

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт неразрушающего контроля
Направление подготовки приборостроение
Кафедра физических методов и приборов контроля качества

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ТОМОГРАФИЯ ОБЪЕКТОВ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ УДК 620.179.16:621.646.2–023.821

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ5Б	Серикбосын Ерсин Амангелдиулы		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Капранов Борис Иванович	д.т.н		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Николаенко В.С.			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Анищенко Ю.В	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ФМПК	Суржиков А.П.	д.ф.-м.н.		

Планируемые результаты обучения по ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требование ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
Профессиональные компетенции		
P1	Применять современные базовые и специальные естественнонаучные, математические и инженерные знания для разработки, производства, отладки, настройки и аттестации средств приборостроения с использованием существующих и новых технологий, и учитывать в своей деятельности экономические, экологические аспекты и вопросы энергосбережения.	Требования ФГОС (ОК-14,ПК-1,6,7,8,10,11.12,13,17,23,24,27), Критерий 5 АИОР (п.1.1,1.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i> .
P2	Участвовать в технологической подготовке производства, подбирать и внедрять необходимые средства приборостроения в производство, предварительно оценив экономическую эффективность техпроцессов; принимать организационно-управленческие решения на основе экономического анализа.	Требования ФГОС (ОК-5,ПК-14,15,19,20,21,28,29,30,33) Критерий 5 АИОР (п.1.4, 1.5, 1.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i> .
P3	Эксплуатировать и обслуживать современные средств измерения и контроля на производстве, обеспечивать поверку приборов и прочее метрологическое сопровождение всех процессов производства и эксплуатации средств измерения и контроля; осуществлять технический контроль производства, включая внедрение систем менеджмента качества.	Требования ФГОС (ОК-6,ПК-5,18,31,32), Критерий 5 АИОР (п.1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i> .
P4	Использовать творческий подход для разработки новых оригинальных идей проектирования и производства при решении конкретных задач приборостроительного производства, с использованием передовых технологий; критически оценивать полученные теоретические и экспериментальные данные и делать выводы; использовать основы изобретательства, правовые основы в области интеллектуальной собственности.	Требования ФГОС (ОК-1,2,8,11,12, ПК-2,9), Критерий 5 АИОР (п.1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i> .
P5	Планировать и проводить аналитические, имитационные и экспериментальные исследования по своему профилю с использованием новейших достижения науки и техники, передового отечественного и зарубежного опыта в области знаний, соответствующей выполняемой работе.	Требования ФГОС (ПК-3,4,9,16,22,26), Критерий 5 АИОР (п.1.2, 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i> .

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требование ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
Р6	Использовать базовые знания в области проектного менеджмента и практики ведения бизнеса, в том числе менеджмента рисков и изменений, для ведения комплексной инженерной деятельности; уметь делать экономическую оценку разрабатываемым приборам, консультировать по вопросам проектирования конкурентоспособной продукции.	Требования ФГОС (ПК-33), Критерий 5 АИОР (п.2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i> .
Универсальные компетенции		
Р7	Понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-7), Критерий 5 АИОР (п.2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i> .
Р8	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена команды по междисциплинарной тематике, а также руководить командой, демонстрировать ответственность за результаты работы.	Требования ФГОС (ОК-3, ПК-28), Критерий 5 АИОР (п.2.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i> .
Р9	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инженерной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-13), Критерий 5 АИОР (п.2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i> .
Р10	Ориентироваться в вопросах безопасности и здравоохранения, юридических и исторических аспектах, а так же различных влияниях инженерных решений на социальную и окружающую среду.	Требования ФГОС (ОК-4,14,15, ПК-8) Критерий 5 АИОР (п.2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i> .
Р11	Следовать кодексу профессиональной этики, ответственности и нормам инженерной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-9), Критерий 5 АИОР (п.1.6, 2.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i> .

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт неразрушающего контроля
Направление подготовки Приборостроение
Кафедра Физических методов и приборов контроля качества

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой
_____ Суржиков А.П.
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации (бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)
--

Студенту:

Группа	ФИО
1БМ5Б	Серикбосын Ерсин Амангелдиулы

Тема работы:

Ультразвуковая томография объектов цилиндрической формы	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 9649/с от 09.11.16
Срок сдачи студентом выполненной работы:	29.05.17

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	1. Объект контроля – крупногабаритная запорная арматура высокого давления. 2. Доступ – по всей внешней поверхности объекта контроля. 3. Рабочая частота – 5,0 МГц. 4. Максимальная толщина прозвучиваемого металла – 1500 мм.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	- обзор ультразвуковых методов контроля. - анализ объекта контроля и формирование требований к контролю. - выбор метода и технологии ультразвукового контроля. - разработка и расчёт призмы. - экспериментальные исследования. - разработка методики ультразвуковой томографии корпуса крупногабаритной запорной арматуры высокого давления.
Перечень графического материала	Презентация в Microsoft PowerPoint
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Николаенко Валентин Сергеевич

Социальная ответственность	Анищенко Юлия Владимировна
Иностранный язык	Вебер Юлия Юрьевна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
1 Литературный обзор	
1.1 Понятие ультразвуковой дефектоскопии	
1.2 Теоретические основы ультразвукового контроля	
1.3 Реконструкция акустических изображений	
1.4 Ультразвуковая томография	
1.5 Виды преобразователей	
Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Капранов Борис Иванович	д.т.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ5Б	Серикбосын Ерсин Амангелдиулы		

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт неразрушающего контроля

Направление подготовки (специальность) 12.04.01 Приборостроение

Уровень образования: Магистратура

Кафедра Физических методов и приборов контроля качества

Период выполнения (осенний/весенний семестр 2016/2017 учебного года)

Форма представления работы:

Магистерская диссертация (бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)
--

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
Выполнения выпускной квалифицированной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	29.05.2017
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля)/ вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
13.03.17	Выбор направления исследования и способы решения задач	5
20.03.17	Изучение и анализ научной литературы	20
10.04.17	Разработка и расчёт призмы	20
24.04.17	Проведение экспериментальных исследований	10
5.05.17	Разработка методики ультразвуковой томографии	10
12.05.17	Обработка и анализ полученных результатов	5
19.05.17	Оценка полученных результатов	10
26.05.17	Оформление пояснительной записки	20

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Капранов Борис Иванович	д.т.н		

СОГЛАСОВАНО:

Зав.кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор каф. ФМПК	Суржиков Анатолий Петрович	доктор физ.-мат. наук		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
1БМ5Б	Серикбосын Ерсину Амангелдиулы

Институт	ИНК	Кафедра	ФМПК
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Приборостроение

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

<i>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Работа с информацией, представленной в научных публикациях, аналитических материалах, нормативно-правовых документах.
<i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Определение структуры плана проекта и трудоёмкости работ, разработка графика проведения НИИ, бюджет НИИ.
<i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Определение интегрального показателя финансовой эффективности, интегрального показателя ресурсоэффективности, интегрального показателя эффективности и сравнительной эффективности вариантов исполнения.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<i>1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Определение возможных альтернатив проведения научных исследований.
<i>2. Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Планирование этапов работы, определение календарного графика трудоёмкости работы, расчет бюджета.
<i>3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	Оценка сравнительной эффективности проекта.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

<ol style="list-style-type: none"> 1. Оценка конкурентоспособности технических решений 2. График проведения и бюджет НИИ <p style="text-align: center;"><i>Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИИ</i></p>	
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Николаенко Валентин Сергеевич			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ5Б	Серикбосын Ерсин Амангелдиулы		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
1БМ5Б	Серикбосын Ерсину Амангелдиулы

