

На правах рукописи
УДК620.179Л6

Щербаков Андрей Алексеевич

**ИССЛЕДОВАНИЕ И УНИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ
ПРОВЕРКИ РАБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК УЛЬТРАЗВУКОВЫХ
ДЕФЕКТΟΣКОПОВ В ПРОЦЕССЕ КОНТРОЛЯ ИЗДЕЛИЙ**

Специальность: 05.02.11 - «Методы контроля и диагностика в
машиностроении»

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

МОСКВА - 2004

Работа выполнена в Федеральном государственном унитарном предприятии «Государственный научный центр Российской Федерации - Научно-производственное объединение по технологии машиностроения (ЦНИИТМАШ)» ФГУП «ЦНИИТМАШ»

Научный руководитель:

Доктор технических наук, профессор

Ермолов

Игорь Николаевич

Официальные оппоненты:

Доктор технических наук, профессор

Вопилкин

Алексей Харитонович

кандидат технических наук

Вадковский

Николай Николаевич

Ведущая организация:

ОАО «НИИХИММАШ»

Защита состоится 21 декабря 2004 г. в 14 часов на заседании диссертационного совета Д.217.042.03 ФГУП «ЦНИИТМАШ» в зале заседаний № 403 по адресу:

115088, Москва, ул. Шарикоподшипниковская, 4

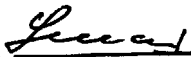
С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГУП «ЦНИИТМАШ»

Автореферат разослан 9 ноября 2004 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета,

кандидат технических наук



Ушаков В.М.

2005-4
23858

Актуальность работы.

940251

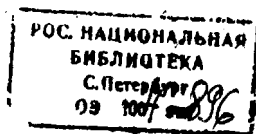
Важным звеном в обеспечении промышленной безопасности является комплексная система обеспечения эффективного и качественного неразрушающего контроля (НК). Качество НК характеризуется степенью достижения цели и зависит от правильности выбора основных параметров контроля и точности их соблюдения в процессе контроля. Гарантировать сохранение параметров контроля в заданных пределах можно только периодической проверкой выбранных параметров по единообразным методикам на соответствие установленным нормам. При этом проверка с помощью электронных средств, проблематична в условиях эксплуатации.

В стране сложилась ситуация [16, 17], когда объемы ультразвукового контроля весьма велики.

Отсутствие регламентируемой номенклатуры обязательных характеристик ультразвукового дефектоскопа общего назначения (УЗДОН) приводит к отсутствию единообразия при выборе проверяемых характеристик прибора у различных производителей и по средствам и по методам проверки и при выпуске и при периодической проверке в процессе эксплуатации изделия.

Отсутствие единообразия при периодической проверке рабочих характеристик УЗДОН на соответствие установленным нормам создает проблему, заключающуюся в отсутствии единства при определении параметров дефектов.

Учитывая возможные материальные потери от аварий оборудования ответственного назначения и решающую роль качественного ультразвукового контроля в деле своевременного предупреждения аварий, поставлена задача оптимизация методов проверки контролируемых характеристик для системы УЗДОН — кабель - преобразователь (ПЭП) в процессе ультразвукового контроля без привлечения электронных измерительных средств.



Разработка соответствующих средств и реализация этих средств в методиках так, чтобы методики обеспечивали возможность проверки различных систем дефектоскоп - ПЭП по единым характеристикам независимо от фирмы-изготовителя на разных стадиях производства и эксплуатации контролируемого изделия имеет большую народно-хозяйственную и социальную значимость.

Цель и задачи работы.

В связи с изложенным, **целью** данной работы является оптимизация методов проверки контролируемых характеристик для системы УЗДОН - кабель - ПЭП в процессе ультразвукового контроля без привлечения электронных измерительных средств, что обеспечит единство при определении параметров дефектов на разных стадиях производства и эксплуатации контролируемого изделия, что позволит предупредить аварии при продлении ресурса технологического оборудования ответственного назначения.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи:**

- разработать унифицированную методику определения характеристик системы УЗДОН - кабель - ПЭП, обеспечивающую возможность потребителю без привлечения дополнительных электронных средств обоснованно судить о соответствии параметров контроля номинальным значениям и единообразии результатов контроля на разных стадиях производства и эксплуатации контролируемого изделия;

провести теоретическое исследование с использованием математического моделирования проблем:

1. Зависимости эффективной частоты от типа используемой нагрузки;
2. Отличия значений эффективной частоты, полученной путем вычисления периода и по максимуму спектра;
3. Оптимальности выбора уровня 0,5 видеопульса при определении разрешающей способности по дальности и реализуемость в этом случае критерия разрешения по уровню 6 дБ;

- разработать механические устройства, обеспечивающее выполнение измерения частоты и разрешающей способности по дальности с погрешностью, необходимой для методик эксплуатационного контроля;

Предлагаемая диссертация представляет собой последовательное решение поставленных задач.

Объектом исследования является единство при определении параметров дефектов на разных стадиях производства и эксплуатации контролируемого изделия.

Предметом исследования является оптимизация методов проверки контролируемых характеристик для системы УЗДОН - кабель - ПЭП в условиях их производства и эксплуатации.

В диссертации защищаются следующие положения:

Обоснование выбора функциональной модели УЗДОН в процессе эксплуатации [6,9,16-20] и выбор характеристик, подлежащих контролю.

Обоснование оптимальных алгоритмов определения контролируемых в процессе эксплуатации УЗДОН характеристик [2,3,5-10].

Результаты исследований и рекомендации по унификации методов и средств определения рабочих характеристик УЗДОН с целью совершенствования нормативных документов [1,11,15,21 - 24].

Разработка унифицированной методики определения характеристик системы УЗДОН - кабель - ПЭП в процессе эксплуатации без привлечения электронных средств [4,10,12 -14].

Законодательный аспект требований к качеству НК [16,17].

Научная новизна.

