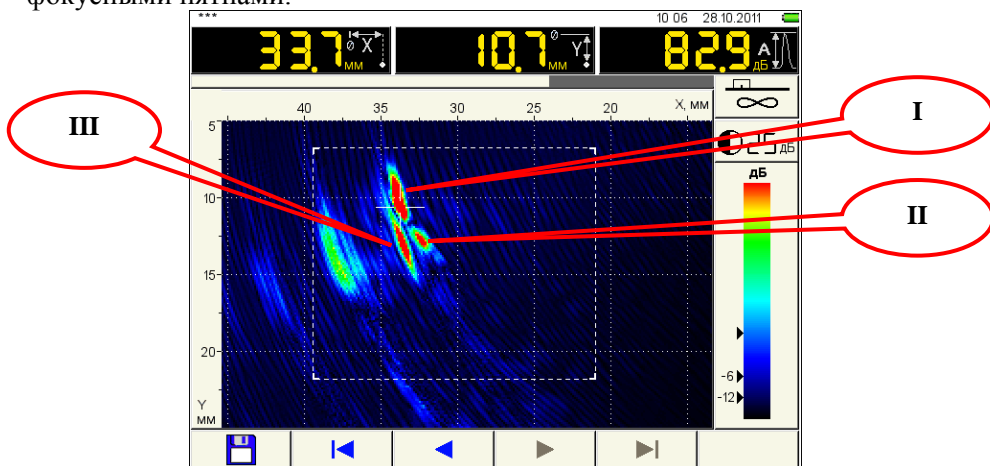


**Рисунок 11** Схема контроля со стороны скоса кромки



**Рисунок 12** Акустическое изображение непровара высотой 5 мм при контроле со стороны скоса кромок

Наиболее часто встречающиеся непровары, высоту (от 1,5 мм) которых возможно измерить предложенным методом (Рисунок 14, Рисунок 15), дают акустическое изображение (Рисунок 13) с тремя фокусными пятнами.



**Рисунок 13** Акустическое изображение непровара (с двух сторон) высотой 3 мм на расстоянии 132 мм при контроле со стороны скоса



**Рисунок 14 Вид образца со стороны скоса после вскрытия**



**Рисунок 15 Вид образца со стороны без скоса после вскрытия**

Определив координаты фокусных пятен (Рисунок 13), можно сказать, что фокусное пятно I характеризует сигналы от угла. Фокусное пятно II образовано однократно отраженными (и более) лучами. Фокусное пятно III при соотнесении с координатами соответствует сигналу от конца непровара со стороны без скоса, полученному многократно отраженными лучами.

Как уже упоминалось ранее, все сигналы получаются путем суммирования всех откликов от всех объектов, которые могут быть отражателями. В диссертации были получены акустические изображения различного вида, соотнесены результаты УЗК с металлографическим анализом, а также даны рекомендации по идентификации типа и фактического размера несплошностей на типовом оборудовании. На основе измерений можно предполагать природу возникновения тех или иных сигналов.

Решетки любого типа удобны при экспертном контроле, для быстрого поиска несплошностей. Например, при контроле сварных соединений АР

толщиной 10 мм время сканирования уменьшается в 15 раз по сравнению с контролем ПЭП. Решетки повышают выявляемость дефектов, неблагоприятно ориентированных к указанному в нормативно-техническом документе углу ввода ПЭП.

### **Основные результаты работы**

1. Разработанный метод позволил расширить возможности ультразвукового контроля по измерению фактических размеров отражателей типа «проточка», «прорезь», «выступ» от 1 мм, а также расстояний между ними.

2. Определение высоты отражателя типа «пропил», имитирующего непровар, измеряется по расстоянию между фокусными пятнами от сигналов, полученных от начала пропила и сигналов дифракционного рассеяния на вершине с точностью не менее 5%.

3. Со стороны без скоса высота непровара определяется по разнице координат сигналов от двугранного угла пластины и конца непровара (за счет дифракционного рассеяния) со стороны без скоса.

4. Измерение высоты непровара (от 1,5 мм до 5 мм) со стороны скоса при наличии непровара с двух сторон осуществляется по разнице координат сигналов от угла и конца непровара со стороны скоса.

5. Дополнительный информационный признак идентификации непровара со стороны без скоса – разница амплитуд сигналов от угла и конца непровара. По результатам контроля разница должна составить более 5-6 дБ. Также обнаруживаются поры диаметром более 2,5 мм, разница амплитуд сигналов от угла и от пор менее 3 дБ.

6. Предложены контрольные отражатели (пропилы) для настройки требуемой чувствительности для выполнения измерений при контроле дефектоскопами с антенными решетками.

7. Доказана и подтверждена возможность для некоторых типов несплошностей определять фактическую величину, а не предусмотренные в нормативно-технической документации условные и эквивалентные размеры.

8. Использование ультразвуковых дефектоскопов с антенными решетками позволяет в ряде случаев на основе измерений расстояний между фокусными пятнами на акустических изображениях перейти от дефектоскопии к дефектометрии.

9. Анализ акустических изображений, получаемых при контроле антенными решетками, дает дополнительные информационные признаки, позволяющие идентифицировать характер выявленных дефектов.

10. Разработан «атлас дефектов» для идентификации типа и размера (топографии) несплошности по акустическому изображению в стыковых односторонних сварных соединениях со скосом одной кромки.

### **3. СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ, ОТРАЖАЮЩИХ ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ**

#### **Статьи в изданиях, рекомендованных ВАК РФ:**

1. Мелешко Н.В., Петров А.А., Шитиков В.С., Мезенцев Е.Д. Обнаружение и оценка размеров отражателей различного типа дефектоскопами с фазированными антенными решетками.// Вестник МЭИ. – №2. - 2012. - С. 91-94.
2. Коновалов Н.Н., Мелешко Н.В. Примеры визуализации несплошностей в односторонних стыковых сварных соединениях при ультразвуковом контроле дефектоскопом с антенной решеткой.// Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. - №3(293). - 2012. – С. 140-147.

#### **Публикации в журналах и сборниках научных трудов, материалах конференций:**

3. Коновалов Н.Н., Мелешко Н.В. Визуализация дефектов сварных соединений при ультразвуковом контроле фазированными антенными решетками.// MEGATECH Новые технологии в промышленной диагностике и безопасности. - №2-3. – 2011. - С. 24-28.
4. Мелешко Н.В. Особенности практического применения ультразвуковых дефектоскопов, работающих с фазированными антенными решетками.// XIV Международная научно-практическая конференция (г. Сочи). -2011. - Научные труды.- С. 147-152.
5. Коновалов Н.Н., Мелешко Н.В. Ультразвуковой контроль односторонних стыковых сварных соединений при использовании антенных решеток.// Промышленность и безопасность. - №3 (43). – 2012. - С. 56-60.

**Подписано в печать 27.04.2012г. Формат 60x84. 1/16.  
Объем 1 п.л. Тираж 100 экз. Заказ №54  
Московский государственный университет  
приборостроения и информатики  
107996, Москва, ул. Стромьнка, 20**