Институт	ИНК	Кафедра	ФМПК
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Приборостроение

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Рабочим оборудованием является OMNISCAN MX PA – ультразвуковой дефектоскоп на фазированных решетках (ФАР), который предназначен для неразрушающего контроля изделий на наличие дефектов типа нарушения сплошности, определения координат дефектов.
--	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Производственная безопасность 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения. 1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения.	Рабочий процесс проводится в научной лаборатории, где могут быть такие вредные факторы как: отклонение показателей микроклимата, повышенный уровень ультразвука, электромагнитные излучения недостаточная освещенность рабочей зоны. В ходе выполнения работы возможно поражение электрическим током.
2. Экологическая безопасность	Воздействие на литосферу.
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	Возможно возникновение пожара.
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	Рациональная планировка рабочей зоны, требования к основным элементам рабочего места: рабочий стол, рабочий стул, ультразвуковой дефектоскоп OMNISCAN MX PA, объект контроля, контактная жидкость.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Анищенко Ю.В.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ5Б	Серикбосын Ерсин Амангелдиулы		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 158 с., 54 рис., 21 табл., 37 источн., 4 прил.

Ключевые слова: ультразвуковая томография, фазированные решетки, поперечные и продольные волны, чувствительность контроля, методика ультразвуковой томографии.

Объектом исследования является: крупногабаритная запорная арматура высокого давления и ультразвуковой метод неразрушающего контроля (ультразвуковая томография на основе фазированных решеток).

Цель работы – изучение литературы по ультразвуковой томографии на основе фазированных решеток и разработка методики ультразвуковой томографии корпуса крупногабаритной запорной арматуры высокого давления.

Метод проведения исследования: Ультразвуковая томография – эхо-метод, с помощью которого можно получить детальные количественные характеристики дефектов конструкции при одностороннем доступу к ней.

В процессе исследования проводились:

- Описание метода ультразвуковой томографии;
- Расчёт углов преломлений продольных и поперечных волн в объекте контроля при использовании призмы;
- Разработка аппаратуры;
- Исследование затухания ультразвуковой волны в объекте контроля;
- Экспериментальные исследования;
- Разработка методики ультразвуковой томографии корпуса крупногабаритной запорной арматуры высокого давления.

В результате исследования была разработана методика ультразвуковой томографии корпуса крупногабаритной запорной арматуры высокого давления.

Область применения исследования – создание методики ультразвуковой томографии объектов цилиндрической формы.

Определения

В данной магистерской диссертации применены следующие термины с соответствующими им определениями:

Ультразвуковая дефектоскопия: Метод неразрушающего контроля, с помощью которого возможен поиск дефектов в материале изделия путём излучения и принятия ультразвуковых колебаний, отраженных от внутренних несплошностей (дефектов), а также дальнейшего анализа, амплитуд, времён прихода, форм и других характеристик при помощи специального оборудования (например; ультразвуковых дефектоскопов);

Ультразвуковая томография: Метод основанный на импульсном эхо-методе, который отличается от традиционной ультразвуковой дефектоскопии двумя главными чертами, это способом обзора пространства внутри объекта контроля и способом представления результатов контроля.

Фазированные решетки: Набор из нескольких пьезоэлементов, которые конструктивно объединены в одном корпусе преобразователя.

Продольные волны: Волны, в которых частицы колеблются вдоль направления распространения волны. Колебания могут распространяться в твердой, жидкой и газообразных средах.

Поперечные волны: Волны, в которых направление колебаний частиц среды перпендикулярно направлению распространения. Они могут распространяться только в среде, которая обладает упругостью формы.

Нормативные ссылки

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

1 ГОСТ Р 1.5 – 2012 Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты национальные Российской Федерации. Правила построения, изложения, оформления и обозначения.

2 ГОСТ 2.104 – 2006 Единая система конструкторской документации. Основные надписи.

3 ГОСТ 2.105 – 95 Единая система конструкторской документации. Общие требования к текстовым документам.

4 ГОСТ 2.106 – 96 Единая система конструкторской документации. Текстовые документы.

5 ГОСТ 3.1102 – 2011 Единая система технологической документации. Стадии разработки и виды документов.

6 ГОСТ 3.1105 – 2011 Единая система технологической документации. Формы и правила оформления документов общего назначения.

7 ГОСТ 7.0.5 – 2008 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая ссылка.

8 ГОСТ 7.1 – 2003 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая запись. Библиографическое описание.

9 ГОСТ 7.9 – 95 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Реферат и аннотация.

10 ГОСТ 7.32 – 2001 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Отчёт о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления.

11 ГОСТ 8.417 – 2002 Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы величин.

Обозначения и сокращения

УЗК – ультразвуковой контроль;

МНК – методы неразрушающего контроля;

НК – неразрушающий контроль;

УЗТ – ультразвуковая томография;

СОП – стандартный образец предприятия;

ОК – объект контроля;

ПЭП – пьезоэлектрический преобразователь;

ЦТС – цирконат титанат свинца;

АР – антенные решетки;

ФАР – фазированные антенные решетки;

ФР – фазированные решетки;

ОГЛАВЛЕНИЕ

	ВВЕДЕНИЕ	16
1	ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР	19
1.1	Понятие ультразвуковой дефектоскопии	19
1.2	Теоретические основы ультразвукового контроля	22
1.3	Реконструкция акустических изображений	24
1.4	Ультразвуковая томография	27
1.4.1	В – скан как формат отображения данных	29
1.5	Виды преобразователей	30
1.5.1	Прямые преобразователи	31
1.5.2	Наклонные преобразователи	33
1.5.3	Раздельно-совмещенные преобразователи	35
1.5.4	Иммерсионные преобразователи	35
1.5.5	Преобразователи для контроля при высоких температурах	37
1.5.6	Преобразователи на основе фазированных решёток	37
2	ОПИСАНИЕ ОБЪЕКТА КОНТРОЛЯ	45
2.1	Технические требования к УЗТ	46
3	ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ	48
3.1	Расчёт углов преломлений продольных и поперечных волн в призме	48
3.2	Расчёт коэффициентов проходов для продольной и поперечной волн	64
3.2.1	Расчёт коэффициентов проходов для продольной и поперечной волн для 1-ой группы элементов	65
3.2.2	Расчёт коэффициентов проходов для продольной и поперечной волн для 2-ой группы элементов	68
4	РАЗРАБОТКА АППАРАТУРЫ	76
4.1	Ультразвуковой томограф на фазированных решётках OmniScan MХ РА	76
4.2	Расчёт и разработка призмы преобразователя на основе фазированной решётки	78
4.3	Расчёт акустического тракта преобразователя на основе фазированной решётки	78
4.3.1	Расчёт коэффициента затухания	78
4.3.2	Определения чувствительности контроля	79
5	ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ	88
5.1	Настройка ультразвукового дефектоскопа OmniScan MХ РА	88
5.2	Проведение исследования	90
6	РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ УЗТ КРУПНОГАБАРИТНОЙ ЗАПОРНОЙ АРМАТУРЫ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ	92
7	ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	93
7.1	Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и	93

ресурсосбережения	
7.1.1 Анализ конкурентных технических решений	93
7.1.2 Технология QuaD	96
7.2 Планирование научно-исследовательских работ	98
7.2.1 Структура работ в рамках научного исследования	98
7.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ	99
7.2.3 Разработка графика проведения научного исследования	100
7.2.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	104
7.3 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	111
8 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	115
8.1 Производственная безопасность	115
8.1.1 Повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны	115
8.1.2 Повышенный уровень ультразвука	117
8.1.3 Недостаточная освещенность рабочей зоны	118
8.1.4 Поражение электрическим током	119
8.1.5 Электромагнитное излучение	119
8.2 Экологическая безопасность	121
8.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	121
8.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	122
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	125
СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ	126
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ	127
Приложение А	131
Приложение Б	142
Приложение В	146
Приложение Г	147

ВВЕДЕНИЕ

Магистерская диссертация посвящена исследованиям, которые лежат в области неразрушающего контроля (НК), а именно ультразвукового метода неразрушающего контроля. Суть неразрушающего контроля заключается в выявлении дефектов в виде нарушений сплошностей материалов изделий, контроль геометрических параметров изделия без нарушения её функционирования, оценка структуры материала изделия, свойств и пригодности объекта к применению.