1. Обоснованы оптимальные алгоритмы определения характеристик системы УЗДОН - кабель - ПЭП, которые позволяют без привлечения электронных средств обоснованно судить о соответствии параметров контроля номинальным значениям, что позволяет обеспечить единообразие результатов ультразвукового контроля с помощью системы УЗДОН - кабель - ПЭП независимо от фирмы - изготовителя на разных стадиях производства и эксплуатации контролируемого изделия.

2. Введено единое понятие рабочей частоты контроля: определяется по периоду эхо - радиоимпульса с наибольшей амплитудой;

3. Обоснована регламентация зависимости амплитуды принятого эхо-сигнала А от модели дефекта в качестве функциональной модели УЗДОН в процессе ультразвукового контроля. Для количественного описания сигналов от моделей дефектов обосновано применение АРД - диаграммы в качестве средства сравнения.

4. Установлена причина избыточности периодически проверяемых органами Госстандарта параметров УЗДОН и ПЭП, заключающаяся в отсутствии у поверителей информации о стандартах на методику ультразвукового контроля продукции, что не позволяет поверителю рассматривать УЗДОН как дефектоскоп специализированный (УЗДС) и, соответственно, не позволяет упрощать метрологическое обеспечение системы УЗДОН - кабель - ПЭП.

5. На основании теоретического исследования:

- установлено, что рабочая частота эхо - импульсов может существенно отличаться для различных акустических нагрузок, причем отклонение ее от номинальной зависит от величин последних. Установлено, что частоты, определяемые по импульсу и по его спектру (в максимуме), также могут весьма заметно различаться (до 30%);

- разработаны интерферометрические устройства (ванны), позволяющие повысить качество при определении параметров дефектов за счет уменьшения погрешности определения рабочей частоты в 3-й раз по сравнению с

определением рабочей частоты интерференционным методом от отражателей в образце и, за счет измерения интерференционным методом лучевой разрешающей способности и длительности импульса, которые непосредственно участвуют при определении параметров дефектов;

- установлено, что погрешность измерения частоты в ванне не превышает 3,5 % на частоте 5 МГц и с понижением частоты пропорционально уменьшается;

- установлено, что измерения лучевой разрешающей способности по длительности эхо-сигнала на уровне 0,5 дают заниженную величину, при относительной задержке импульсов на которую их фактическое разрешение не имеет места.

5. Выявлен метрологический аспект в системе качества, законодательно закрепляющий за средствами контроля статуса средств измерений.

Теоретической и методологической основой диссертации послужили научные труды отечественных авторов в области общей теории и практики контроля качества продукции: доктора технических наук, профессора Ермолова И.Н.; члена корреспондента РАН Алешина Н.П.; доктора технических наук, профессора Гурвича А.К.; доктора технических наук Данилова В.Н.; доктора технических наук, профессора Евланова Л.Г.; доктора технических наук, профессора Исаева Л.К.; члена корреспондента РАН Ключева В.В.; доктора технических наук, профессора Химченко Н.В.; доктора технических наук, профессора Шрайбера Д.С.; доктора технических наук, профессора Щербинского В.Г.; доктора технических наук, профессора Райхмана А.З.; доктора технических наук, профессора Волченко В.Н.; доктора технических наук Бабаджанова Л.С.; доктора технических наук, профессора Вopilкина А.Х.; доктора технических наук, профессора Гитиса М.Б.; кандидата технических наук Козлова В.В.; кандидата технических наук, доцента Кузьминой Л.И.; кандидата технических наук Кусакина Н.А.; кандидата технических наук Муравской Н.П.; кандидата технических наук Панина В.И. и др., а так же использовались

статистические методы, методы сравнения, анализа и математического моделирования.

Практическая значимость.

; < 1. Разработана методика поверки ультразвуковых дефектоскопов без привлечения электронных средств. Методика используется как при первичной поверке дефектоскопа (при поступлении в эксплуатацию), так и при их оперативной поверке в условиях эксплуатации. Методика внедрена и в РД 34.17.302-97. «Руководящий документ. Котлы паровые и водогрейные. Трубопроводы пара и горячей воды, сосуды. Сварные соединения. Контроль качества. Ультразвуковой контроль. Основные положения» (ОП 501 ЦД-97) и в ОСТ 108.958.03-96. «Поковки стальные для энергетического оборудования. Методика ультразвукового контроля» (РД 27.28.001.01-96).

2. Предложена методика поверки аттенюатора УЗДОН типа УД2-12 не требующая электронных средств.

3. Предложены технические решения при определении высоты плоскостных дефектов, находящихся вблизи контактной и донной поверхностей, что совместно с методом «тандем» существенно повышает качество контроля изделия.

4. Разработан интерференционный способ измерения частоты упругой волны и лучевой разрешающей способности, не требующий применения радиоизмерительной аппаратуры.

5. Разработано устройство в виде интерферометрической ванны для измерения частоты упругой волны и лучевой разрешающей способности.

6. Обоснован критерий при оценке разрешающей способности дефектоскопов с преобразователем: в интервале между максимумами эхо-сигналов уровень суммарного сигнала должен быть в два или более раз меньше, чем в максимумах.

7. Выполнен анализ состояния нормативно-технической документации, относящейся к метрологическому обеспечению ультразвуковой дефектometрии.

Даны рекомендации [16, 17] по совершенствованию нормативных документов, которые заключаются в том, что термины и определения ГОСТ 23829-85 не должны противоречить терминологии РМГ 29-99, ГОСТ 16504-81, ГОСТ 14782-86, РД ЭО 0318-01, ПНАЭ Г-7-014-89, РД 34.17.302-97 и др.

Реализация работы.

Результаты работы использованы в методиках поверки серийно выпускаемых современных ультразвуковых дефектоскопов типа «СКАНЕР» (СКАН2.00.00.000 РЭ) и типа УДЦ201П (3201.00.000РЭ), которые прошли сертификацию Госстандартом России и занесены в Госреестр в виде отдельной главы руководств по эксплуатации данных приборов. Методика поверки дефектоскопа типа УД2-12 (МЦУ-6-91) согласована с Бел. ЦСМ, номенклатура проверяемых параметров полностью включает предусмотренную в ПНАЭГ-7-014-89 Госатомэнергонадзора СССР, допущена к применению на подведомственных Госатомнадзору и Госкотлнадзору объектах и внедрена в РД 34.17.302-97. «Руководящий документ. Котлы паровые и водогрейные. Трубопроводы пара и горячей воды, сосуды. Сварные соединения. Контроль качества. Ультразвуковой контроль. Основные положения» (ОП 501 ЦД-97) и в «ОСТ 108.958.03-96. Поковки стальные для энергетического оборудования. Методика ультразвукового контроля» (РД 27.28.001.01-96).