Требование непрерывного повышения уровня безопасности и надежности опасных производственных объектов, подталкивает к необходимости совершенствования методов неразрушающего контроля. К одному из главных направлений усовершенствования ультразвукового метода контроля, можно отнести увеличение информативности получаемых результатов неразрушающего контроля. Основным направлением данных работ является визуализация внутренней структуры контролируемых изделий. С использованием упругих (механических) полей, для данных целей применяется и развита ультразвуковая томография (УЗТ). Она предполагает получение массива экспериментальных данных полученных с разных ракурсов, и совместную математическую обработку для формирования изображения сечений объекта контроля.

Для того чтобы получить первичную информацию применяются множество различных методов УЗ сканирования. Самым наиболее быстро развивающимся методом УЗ сканирования, является метод с применением преобразователей (пьезоэлектрических), где создается УЗ пучок, который выходит из точки выхода пьезопреобразователя под различными углами наклона к нормали к поверхности изделий, а именно перемещающихся в пределах некоторого секторного угла. Такой метод называют секторным методом ультразвукового сканирования. Информация, которая получается при этом представляет собой набор эхо-изображений отражателя для разных углов облучения, которую далее можно будет использовать для реконструкции

сечения объекта в плоскости сканирования. Исследования в данном направлении являются наиболее актуальными и проводятся в различных научных и исследовательских организациях.

Объект исследования и предмет: Ультразвуковая томография крупногабаритной запорной арматуры высокого давления.

Предмет исследования – контроль качества литья крупногабаритной запорной арматуры высокого давления с целью выявления скрытых дефектов изделий на ранних стадиях производства.

Научная и практическая новизна – исследована возможность ультразвукового контроля литых корпусов задвижек на частоте 5 МГц. Разработана методика ультразвуковой томографии корпуса крупногабаритной запорной арматуры высокого давления.

Практическая значимость результатов ВКР – доработан преобразователь на фазированных решетках для ультразвукового томографического контроля литых корпусов задвижек.

Реализация и апробация работы – при использовании ультразвуковой томографии на основе фазированных решеток, был проведен анализ затухания ультразвука на частоте 5 МГц в литом корпусе задвижки и чувствительности контроля.

Результаты исследования были опубликованы на XVIII Международной научно-технической конференции «Измерение, контроль, информатизация», Россия, Барнаул, 18 мая 2017 г.

Цель работы – изучение литературы по ультразвуковой томографии на основе фазированных решеток и разработка методики ультразвуковой томографии корпуса крупногабаритной запорной арматуры высокого давления.

Задачи, которые необходимо решить для достижения данной цели:

1) Обзор ультразвуковых методов визуализации внутренней структуры изделий;

2) Анализ объекта контроля и формирование требований к контролю;

3) Выбор метода и технологии ультразвукового контроля с визуализацией внутренней структуры изделий;

4) Анализ акустического тракта (затухание, чувствительность контроля);

5) Экспериментальные исследования;

6) Разработка методики ультразвуковой томографии корпуса крупногабаритной запорной арматуры высокого давления.

1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1 Понятие об ультразвуковой дефектоскопии

Начало применения ультразвукового неразрушающего контроля в промышленности можно отнести к 50-м годам прошлого века. Техническое осуществление ультразвукового метода во времена 50-х годов прошлого века была обусловлена в создании 1-ых массовых ламповых дефектоскопов и в разработке УЗ преобразователей на основе пьезокерамических элементов. Метод ультразвукового контроля нашел обширное применение в дефектоскопии изделий. По представленному отчету института доктора Форстера (INSTITUTE DR. FORSTER) [1], в странах восточной Европы объемы МНК распределены следующим образом (см. рисунок 1).

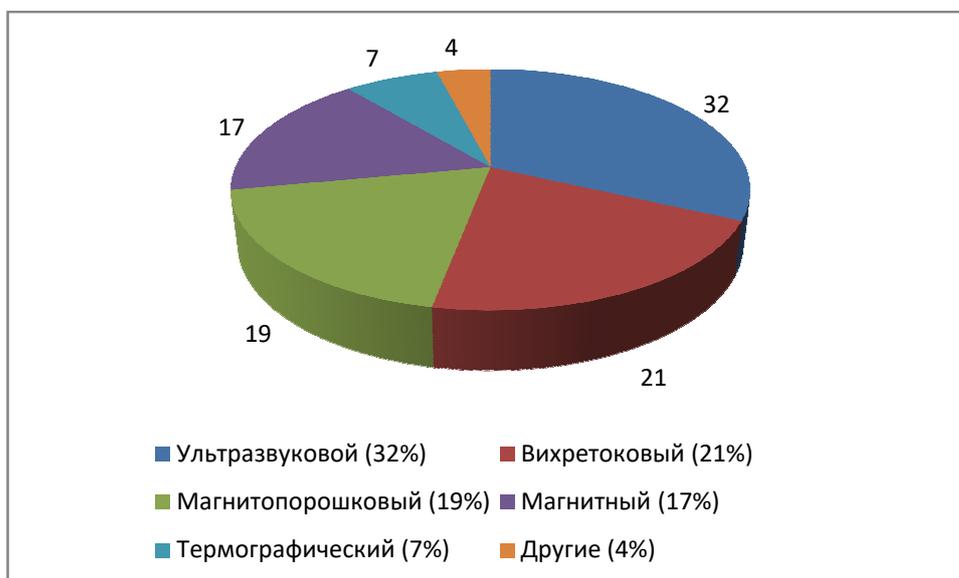


Рисунок 1 - Распределение объемов неразрушающего контроля по основным методам

В ходе распределения основных методов неразрушающего контроля по объемам, ультразвуковой неразрушающий контроль занял главное место. На долю ультразвукового метода приходится 32% от объема контроля всех изделий. В отчете также отмечено, что, несмотря на очень высокий уровень автоматизации труда в развитых странах, доля ручного УЗК остается наиболее высокой. Причина связана с тем, что очень большие объемы работ проводятся на объектах, которые находятся в постоянной эксплуатации: трубопроводы различного назначения, атомные электростанции, металлоконструкции,

транспортные средства, тепловые электростанции и др.. Характерная черта указанных объектов заключается в большом разнообразии конструкций, и вследствие этого, в методиках ультразвукового контроля, работы по контролю плохо поддаются автоматизации. Ультразвуковой контроль занимает одно из самых главенствующих положений в российской промышленности. В этом можно убедиться, по количеству специалистов которые занимаются ультразвуковым методом неразрушающего контроля. Согласно данным Уральского центра аттестации в период с 1994г. по 2000г. было аттестовано 1574 дефектоскописта 2-го уровня, из которых 38% являются специалистами по УЗК [2]. В настоящее время количество аттестованных по ультразвуковому методу контроля дефектоскопистов и специалистов достигло очень большого количества.