Методики поверки используются как при первичной поверке дефектоскопа (при поступлении в эксплуатацию), так и при их оперативной поверке в условиях эксплуатации. Кроме того, результаты работы использованы в акустическом блоке и в программе обработки информации дефектоскопов типа «СКАНЕР».

Апробация работы.

Результаты исследования и основные положения работы докладывались и получили одобрение на 6 отечественных конференциях и

семинарах: 10-й Всесоюзной научно-технической конференции «Методы и средства повышения информативности и достоверности результатов ультразвуковой дефектоскопии сварных металлоконструкций» , 1989; 12-й Всесоюзной конференции «Неразрушающие физические методы и средства контроля» , 1990; 13-й Научно-технической конференции «Неразрушающие физические методы и средства контроля», 1993; 14-й Всесоюзной научно-технической конференции «Методы и средства повышения информативности и достоверности результатов ультразвуковой дефектоскопии сварных металлоконструкций» , 1992; 1-м Всероссийском научно-техническом семинаре «Метрологическое обеспечение в области неразрушающего контроля» , 1999; 2-м Всероссийском научно-техническом семинаре «Метрологическое обеспечение в области неразрушающего контроля», 2000.

Публикации.

По материалам диссертации опубликовано 24 работы, в том числе 1 авторское свидетельство на изобретение.

Структура и объем работы.

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы из 170 источников, 3 приложений и содержит 105 страниц текста, 30 рисунков, 1 таблицу.

Во введении обоснована актуальность диссертационной работы, сформулированы цели и задачи исследований, приведены основные положения, вносимые на защиту, и описана структура диссертации. Автор воспользовался правом ссылок на свои опубликованные работы, что за счет минимизации «листажа» с опубликованным ранее материалом без ущерба качеству диссертации позволило четко выделить личный вклад в постановку задач, объяснение результатов и их внедрение.

Первая глава посвящена разработке унифицированной методики определения характеристик системы УЗДОН - кабель - ПЭП, обеспечивающей возможность потребителю без привлечения дополнительных электронных средств обоснованно судить о соответствии параметров контроля номинальным значениям.

Нуриев Ф.Н., Перлатов В.Г., Антипин В.Е., Гусаров В.Р., Зубатый Б.Л., Гринберг И.С., Козлов В.В., Панин В.И. и др. считали, что номенклатуру контролируемых характеристик дефектоскопа должна определять целевая функция назначения (УЗДОН или УЗДС). При известном объекте контроля (известной методике контроля объекта), методика по контролю характеристик дефектоскопа является составной частью технического описания дефектоскопа (УЗДС).

Ко времени разработки стандартов ГОСТ 23667-79 и ГОСТ 23049 - 78 существовали серьезные противоречия в требованиях потребителей. Эти противоречия привели к расширению требований к номенклатуре характеристик дефектоскопа (УЗДОН).

Горюнов С.Н., Данилов В.Д., Ермолов И.Н., Кретов Е.Ф., Щербаков А.А. и др. показали избыточность периодическиверяемых органами Госстандарта характеристик УЗДОН и ПЭП с точки зрения соотношения результатов поверки и результатов контроля изделия.

Опираясь на результаты приведенного в главе 1 аналитического обзора и на предшествовавший многолетний опыт работы в отделе неразрушающего контроля НПО ЦНИИТМАШ, автор считает, что настройка УЗДОН по стандартизованным моделям дефектов (ГОСТ 14782-86 и ГОСТ 24507-80) либо по АРД - диаграммам (ГОСТ 23829-85) является достаточным основанием считать УЗДОН дефектоскопом специализированным (УЗДС), тогда, обозначив амплитуду эхо - сигнала от модели несплошности буквой А, можем записать:

размер несплошности = $F(A)$ - функциональная модель УЗДОН в процессе эксплуатации. Выбор контролируемых характеристик дефектоскопа определяется влиянием этих характеристик на настройку дефектоскопа.

Для количественного описания сигналов от моделей дефектов следует применять АРД - диаграмму в качестве средства сравнения.

На основании проведенных [5, 6 - 8, 10, 11, 15, 23] в прошлом веке исследований и, в соответствии с действующими в СССР стандартами на поверку УЗДОН, была разработана методика поверки дефектоскопа типа УД2-12, поддерживающего все основные методики контроля, (МЦУ-6-91) [12].

Методика обеспечивала потребителя всей полнотой информации о сохранении важнейших параметров контроля в заданных пределах на разных стадиях производства и эксплуатации контролируемого изделия. Методика была согласована с Бел. ЦСМ. Средства поверки в виде стандартных образцов аттестовались Бел. ЦСМ. Методика была допущена к применению на подведомственных Госатомнадзору и Госгортехнадзору [13] объектах, т.е. в СССР методика [12] была узаконена. Дальнейшие исследования стали возможны после изучения многолетнего опыта эксплуатации МЦУ-6-91. Появились вопросы, связанные с единообразием.

Сегодня вопросы единообразия особенно актуальны, поскольку [16, 17] с 1 января 2001 года «Закон о единстве измерений» распространен на средства контроля путем новой редакции определения измерительного контроля приведенной в РМГ 29-99, суть которого - «Контроль - частный случай измерения», следовательно, средство контроля является и средством измерения по определению. Ставится и вопрос о необходимости сближения отечественных стандартов и норм с европейскими. Отсюда усиление требований к дефектоскопистам в системе качества.

Сопоставив еврономы EN 12668 -2:2001, которые отражают международную политику в области стандартизации по метрологическому обеспечению рабочих характеристик ультразвуковых дефектоскопов, и ГОСТ 14682 - 86 выясняется, что единственными рабочими характеристиками УЗДОН, которые проверяются с помощью электронных средств и недостаточно исследованы, являются длительность импульса (лучевая разрешающая способность) и рабочая частота дефектоскопа. Для этих же характеристик отсутствует и единообразная методика определения этих характеристик.

Способам решения проблемы обеспечения единообразия при определении рабочих параметров контроля с целью принятия решения о целесообразности продолжения ультразвукового контроля, посвящена следующая глава.

Вторая глава посвящена способам решения проблемы отсутствия единства при определении параметров дефектов на разных стадиях производства и эксплуатации контролируемого изделия.

Разработана расчетная модель для определения рабочей частоты эхоимпульса ультразвуковых преобразователей [20]. Рассмотрим эту модель.

Пусть излучаемый в среду квазигармонический сигнал с волновым числом упругой волны k отражается от двух одинаковых площадок, плоскости которых ориентированы перпендикулярно направлению распространения ультразвуковой волны. Расстояния до площадок - r_1 и r_2 , причем $r_1 = r_2 - x_0$. Тогда регистрируемый преобразователем суммарный отраженный сигнал S может быть описан выражением:

$$S = A_1 \exp[i(2k_1 r_1 - \omega t)] + A_2 \exp[i(2k_1 r_2 - \omega t)] \quad (1)$$

где A_1 и A_2 - амплитуды сигналов, ω - циклическая частота. Запишем (1) в виде:

$$S = A_2 \exp[i(2r_2 + \Delta r)k_1 - i\omega t] \{ \cos(k_1 \Delta r) ((A_1 + A_2) / A_2) + i \sin(k_1 \Delta r) (A_1 - A_2) / A_2 \} \quad (2)$$

При $\Delta r \ll r_2$, $|(A_1 - A_2) / A_2| \ll 1$, получаем, что

$$S \approx 2A_2 \cos(k_1 \Delta r) \exp[i(2r_2 + \Delta r)k_1 - i\omega t] \quad (3)$$

Из (3) видно, что амплитуда интерференционного сигнала пропорциональна $\cos(k_1 \Delta r)$, причем при возрастании Δr от 0 первый максимум (не считая имеющего место при $\Delta r = 0$) наблюдается при $k_1 \Delta r = \pi$ или $T = 2\Delta r_2 / c_1$. - $f =$

$c/(4A\pi)$, где C - скорость волны, $T = 1/f$ - период колебаний. Таким образом, полупериод колебаний (или обратная удвоенная частота) оказывается равным $\Delta r_2 / c$, где Δr_2 - изменение положения площадок если $\Delta r_2 = N \delta r$, где δr - единица разности хода волн, то, определив цену деления $\delta t = \delta r / c$ на экране дефектоскопа, сразу же можно найти $T/2 = N \delta t$.

Интерферометрическая ванна.

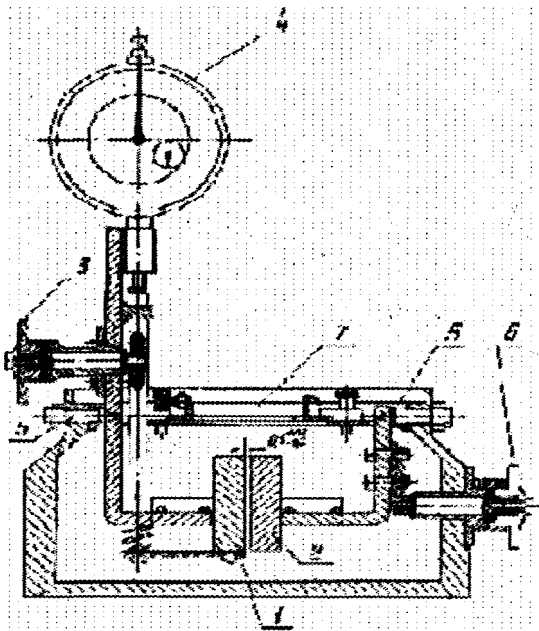


Рис.1

На рис. 1 представлена интерферометрическая ванна для определения рабочей частоты, разработанная Рахмановым В.В. согласно формулам 1-3.

На компьютерной установке "Авгур 4.4" помощью интерферометрической ванны для наклонных стандартных преобразователей ПРИЗ-Д5 П121-1,8-50°-002, П121-2,5-50°-002 и П121-5,0-50°-002 экспериментально получены импульсы и спектры.

Существует четыре способа измерения рабочей частоты. Определялись рабочие частоты f_p с использованием всех четырех способов: 1) как максимальная частота спектра, 2) по европейскому стандарту, как корень квадратный из произведения минимальной и максимальной частот сечения спектра на уровне 0,5 от максимума (среднее геометрическое значение), 3) по временному интервалу, занимаемому полуволнами положительной и отрицательной полярности, амплитуда которых превышает 0,3 максимальной амплитуды (ГОСТ 23667 - 85) и 4) с помощью жидкостного интерферометра. Эти результаты приведены в таблице.

Номинальная частота преобразователя, МГц	Рабочая частота f_p , МГц, определенная			
	1) по максимуму, спектра	2) по евростандарту	3) по временному интервалу ГОСТ 23667	4) жидкостным интерферометром
1,8	1,75	1,64	1,79	1,74
2,5	2,50	2,38	2,55	2,52
5,0	4,80	4,56	5,38	4,93

Из сравнения результатов для частот 1,8 и 2,5 МГц, полученных первым, третьим и четвертым способами видно, что они хорошо совпадают между собой, а значения, полученные по методике, рекомендованной в европейском стандарте, занижены. Из таблицы также следует, что наибольшие отличия между результатами, полученными различными методиками, наблюдаются для

преобразователя на 5 МГц. Для 5 МГц значение полученное на интерферометре, лежит между величинами, полученными способами 1 и 3.

Из таблицы видно, что полученные значения довольно сильно отличаются, поэтому важно установить единообразную методику измерений, наилучшим способом учитывающую условия контроля. В связи с этим следует разобраться с различной интерпретацией дефектоскопистами и специалистами других профессий понятия рабочей частоты f_p эхо - импульса.