Для того чтобы измерить информативные параметры сигналов от дефектов, а именно амплитуду эхосигнала, условные размеры и координаты дефекта, предусмотрены стандартные средства УЗК. В рамках выше указанных информативных параметров проводится усовершенствование методик и ультразвуковых дефектоскопов. В ходе усовершенствований улучшились характеристики дефектоскопа - уменьшился вес и его габариты, добавились сервисные функции, а именно, запоминание данных и настроек контроля, временная регулировка чувствительности, связь с ЭВМ и др..

В методиках УЗК начали применяться новые схемы прозвучивания, такие как, контроль с помощью хордовых преобразователей, контроль головными волнами и контроль схемой корневой тандем. [3].

На основе анализов параметров дефектов – координат, условных размеров и амплитуды принимается решение о годности изделия.

Улучшение качества ультразвуковой аппаратуры (дефектоскопов) в первую очередь определяется достижениями микроэлектроники. Реализация новых идей в УЗ аппаратуре стимулировалось появлением микропроцессоров и созданием технологии интегральных схем. Существует общая тенденция разработки средств визуализации несплошностей [4-6], которая основана на

различных типах физических методах – ультразвуковой, радиографический, феррозондовый, вихретоковый и др..

Представлением данных о внутренней структуре изделия в виде изображений, можно определить размеры дефектов, местоположение, их форму, следовательно можно оценить их реальную опасность.

В ходе анализа изображений решаются вопросы происхождения дефектов (несплошностей) и корректировка технологии изготовления, принимаются решения о возможности ремонта или о пригодности в дальнейшей эксплуатации прибора.

УЗК является наиболее продуктивным с точки зрения формирования изображений. В сопоставлении с иными МНК высокая чувствительность, безопасность применения и оперативность ультразвукового метода делает его более конкурентоспособным.

Воспроизводимость является наиболее важной и главной характеристикой системы УЗК. В ходе замены дефектоскопов, ультразвуковых преобразователей, стандартных образцов предприятия результаты контроля должны быть одними и теми же. Воспроизводимость поддерживается нормированием комплекса параметров системы дефектоскоп-преобразователь. В методиках УЗК [7-19] главным измеряемым параметром является амплитуда эхо-сигнала от дефекта. Для разбраковки эхосигналов по амплитуде устанавливается браковочный уровень чувствительности, который настраивается по СОП (стандартному образцу предприятия), в котором для имитации максимального дефекта, изготавливаются искусственные отражатели. Перед тем как проводить контроль, необходимо произвести настройку дефектоскопа по эхо-сигналам от отражателей в стандартном образце предприятия.

Далее в ходе контроля, производится сравнение эхо-сигнала от дефекта с браковочным уровнем. При амплитуде эхо-сигнала от дефекта больше браковочного уровня – дефект является недопустимым и изделие подлежит

браковке. В противном случае дефект считают допустимым по амплитуде эхо-сигнала.

1.2 Теоретические основы ультразвукового контроля

Звуковые волны представляют собой механические колебания, распространяющиеся в разных средах (твердом теле, жидкости, газе). Это относится к звукам, которые мы слышим каждый день, также как и к ультразвуковым волнам, используемым для ультразвукового контроля. Звуковые волны передаются в среде с определенной скоростью в заданном направлении. На границе раздела двух сред звуковая волна частично отражается и частично проходит в другую среду в соответствии с законом отражения и преломления. Этот физический принцип лежит в основе ультразвуковой дефектоскопии. Иными словами, ультразвуковые волны отражаются от трещин и других несплошностей в объекте контроля; путем анализа эхо-сигналов опытный оператор может идентифицировать и локализовать скрытые внутренние дефекты. Большинство ультразвуковых дефектоскопов работают в диапазоне частот от 50000 до 10000000 колебаний в секунду (от 50 кГц до 10 МГц).

Ультразвуковые волны, используемые для обнаружения дефектов, генерируются и принимаются ультразвуковыми преобразователями. УЗ ПЭП конвертируют электрические импульсы в ультразвуковые волны, а ультразвуковые волны – в электрическую энергию. При возбуждении элемента электрическим импульсом генерируются ультразвуковые волны, посылаемые в объект контроля при приёме под воздействием эхо-сигналов, пьезоэлемент генерирует напряжение. Пьезоэлектрический элемент, часто называемый кристаллом, защищен износостойкой накладкой (протектором), сверху пьезоэлемент снабжен блоком из демпфирующего материала, служащего для гашения вибраций в преобразователе после испускания импульса.

Для передачи ультразвука от преобразователя в объект контроля и используются контактные жидкости, практически во всех случаях контактного

ультразвукового контроля. Контактные жидкости обычно представляют собой вязкие нетоксичные жидкости, гели или пасты. Необходимость их использования диктуется тем, что ультразвук плохо распространяется в воздухе. Даже очень тонкий слой воздуха между преобразователем и поверхностью объекта контроля не позволяет удовлетворительно передавать ультразвуковую энергию и делает ультразвуковой контроль невозможным. В качестве контактных жидкостей может быть вода, машинное масло, смазка и другие.

Одноэлементный преобразователь передает энергию исследуемому объекту. Создаваемую им волну можно математически смоделировать как сумму волн от множества точечных источников. Согласно принципу Гюйгенса, каждый точечный элемент фронта волны является источником сферических волн, а результирующее волновое поле является суммой этих отдельных сферических волн.

При прохождении в объект фронт волны, генерированный ультразвуковым преобразователем, ослабевает из-за поглощения энергии в микроструктуре материала. Энергия упругих колебаний (звуковые волны) уменьшается по мере прохождения через среду до тех пор, пока колебания не затухнут. Этот процесс называется затуханием звука. Математическая теория затухания и рассеяния звука достаточно сложная.

Если на пути волны при ее прохождении оказывается граница с иной средой, часть энергии волны отразится, а часть энергии волны переходит во вторую среду, при этом происходит их расщепление и преломление. Соотношение отразившейся и передаваемой далее энергии связано со значениями акустического импеданса обеих сред. Акустический импеданс – это плотность материала, помноженная на скорость звука.

Если на пути волны при ее прохождении через материал оказывается граница иной по составу среды, лежащая под углом более 0 градусов к направлению волны, часть энергии волны отразится под углом, равным углу

падения. В то же время, энергия волны, переданная во вторую среду, будет преломлена в соответствии с законом Снеллиуса (закон синусов) [20].

1.3 Реконструкция акустических изображений

В задачу интроскопии входит: идентификация и обнаружение различного рода отклонений от заданных параметров или свойств изделия, тел и сред, исследование явлений и процессов, происходящих в полупрозрачных и непрозрачных средах. Отдельные методы и средства в интроскопии, которые применяются для НК промышленных изделий и материалов, сходны с методами и средствами дефектоскопии и в частности, рентгеноскопии [21].

Интроскопия осуществляется с помощью средств визуализации пространственного распределения различных проникающих излучений (полей): упругих колебаний (в диапазонах 10 Гц - 1000 МГц), всего диапазона электромагнитных колебаний (жёсткие гамма-излучения и низкочастотные колебания), магнитостатических, электрических и гравитационных полей, потоков элементарных частиц (нейтрино, нейтронов и т.д.) [21]. Ультразвуковая интроскопия базируется на свойствах ультразвуковых колебаний проникать сквозь металлы (пластмасса, живая ткань, строительные материалы, оптически непрозрачные жидкости) и отражаться от неоднородностей.