Дефектоскопист при штатном контроле имеет дело с экраном дефектоскопа, на котором он наблюдает продетектированный сигнал (огibaющую эхо-сигнала), так называемый видеоимпульс, максимум которого используется при измерениях. Этот максимум соответствует максимуму полу - колебания радиоимпульса (для определенности считаем его положительным) с наибольшей амплитудой.

Поэтому дефектоскопист естественно рассматривает длительность этого полу - колебания как величину, определяющую эффективную частоту $f_p = 1/(2\tau)$.

Метролог согласен с таким определением эффективной частоты.

Единственное, что его не устраивает, это погрешность - совсем не случайно в нормативных документах рекомендуется брать максимум числа n - полу - периодов при измерениях, ограничивая их количество так называемым "хвостом" эхо - импульса, где начинаются "биения".

Важно установить единообразную методику измерений, наилучшим способом учитывающую условия контроля. Если ранее эффективная частота эхоимпульса определялась по отношению числа полупериодов к удвоенной общей длительности этих полупериодов в пределах длительности эхоимпульса, то теперь предлагается ее определять по периоду колебания эхо - радиоимпульса с наибольшей амплитудой.

.. Проведен [20] компьютерный эксперимент, показывающий влияние характера акустических нагрузок на рабочую частоту эхоимпульса. Эксперимент связан с тем, что частоту допускается измерять на образцах изготовленных из стали, из дюралюминия и из оргстекла.

Расчет проводился по известной и апробированной упрощенной физической модели акустического тракта прямого совмещенного преобразователя

$$E_p / U_i \approx \{ [1 - \cos(k_n \Delta z)] - i \sin(k_n \Delta z) Z_\delta / Z_n \}^2 / \{ [i \sin(k_n \Delta z) + \cos(k_n \Delta z) Z_\delta / Z_n] [i \sin(k_{np} z_1) Z / Z_{np} - \cos(k_{np} z_1)] + [i \sin(k_n \Delta z) Z_{np} Z_\delta / Z_n^2 + \cos(k_n \Delta z) Z_{np} / Z_n] [\cos(k_{np} z_1) Z / Z_{np} - i \sin(k_{np} z_1)] \}^2 \quad (4)$$

ЭДС E_p , развиваемой на пьезопластине в режиме приема
 u_e амплитуда напряжения, возбуждающей преобразователь при излучении
 k'_n - волновое число квазипродольных волн в пьезопластине, распространяющихся в направлении, ортогональном ее плоскости;

Δz - толщина пьезопластины;

Z_n - ее характеристический импеданс (для волны с волновым числом k'_n);

Z_{np} - толщина протектора с волновым числом продольных волн k_{np} и импедансом Z_{np}

Z_δ - характеристический импеданс демпфера;

Z - импеданс среды.

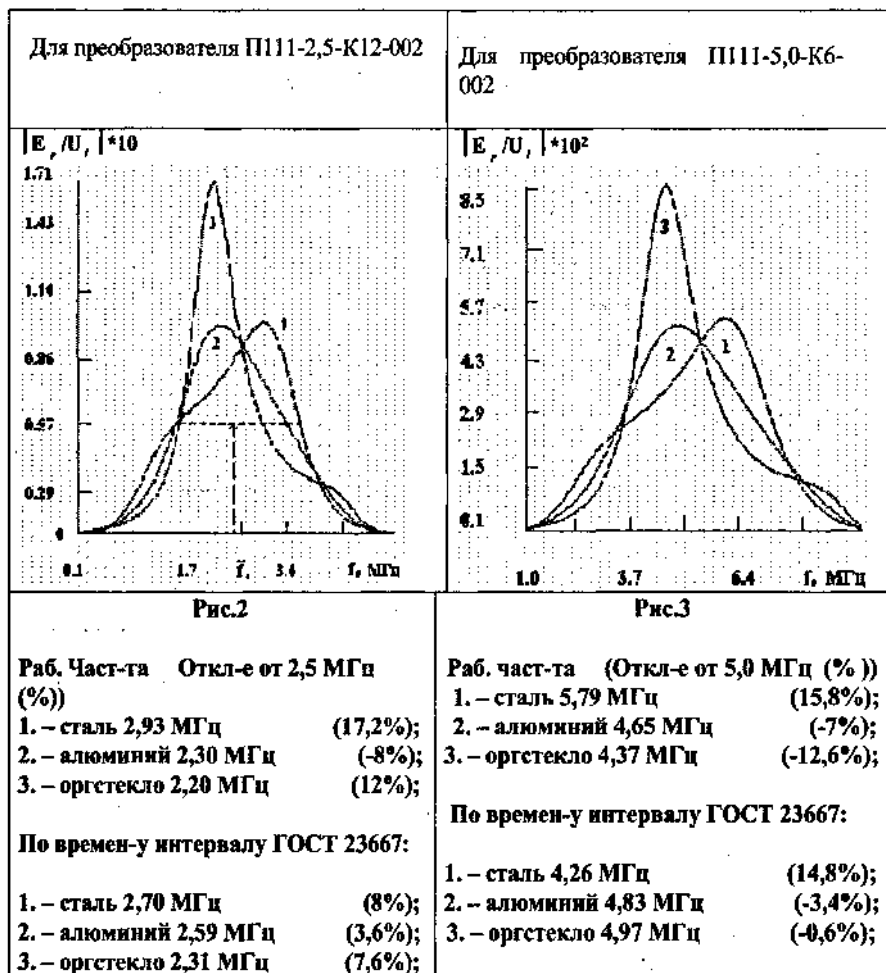
Это выражение описывает сложную частотную зависимость спектра регистрируемого сигнала, меняющуюся при различных соотношениях характеристических импедансов Z , Z_{np} , Z_n и Z_δ . При произвольном соотношении Z , Z_{np} , Z_n и Z_δ аналитическое изучение частотной зависимости отношения E_p / U_x весьма сложно, поэтому для этих целей следует использовать компьютерное моделирование.

Программа для расчетов электроакустического тракта дефектоскопа предоставлена доктором технических наук Даниловым Вадимом Николаевичем.

В ходе расчетов для выделения влияния на спектры и импульсы регистрируемых эхо-сигналов собственно акустических нагрузок не учитывались электрические цепи возбуждения и приема.

Частотная зависимость модуля относительного напряжения

$|E_r/U|$, Г эхо-сигналов для различных акустических нагрузок представлена на рисунках 2,3.



На рис.2 приведены спектры сигналов $|E_p I U_i|$ для прямого преобразователя Ш11-2,5-К 12-002, рассчитанные для акустической нагрузки в виде плоскопараллельного слоя толщиной 50 мм, выполненного из стали (кривая 1), алюминия (2) и органического стекла (3). Спектры полученных импульсов отражают влияние акустической нагрузки.

Как видно из рис.2, оргстекло, обладая характеристическим импедансом ($3,3 \times 10^6 \text{ кг}/(\text{м}^2 \text{с})$), почти в восемь раз меньшим импеданса пьезопластины, обуславливает заметно более выраженное проявление ее резонансных свойств, чем наблюдается для акустических нагрузок из металла (по уровню 0,5 спектр почти в 2,5 раза уже, чем для стали). Из рис.2 следует, что рабочие частоты f_p , определяемые, как частоты максимума спектров, для стали, алюминия и оргстекла равны 2,93, 2,30 и 2,20 МГц, соответственно, то есть отличаются от номинальной (2,5 МГц) на 17,2%, (-8%) и (-12%). Определение же этой частоты по временному интервалу дает соответствующие значения 2,70 МГц (отклонение от номинальной частоты 8%), 2,59 МГц (3,6%) и 2,31 МГц (7,6%). Во втором случае для всех нагрузок отклонение не превысило допуска (9%) на отклонение f_p от номинальной частоты, для которого результаты проверки считаются положительными.

Из рис.2 видно, что частотные спектры для стали и алюминия заметно несимметричны относительно своих максимумов. Это связано со сложным характером колебаний нагруженной пьезопластины при излучении и приеме для большого характеристического импеданса среды (сравнимого с импедансом пьезопластины). Значения частоты f_p , более близкие к номинальному для преобразователя (чем определенные по максимумам спектров) и к полученным по характеристикам импульсов, могут быть определены как средние частоты спектров на уровне 0,5 от максимума (см. рис. 2, где для стали (кривая 1) полученное таким путем значение f_p обозначено как \tilde{f}_p). Значения f_p для стали и алюминия равны 2,52 и 2,46 МГц, т.е. также заметно ближе к номинальной частоте, чем определенные по максимумам спектров.

На рис. 3 приведены спектры, рассчитанные для аналогичных предыдущему случаю нагрузок и преобразователя П111-5,0-К6-002. Рабочие частоты f_p , определяемые по максимуму спектров, для стали, алюминия и оргстекла равны 5,79, 4,65 и 4,37 МГц, соответственно, т.е. отличаются от номинальной (5 МГц) на 15,8%, (-7%) и (-12,6%). Определение f_p по временному интервалу дает $f_p = 4,26, 4,83$ и $4,97$ МГц, т.е. отклонения составляют (-14,8%), (-3,4%) и (-0,6%). Значения f_p , определенные как среднее (по уровню 0,5) для спектров, равны 5,14 и 4,92 МГц соответственно для стали и алюминия.

По той же программе проведено компьютерное исследование лучевой разрешающей способности [3,5].

Лучевая разрешающая способность $5t$ может заметно меняться в зависимости от характера контролируемой среды: для оргстекла значение $5t$, примерно, в 1,5 раза превышает эту величину для металлов (сталь, алюминий). Данц предложения по определению разрешающей способности 64: необходимо или приблизительно в полтора раза увеличивать значение $5t$, определяемое по длительности эхо-сигнала на уровне 0,5 (п. 4,2 ГОСТ 23667-85), или измерять $8t$ по уровню 0,25 от максимального значения, поскольку измерения по уровню 0,5 (п. 4,2 ГОСТ 23667-85) дают заниженную величину, при относительной задержке импульсов на которую их фактическое разрешение не имеет места. Это фактическое не разрешение объясняется тем, что на пьезопластину приходят эхо - радиоимпульсы. При сдвиге эхо - радиоимпульсов на временной интервал, определенный по уровню 0,5 видеоимпульса, радиоимпульсы интерферируют так, что их огибающая (продетектированный сигнал на экране) не позволяет их разделить так, будто один видеоимпульс сдвинут относительно другого на тот же интервал.

Третья глава посвящена проверке результатов исследования. Проверка проводится в интерферометрической ванне (рис.1) - механическом устройстве, разработанном по формулам 1-3.

Точность совпадения расчетных временных параметров эхо - импульсов с эмпирическими, полученными с помощью интерферометрической ванны очень высока, т.к. погрешность совпадения не превышает 0.5%. Прямые измерения для преобразователей П111-5,0-К6-002 и Ш11-2,5-К12-002 проводились следующим образом. Микрометрическим винтом (3) отражающие площадки (1 и 2) смещались одна относительно другой на 8-10 мм, что фиксировалось специальным индикатором (4) типа ИЧ-10. Преобразователь устанавливался на опору (7) так, чтобы эхо-сигналы от этих площадок были одинаковы (это соответствовало тому, что на площадки попадали одинаковые потоки энергии ультразвуковых волн) и эти эхо-сигналы были максимальны, что соответствовало ориентации отражателей перпендикулярно акустической оси преобразователя. Затем расстояние между отражателями уменьшалось тем же микрометрическим винтом. Когда смещение становилось равным нулю (что фиксировалось индикатором) эхо-импульсы сливались в один с амплитудой, в два раза (6 дБ) превышающей первоначальные эхо-сигналы. Это - предсказанный теорией максимум при $A_g = 0$. Снова увеличивалось расстояние между площадками. Амплитуда наблюдаемого эхо-сигнала резко падает (на 12-20 дБ) и проходит через минимум, а затем (по мере увеличения расстояния) вновь достигает максимума, амплитуда которого чуть меньше (на 1-2 дБ), чем при $A_g=0$, что полностью совпадает с результатами теории.