Усилия исследователей в основном сейчас направлены не на разработку средств измерений, а на разработку (создание) методов обработки акустических сигналов, акустических изображений.

Акустическое изображение этого своего рода оптический эквивалент изображения, где яркость и цвет отражают акустические свойства изделия или объекта.

Для того чтобы описать акустические свойства объектов обычно вводятся функции неоднородности, отличные от нуля в местах где располагаются сами неоднородности. К примеру, если в однородной среде со скоростью звука c_0 находится область неоднородностей со скоростью звука $c(r)$ функция будет иметь вид (см. формулу 1):

$$O(r) = 1 - c_0 \cdot c(r) \text{ или } O(r) = - \left[1 - (c_0 \cdot c(r))^2 \right], \quad (1)$$

где: r — радиус-вектор текущей точки.

В этом случае, функцию можно будет рассмотреть как возможную функцию неоднородности. Акустическое изображение будет являться формой визуализации функцией неоднородности, для данной задачи.

Изображение в данном случае это произвольный сигнал. Смысл в построении акустических изображений, заключен в предоставлении данных об исследуемых объектах и средах в форме, которая позволяет задействовать возможности человека по интерпретации и анализу привычных ему оптических изображений.

Мозг человека как бы «настроен» под анализ изображений и может быть способен выполнять операции, которые в большинстве невозможно реализовать алгоритмически.

В основу обработки человеком изображения положен принцип совместного анализа отдельных точек изображения с выделением согласно итогам анализа определенных свойств и признаков. И для того чтобы извлечь максимальный объем информации из совокупностей отдельных сигналов применяют формат акустического изображения.

Различают три основных вида изображений в ультразвуковой интроскопии: голографическое, томографическое, и ортографическое.

Ортографическое изображение – это изображение, аналогичное фото и рентгеновскому снимку, которое можно охарактеризовать нормальным расположением плоскости к направлениям лучей.

Томографическое изображение – это изображение, соответствующее перпендикулярной плоскости к плоскости прозвучивания. Она представляет собой визуализацию слоя объекта или части объема.

Голографическое изображение – это объемное изображение объекта, которое получается в ходе визуализации рассеянного звукового слоя.

Рассмотрим подробнее томографические изображения.

Эти изображения можно построить при помощи методов акустической реконструктивной томографии по набору проекционных данных. Методы восстановления изображения по набору проекционных данных для всех томографических методов общие. Основаны они на свойствах системы линейных уравнений: достаточно иметь число линейно – независимых уравнений (лучевые суммы), которое будет не меньше числа элементов изображения.

Решение данной системы уравнений позволит вычислить значения измеряемого параметра в каждой точке сечения.

В акустической томографии могут быть подвергнуты визуализации локальные поля скоростей, локальные поля затухания, локальные поля коэффициентов отражения.

Томографическое изображение - это масштабное изображение акустических характеристик в определенных сечениях трехмерных объектов. Акустическая томография – это направление акустики, которое включает в себя изучение процессов, связанных с получением или восстановлением (формированием) акустических томограмм.

Изображение можно будет соотнести с любым сечением реального объекта (горизонтальная и вертикальная плоскости). Томографические изображения можно получить непосредственно при сканировании фокусирующих или направленных акустических систем, а также реконструкцией из набора проекционных изображений. Первый случай - это нереконструктивная томография, а в второй — это реконструктивная томография.

Пример преобразователя углового сканирования, приведен на рисунке 2. Центральным элементом в нём является качающийся пьезоэлектрический дисковой датчик, излучающий в процессе качания короткие импульсы и принимающий отраженный сигнал.

Пьезодатчик с микродвигателем и датчиком угла поворота помещают в защитную капсулу, которая заполнена контактной жидкостью. Значение

изображения в текущей точке $M(r, \phi)$ соответствует уровню принимаемого сигнала, поступающего на датчик через время $t = 2r/c$ после момента излучения (c - скорость звука в среде) и при наклоне датчика, равном ϕ (см. рисунок 2). В ходе измерения формируется секторное изображение в пределах зоны, границы которой показаны на рисунке 2 штриховой линией.

Для того чтобы отобразить результаты измерений на мониторе необходимо лишь пересчитать координаты измерений $M(r, \phi)$ в декартовы координаты $M(x, y)$, которое можно осуществить так называемых конверторах изображения.

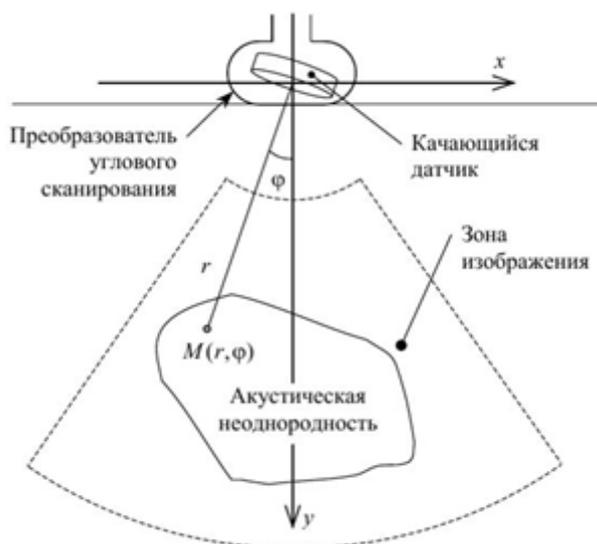


Рисунок 2 - Схема измерений, формирующая акустическое изображение без проведения реконструкции

Отражающая способность на секторном изображении отображается в каждой точке. Отражающая способность описывается амплитудой отраженного сигнала в точке $M(r, \phi)$. Амплитуда принятого сигнала на экране модулирует яркость пикселей, с помощью которых отображается данная точка [22].

1.4 Ультразвуковая томография

Самым более информативным методом УЗК, можно отнести эхо – метод (или метод отражения). Метод отражения часто применяют в разных вариантах для контроля металлоконструкций. Метод позволяет получать детальные

количественные характеристики дефектов конструкции при одностороннем доступу к ней.

Ультразвуковые приборы обладают весьма высокими техническими характеристиками и сервисными возможностями. Их чувствительность позволяет обнаруживать в мелкоструктурных сталях дефекты (или несплошности) порядка десятых долей миллиметра, разрешающая способность которой находится на уровне 0,5 – 1 мм [23].

Но возможности эхо-метода в настоящее время использованы не полностью. Координаты отражателей принято измерять по критерию максимума амплитуды эхо-сигнала, который может привести к ошибкам, а иногда значительным. По амплитуде эхо-сигнала также оценивают размеры отражателей. Удастся во многих случаях определить только условные размеры, вместо реального размера дефектов. Тип и характер дефекта оцениваются лишь приблизительно. Для точной оценки этих параметров приходится прибегать к весьма трудоемким методикам. При этом производительность контроля низкая. А самое главное — квалификация оператора-дефектоскописта должна быть на уровне искусства.

Наряду с традиционными типами ультразвуковых дефектоскопов общего и специального назначения, интенсивно начал развиваться новый тип дефектоскопических приборов — ультразвуковые томографы, которые основаны на методах отражения, в них для излучения и приема ультразвуковых волн используются решетки пьезоэлементов, объединенных конструктивно в одном корпусе.

Физический принцип работы решетки пьезоэлементов с аппаратурой заключается в электронном управлении функцией направленности ее акустического поля, в результате чего достигается обзор материала, его пространства под решеткой.