Продолжая увеличивать расстояние, получим минимум, а затем максимум с соответствующей амплитудой. Фиксируя A_g , легко переходим к определению эффективной частоты. Погрешность измерения при этом для 5 МГц не превышает 3,5% и определяется составляющей часового индикатора, для частот меньше 5 МГц она пропорционально уменьшается.

Микрометрический винт (6) позволяет поворачивать отражающие площадки относительно оси 5-5 так, чтобы получить максимальный сигнал от ПЭП с различными углами ввода.

Достоверность результатов работы может быть подтверждена обстоятельностью анализа современного состояния вопроса, строгостью и адекватностью используемых программ для расчетов электроакустического

тракта дефектоскопа, публикацией и апробацией результатов работы на всероссийском уровне, занесением разработанных авторских методик поверки УЗДОН в Госреестр [4, 14]. По данным методикам ежегодно проходят поверку сотни приборов, что позволяет говорить о воспроизводимости, т.е. о повторяемости результатов в одних и тех же условиях при множестве проверок на множестве объектов различными поверителями.

При определении параметров УЗДОН типа «СКАРУЧ» для разрешения эхо - сигналов использовался обоснованный во второй главе уровень 0,25 от максимума видеоимпульса, что позволило игнорировать сигналы от полного проплавления с «провисанием», что исключило вклад паразитной составляющей при определении высоты корневых непроваров. На способ контроля корневых дефектов на фоне провисания получено авторское свидетельство [1] Это позволило разработать такую [14] методику поверки с привлечением [21] распределения Стюдента, которая позволяет убедиться, что измеряется та величина, которая нас интересует. Представлено практическое [4, 12, 13, 14] приложение результатов и намечена предполагаемая перспектива дальнейшего исследования.

Основные результаты и выводы.

1. Разработана унифицированная методика проверки характеристик системы УЗДОН — кабель - ПЭП в процессе эксплуатации без привлечения электронных средств, которая позволяет обоснованно судить о соответствии параметров контроля номинальным значениям, что обеспечивает единообразие результатов ультразвукового контроля с помощью системы УЗДОН - кабель - ПЭП независимо от фирмы - изготовителя.

2. Введено единое понятие рабочей частоты контроля: определяется по периоду эхо - радиоимпульса с наибольшей амплитудой;

3. Обоснована регламентация зависимости амплитуды принятого эхо-сигнала А от модели дефекта в качестве функциональной модели УЗДОН в процессе ультразвукового контроля. Для количественного описания сигналов от

моделей дефектов обосновано применение АРД - диаграммы в качестве средства сравнения.

4. Установлена причина избыточности периодически поверяемых органами Госстандарта параметров УЗДОН и ПЭП, заключающаяся в отсутствии у поверителей информации о стандартах на методику ультразвукового контроля продукции, что не позволяет поверителю рассматривать УЗДОН как дефектоскоп специализированный (УЗДС) и, соответственно, не позволяет упрощать метрологическое обеспечение системы УЗДОН - кабель - ПЭП.

5. На основании теоретического исследования:

- установлено, что рабочая частота эхо - импульсов может существенно отличаться для различных акустических нагрузок, причем отклонение ее от номинальной зависит от величин последних. Установлено, что частоты, определяемые по импульсу и по его спектру (в максимуме), также могут весьма заметно различаться (до 30%);

- разработаны интерферометрические устройства (ванны), позволяющие повысить качество при определении характеристик дефектов за счет:

а) уменьшения погрешности определения рабочей частоты в 3-й раза по сравнению с определением рабочей частоты интерференционным методом от отражателей в образце;

б) измерения интерференционным методом лучевой разрешающей способности и длительности импульса, которые непосредственно участвуют при определении параметров дефектов;

- установлено, что погрешность измерения частоты в ванне не превышает 3,5 % на частоте 5 МГц и с понижением частоты пропорционально уменьшается;

- установлено, что измерения лучевой разрешающей способности по длительности эхо-сигнала на уровне 0,5 дают заниженную величину, при относительной задержке импульсов на которую их фактическое разрешение не имеет места.

5. Выявлен метрологический аспект в системе качества, законодательно закрепляющий за средствами контроля статуса средств измерений и обоснована

процедура определения высоты вертикально ориентированного дефекта донной поверхности эхо - методом (А.С. № 1628693).

6. Даны рекомендации по совершенствованию нормативных документов, которые заключаются в том, что термины и определения ГОСТ 23829-85 не должны противоречить терминологии РМГ 29-99, ГОСТ 16504-81, ГОСТ 14782-86, РД ЭО 0318-01, ПНАЭ Г-7-014-89, РД 34.17.302-97 и др.

7. Результаты работы внедрены :

а) в РД 34.17.302-97. Руководящий документ. Котлы паровые и водогрейные. Трубопроводы пара и горячей воды, сосуды. Сварные соединения. Контроль качества. Ультразвуковой контроль. Основные положения (ОП 501 ЦЦ-97);

б) в ОСТ 108.958.03-96 Поковки стальные для энергетического оборудования. Методика ультразвукового контроля. (РД 2728.001.01-96);

в) в методиках поверки серийно выпускаемых современных ультразвуковых дефектоскопов:

- типа «СКАНЕР» (СКАН2.00.00.000 РЭ),

- типа УДЦ20Ш (3201.00.000РЭ),

- на предприятиях машиностроения и энергетики, использующих УДЦ201П, «СКАНЕР», МЦУ-6-91 для дефектоскопа типа УД2-12, что (в целом) позволяет говорить об обеспечении единства при определении параметров дефектов на разных стадиях производства и эксплуатации контролируемого изделия, что позволяет предупредить аварии при продлении ресурса технологического оборудования ответственного назначения.

Автор надеется, что данная работа внесет свой вклад в развитие исследований по раскрытию геометрического образа измерительного преобразования осуществляемого с помощью УЗДОН.

Автор выражает глубокую благодарность доктору технических наук Данилову Вадиму Николаевичу за любезно предоставленную программу для расчетов электроакустического тракта дефектоскопа.

Основное содержание работы отражено в следующих публикациях:

1. А.С. № 1628693(СССР). Способ ультразвукового контроля дефектности изделий./ Щербаков А.А., Ермолов И.Н., Басацкая Л.В.
2. Данилов В.Н., Ермолов И.Н., Щербаков А.А. К определению частоты колебаний при ультразвуковом контроле // Дефектоскопия. - 2003.-№ 3.- С.3-11.
3. Данилов В.Н., Щербаков А.А. К определению разрешающей способности ультразвуковых дефектоскопов по дальности. //Дефектоскопия.- 1998-№3,-С. 54-60.
4. Дефектоскоп ультразвуковой процессорный конструкции ЦНИИТМАШ УДЦ201-П. Руководство по эксплуатации. 3201.00.000 РЭ.- М.: ЦНИИТМАШ.-С.45-54.
- 5.Ермолов И.Н., Ермолов М.И., Щербаков А.А. Разрешающая способность при ультразвуковом контроле//Дефектоскопия,-1993.-№ 2.-С.3-10.
6. Ермолов И.Н., Петушкова А.М., Рахманов В.В., Щербаков А.А. Разработка системы аттестации ультразвуковых дефектоскопов на стандартных образцах. //Тезисы 10 Всесоюзной научно-технической конференции :Методы и средства повышения информативности и достоверности результатов ультразвуковой дефектоскопии сварных металлоконструкций.- Л.: ЛИИЖТ, 1989.-С.44-46.
7. Ермолов И.Н., Петушкова А.М., Рахманов В.В., Щербаков А.А. Система поверки ультразвуковых дефектоскопов с помощью стандартных образцов //Доклады 12 Всесоюзной конференции: Неразрушающие физические методы и средства контроля. - Свердловск: ИФМ,1990.- т.б.-докл.С^П.-С. 121-122.
8. Ермолов И.Н., Щербаков А.А. Измерение диаграммы направленности в дополнительной плоскости // Дефектоскопия.-1996.-№ 10.-С.3-10.
9. Ермолов И.Н., Щербаков А.А. Общий подход к стандартизации аппаратуры для ультразвукового контроля.// Тезисы докладов первого Всероссийского научно-технического семинара «Метрологическое обеспечение в области неразрушающего контроля».- М, 1999 г.

10. Ермолов Й.Н., Щербаков А.А. Проверка ультразвуковых дефектоскопов в условиях эксплуатации. // Тезисы 14 Всесоюзной научно-технической конференции :Методы и средства повышения информативности и достоверности результатов ультразвуковой дефектоскопии сварных металлоконструкций.- Л.: ЛИИЖТ, 1992 г.- С 42-44.

11. Козлов В.В., Щербаков А.А. Устройство для проверки и калибровки аттенюатора в полевых условиях. // Тезисы 13 Научно-технической конференции :Неразрушающие физические методы и средства контроля.- СПб.: ЛИИЖТ, 1993 г.- доклад Гс2.3.

12. Методика проверки ультразвуковых дефектоскопов с применением комплекта устройств КУ. МЦУ-6-91. НПО ЦНИИТМАШ,-М., 1991.

13. РД 34.17.302-97. Руководящий документ. Котлы паровые и водогрейные. Трубопроводы пара и горячей воды, сосуды. Сварные соединения. Контроль качества. Ультразвуковой контроль. Основные положения (ОП 501 ЦД-97).-М.: НПП «Норма», 1997.-137 с

14. Установка измерительная серии «СКАНЕР». Руководство по эксплуатации. СКАН2.00.00.000 РЭ. - М.: АЛТЕС. - С. 42-51.

15. Щербаков А.А. Исследование диаграммы направленности на цилиндрическом отражателе в дополнительной плоскости. // Тезисы 13 Научно-технической конференции :Неразрушающие физические методы и средства контроля.- СПб.: ЛИИЖТ, 1993 г.- С 97-98

16. Щербаков А.А. К вопросу о показателях качества при метрологическом обеспечении ультразвуковых дефектоскопов общего назначения. //Дефектоскопия, - 2004.-№ 3

17. Щербаков А.А. Метрологическое обеспечение ультразвуковых дефектоскопов общего назначения в условиях производства и эксплуатации.// Измерительная техника, 2004, № 7.- С. 62

18. Щербаков А.А. Метрологическое обеспечение образцов, предназначенных для настройки ультразвуковых дефектоскопов.// Дефектоскопия, - 2004.-№ 11

19. Щербаков А.А., Данилов В.Н. О выборе комплекса параметров и средств поверки ультразвуковых дефектоскопов в условиях эксплуатации. // Дефектоскопия, 1999.- № 3.- С. 42-49
20. Щербаков А.А., Данилов В.Н. Выбор комплекса параметров и средств оперативной поверки ультразвуковых дефектоскопов.// Тезисы докладов второго Всероссийского научно-технического семинара «Метрологическое обеспечение в области неразрушающего контроля».- М, 2000 г.
21. Щербаков А.А., Данилов В.Н. Определение эффективной частоты эхоимпульса ультразвуковых преобразователей. //Дефектоскопия, 1998.- № 4.- С. 23-31
22. Щербаков А.А., Данилов В.Н. Об использовании вероятностных критериев в методиках ультразвукового контроля. //Дефектоскопия, 1999.- № 5.- С. 60-67.
23. Щербаков А.А., Ермолов И.Н., Рыбник А.А. Прохождение поверхностных волн через щелевидные дефекты. // Дефектоскопия, 1988.- № 6.- С. 48-52.
24. Щербаков А.А., Ушаков В.М. Улучшение разрешающей способности и обнаружение дефектов в мертвой зоне при ультразвуковом контроле. //Тезисы 13 Научно-технической конференции. Неразрушающие физические методы и средства контроля.- СПб.: ЛИИЖТ, 1993 г.- С .98-99

№22 379

РНБ Русский фонд

2005-4

23858