По аналогии с антенной техникой такие ультразвуковые решетки называют антенными решетками (АР). Существуют несколько способов управления направленностью поля решеток. Часто применяют способ

временной фазировки пьезоэлементов (распределения взаимных задержек сигналов), поэтому решетки в такой аппаратуре обычно называют ФАР (фазированными антенными решетками) [23].

1.4.1 В – скан как формат отображения данных

В-скан - опция отображения данных по одному значению. Формат В-скан обычно используется традиционными ультразвуковыми дефектоскопами и коррозиметрами для отображения глубины отражателей относительно их линейного положения. Значение толщины рассчитывается в зависимости от времени или положения, тогда как сканирование ПЭП вдоль объекта контроля позволяет получить профиль по глубине. Корреляция данных УЗК с текущим положением преобразователя позволяет получить пропорциональное изображение, а также отслеживать и соотносить данные с конкретными зонами объекта контроля. Отслеживание положения обычно осуществляется с помощью электромеханических устройств, известных как кодировщики. Эти кодировщики используются на специальных креплениях для ручного сканирования, или в автоматизированных системах, которые позволяют перемещать преобразователь с помощью программируемого моторизованного сканера. В обоих случаях кодировщик записывает положение каждой позиции сбора данных по отношению к заданной пользователем модели сканирования и разрешению оси индексирования.

Первым и вполне логичным техническим решением, улучшающим информативность ультразвукового контроля, является представление эхосигналов в виде двумерных изображений (развертка типа В). Принцип формирования изображения демонстрирует рисунок 3.

Построение развертки В производится по серии эхосигналов, полученных в процессе перемещения преобразователя по поверхности объекта контроля. Амплитуда эхосигнала характеризует яркость изображения. Эхосигналы, соответствующие заданным позициям преобразователя, отображаются (проецируются) в плоскости в определенном масштабе на

дисплее. Развертка типа В (см. рисунок 3) представляет зависимость амплитуды эхосигнала от глубины и одного из направлений сканирования (вид сбоку)

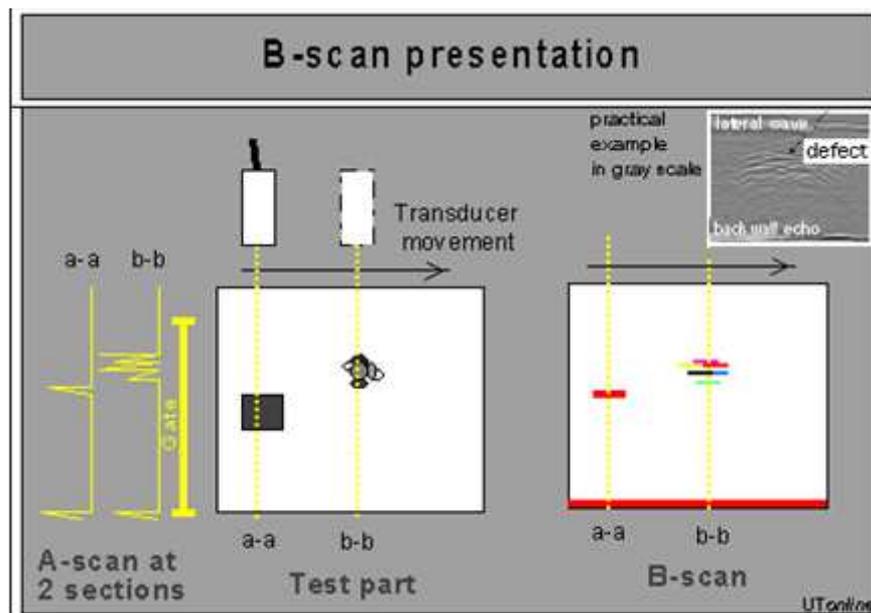


Рисунок 3 - Представление данных прозвучивания на развертке типа В (B-scan).

Такой класс аппаратуры создавался в основном в 70-е – 80-е годы. Показателен тот факт, что сейчас в литературе зарубежного издательства практически нет статей, которые посвящены дефектоскопам с разверткой В-типа, полученными без применения пространственной компьютерной обработки [24].

1.5 Виды преобразователей

Современные дефектоскопы комплектуют большим набором излучателей и приемников УЗ волн. Отличаются они по некоторому ряду признаков:

- первый признак – это способ контакта с изделием (контактные, щелевые, иммерсионные преобразователи);
- второй признак – это направление ультразвуковых колебаний к поверхности изделия (наклонные и прямые преобразователи);
- третий признак – это способ соединения с дефектоскопом: отдельные (один элемент выполняет роль излучателя, другой – приемника), совмещенные (один и тот же элемент выполняет функции излучателя и приемника).

Кроме этих также существуют другие специальные преобразователи: фокусирующие, широкозахватные, для контроля по грубой поверхности, с переменным углом ввода.

Рассмотрим устройство основных типов преобразователей [25].

1.5.1 Прямые преобразователи

Тип контактный – работа по совмещенной схеме.

В преобразователях отечественного производства пьезопластина в основном изготавливается из ЦТС (цирконат титанат свинца). Толщину пьезопластины делают равной половине длины волны. Примером практической конструкции преобразователя можно увидеть на рисунке 4.

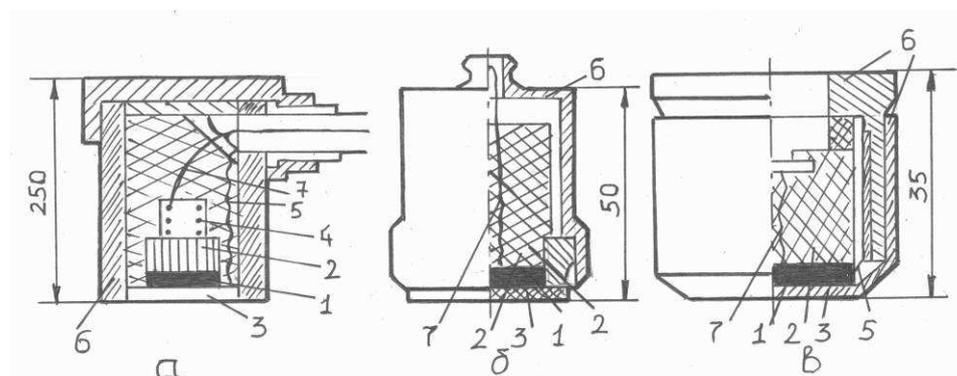


Рисунок 4 – Прямой преобразователь: 1 – пластина; 2 – демпфер; 3 – протектор; 4 – предусилитель; 5, 7 – проводники; 6 – корпус.

Пластина 1 соединяется с кабелем и дефектоскопом при помощи проводников 5 и 7. В основном один электрод соединяется с корпусом, который заземляется.

В преобразователе «Снежинка» в демпфере размещают катушку индуктивности контура пьезопластины. Иногда во внутренней части преобразователя помещают предусилитель. В «Крауткремере» катушку индуктивности монтируют в разъеме кабеля, который затем подсоединяют к преобразователю. Преобразователь ИЦ – 1 предназначен для работы с дефектоскопом, где катушка индуктивности размещена в приборе. пьезопластину приклеивают к демпферу 2.

В ИЦ – 1 демпфер изготовлен из эпоксидной смолы. К прилегающей пластине, часто вводят порошок из вольфрама или свинца в пропорции 1:12 по

массе. Оно повышает характеристический импеданс демпфера, а также увеличивает широкополосность преобразователя. Протектор 3 преобразователя должен обладать высокой износоустойчивостью, обеспечивает высокую чувствительность преобразователя и стабильность акустического контакта с изделием. В преобразователе «Снежинка» используют металлокерамический протектор. Он удовлетворяет лишь первым двум условиям.

Протектор преобразователя ИЦ-1 изготавливают из материала с повышенным затуханием ультразвука, из эпоксидной смолы с металлическим, в основном бериллиевым наполнителем или же из лигнофоля (прессованная древесина). Их применение повышает стабильность акустического тракта, но износостойкость такого протектора хуже, чем металлокерамического. В «Крауткремере» протектор выполнен из эластичного материала типа полиуретана, который обладает большим поглощением звука, также может деформироваться, способен облегать до некоторой степени неровности поверхности изделия, что повышает стабильность акустического контакта. Преобразователь такого типа позволяет контролировать изделия с неровностями поверхности до 0,3 мм (не требует смазки контактной жидкостью).

Но он не может гладко скользить по поверхности изделия. Для того чтобы провести сканирование его необходимо отрывать и вновь плотно прижимать к поверхности, что будет сильно замедлять процесс проведения контроля. Наличие большого затухания в протекторе дает возможность снижать чувствительность на 20 дБ.

Размеры пьезопластины подбирают с учетом поля излучения – приема. Увеличение ее диаметра приводит к сужению диаграммы направленности в дальней зоне, но и в то же время увеличивает протяженность ближней зоны, где выявление дефектов затрудняется из-за наличия максимумов и минимумов давления на оси пучка. Лучше всего применять маленькие преобразователи для контроля тонких изделий, а большие преобразователи для контроля изделий больших толщин.

В массовых преобразователях дефектоскопов отечественного производства отношение диаметра пьезопластины к длине волны в стали

$$\frac{2\alpha}{\lambda_{ст}} = 2,5 - 8$$

В других странах обычно применяют пьезопластины большего диаметра

$$\frac{2\alpha}{\lambda_{ст}} = 4 - 20$$

Максимальный диаметр пластин может достигать 50 – 100 мм [25].

1.5.2 Наклонные преобразователи

Отличие наклонного преобразователя от прямого преобразователя - это наличие наклонной призмы (см. рисунок 5).

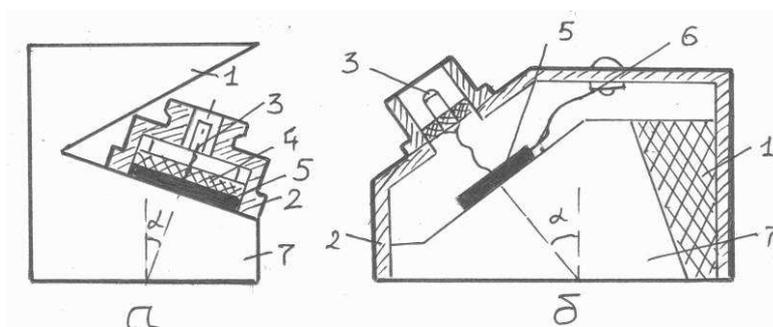


Рисунок 5 – Наклонный преобразователь: 1, 7 – призма; 2 – корпус; 3 – пьезоэлемент; 4 – протектор; 5, демпфер.

Пьезоэлемент излучает в призму продольные волны, которые на границе призмы с изделием преломляются и вследствие этого трансформируются в поперечные. Часть энергии продольной волны отражённая под углом β попадает в ловушку, и гасится в ней. Демпфер в наклонных преобразователях либо отсутствует, либо его делают из материала с малым акустическим сопротивлением, потому что там нет идущей в направлении к пластине отраженной волны. Пьезопластину прижимают к призме через слой контактной жидкости (масло) или приклеивают к ней. Призму наклонного преобразователя чаще всего изготавливают из оргстекла. Угол падения луча в призме или преломляющий угол выбирают так, чтобы в изделии возникали только поперечные волны. Данное условие выполняется в интервале между 1-ым и 2-ым критическими углами. Особое внимание

уделяется на то, чтобы не возбуждалась поверхностная волна, так как она вызовет появление интенсивных ложных сигналов от неровностей поверхности изделия.

Необходимо выполнить следующее условие

$$\alpha + \frac{\lambda_{\beta}}{2\alpha} < \beta_s$$

где: λ_{β} - длина волны в материале призмы;

2α – диаметр пьезопластины;

β_s - угол наклона призмы, при котором возбуждается поверхностная волна.

Для пары оргстекло – сталь при $\frac{\lambda_{\beta}}{2\alpha} < 0,12$ угол β выбирают в пределах $28,5 - 55^{\circ}$. Согласно закону синусов, в стали будут возбуждаться поперечные волны под углами $\gamma_m = 35 - 80^{\circ}$.

Если же необходимо возбуждение волны в изделии под меньшими углами преломления, угол наклона призмы выбирают меньше 1-го критического, используют продольную преломленную волну. Для того чтобы поперечная волна не мешала контролю, необходимо отступить от 1-го критического угла на 4 и более градусов в меньшую сторону. Пример: для пары оргстекло – сталь при $\beta=18^{\circ}$ угол преломления продольной волны будет 45° , поток энергии продольной волны в 2 раза больше потока энергии поперечной волны.

Для контроля сварных швов часто используют наклонные преобразователи с возбуждением продольных волн. Подбирая соответствующие углы наклона призмы, при помощи наклонных преобразователей возбуждают поверхностно-продольные и поверхностные волны, а также различные моды волн в пластинах и стержнях.

При конструировании призмы наклонного преобразователя большое внимание обращают на то, чтобы отраженные от поверхности призма - изделие волны попадали в ловушку, а не на пьезопластину.

Для того чтобы улучшить гашение УЗ волн в ловушке ее грани иногда делают ребристыми или в ловушке сверлят множество мелких отверстий [25].

1.5.3 Раздельно-совмещенные преобразователи

Раздельно-совмещенные преобразователи представлены на рисунке 6.

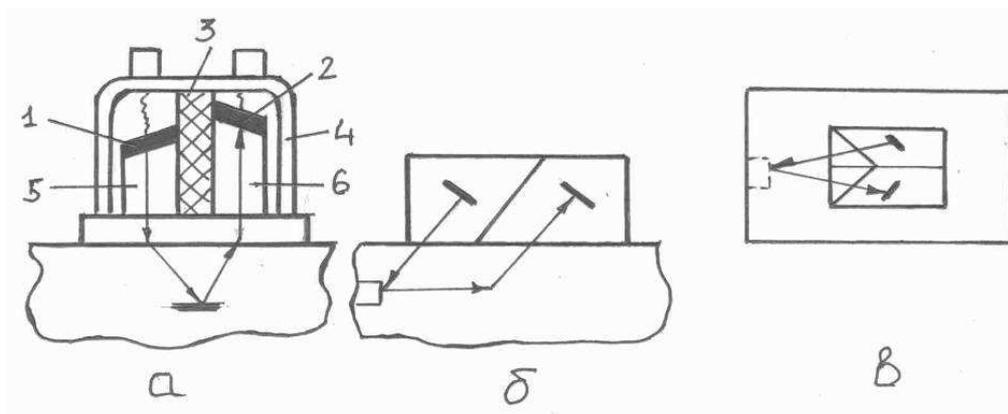


Рисунок 6 - Раздельно-совмещенные преобразователи: 1 – излучатель; 2 – экран; 3 – приёмник; 4 – корпус; 5, 6 – углы наклон призм.

В них излучатель 1 и приёмник 3 объединены конструктивно в одном корпусе 4 и разделены электрическим и акустическим экраном 2. Акустическая и электрическая изоляция должны быть такими, чтобы зондирующий импульс практически не попадал в приемник. Варьируя углами призм 5 и 6 (от 0 до 10^0), высотой и расстоянием между ними и размерами пьезоэлементов, можно изменять минимальную и максимальную глубину прозвучивания, уменьшать мертвую зону до 1 – 2 мм.

Есть возможность обеспечить постоянную чувствительность к дефектам при различном расстоянии от поверхности. Преобразователям такого типа свойственен специфический вид помех, который связан с передачей сигнала от излучателя к приемнику с помощью поверхностных волн. Такие преобразователи применяют также как вариант наклонного преобразователя.

В таком случае призмы преобразователя выполняют так, чтобы обеспечить большой угол наклона общей оси преобразователя и значительно меньший (от 0 – 10^0) угол встречи осей излучателя и приемника. Для возбуждения и приема поверхностно-продольных (головных) волн применяются преобразователи только раздельно-совмещенного типа, так как большой уровень помех в призме полностью маскирует полезные сигналы при включении преобразователя по совмещенной схеме [25].

1.5.4 Иммерсионные преобразователи

Иммерсионные преобразователи, предназначены для контроля изделия, помещенного в иммерсионную ванну. Отличие от прямых контактных преобразователей в том, что такие преобразователи имеют повышенный характеристический импеданс демпфера, протектор которого в основном изготавливают из эпоксидной смолы толщиной, равной четверти длины волны. Такой протектор обеспечивает просветление границы пьезоэлемента – иммерсионная жидкость и гидроизоляцию пластины.

Достоинство иммерсионного способа заключается в высокой стабильности акустического контакта. По этой причине предложены различные конструкции преобразователей, которые сохраняют иммерсионную жидкость на месте контакта – локально-иммерсионные преобразователи.

Одна из конструкций (см. рисунок 7а) использует для обеспечения акустического контакта непрерывно истекающую струю жидкости.

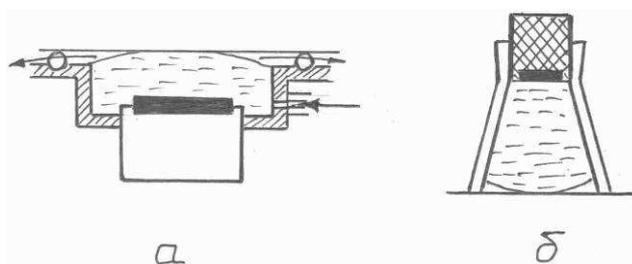


Рисунок 7 – Иммерсионные преобразователи

Если такой преобразователь будет расположен сверху над изделием, расход жидкости в нём будет велик. По этой причине его обычно располагают снизу. Если напор будет слабым на открытой поверхности жидкости, будет образовываться выпуклый мениск и жидкость будет почти не вытекать. Данные преобразователи используются с пьезопластинами малого диаметра.

Для пьезопластин большого диаметра разработаны локальные иммерсионные ванны с тонкой эластичной мембраной (см.рисунок 7б), которые препятствуют вытеканию жидкости и довольно хорошо облегают неровности поверхности. Мембрану изготавливают из маслостойкой резины или же полиуретана, характеристический импеданс которых близок к импедансу воды.

Благодаря такой мембране эхо-сигнал от границы мембрана-жидкость практически отсутствует [25].

1.5.5 Преобразователи для контроля при высоких температурах

Для температур до 400 – 600⁰С удастся подобрать пластмассовые теплостойкие материалы для акустических задержек и силиконовые смазки, которые обеспечивают возможность сохранения обычной схемы контроля.

В качестве ПЭП для температуры до 300⁰С используют специальные сорта циркония титаната свинца (ЦТС), до 500⁰С – кварц, а до 1000⁰С – ниобат лития [25].

1.5.6 Преобразователи на основе фазированных решёток (ФР)

Фазированные решётки (см. рисунок 8) представляют собой набор нескольких пьезоэлементов, которые конструктивно объединены в одном корпусе преобразователя.

Физический принцип работы фазированных решёток в составе УЗ-дефектоскопа заключается в генерации ультразвуковых волн всеми пьезоэлементами, которые в комплексе формируют ультразвуковой пучок. Ультразвуковой контроль с помощью ФР имеет преимущества перед обычным ультразвуковым контролем. Можно изменять угол наклона луча и фокусировку, а также регулировать геометрию эхо-сигналов для минимизации ложных индикаций.

Фазированные решётки дают возможность проводить контроль геометрически сложных деталей без необходимости перемещения объекта или датчика.

Обычно, активный элемент преобразователя представляет собой тонкую пьезокерамическую пластину круглой или квадратной формы, которая преобразует электрическую энергию в механическую (ультразвуковые вибрации) и наоборот. Она защищена износостойкой накладкой или акустической линзой и крепится на блоке из демпфирующего материала, который служит для остановки вибраций в преобразователе после испускания импульса. Преобразователи на ФР имеют самые разные формы, размеры,

диапазон частот и количество элементов. Их общим отличием является пьезоэлектрический элемент, разделенный на некоторое количество сегментов. Современные преобразователи на ФР для промышленного НК обычно изготавливаются из пьезокомпозитов, которые, в свою очередь, состоят из множества маленьких тонких сегментов пьезоэлектрической керамики, встроенных в матрицу из полимера. Несмотря на то, что процесс производства композитных преобразователей сложнее, их чувствительность, по сравнению с аналогичными пьезокерамическими преобразователями, больше на 10–30 дБ.

Сегментное металлическое покрытие обеспечивает электрическое разделение элементов с целью их возбуждения независимо друг от друга. Этот сегментированный элемент вставляется в преобразователь с защитным слоем. В конструкцию преобразователя также входит демпфирующий материал, соединители кабеля и корпус.

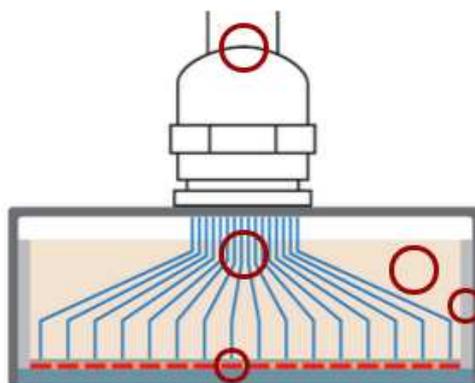


Рисунок 8 - Преобразователь с фазированной решёткой
в разрезе

В конструкцию преобразователя на ФР входит пластиковая призма. Призмы используются при контроле продольными и поперечными волнами, а также при линейном сканировании прямым преобразователем. Призмы выполняют одинаковую функцию как в системах с фазированными решетками, так и в традиционных одноэлементных преобразователях, т.е. передают звуковую энергию из преобразователя в объект контроля таким образом, что она изменяется и/или преломляется под нужным углом в соответствии с законом Снеллиуса (закон синусов). Поскольку ФР-система использует функцию управления лучом для направления лучей под разными углами,

данный эффект преломления является частью процесса генерации луча. Призмы для поперечной волны внешне очень похожи на призмы традиционных преобразователей.

Конструктивно фазированные решётки представляют собой набор пьезоэлементов различной формы, в виде прямоугольных, кольцеобразных, которые разделены между собой зазорами [26].

На практике большое распространение получили фазированные решетки, которые представляют собой набор эквидистантно расположенных, развязанных между собой электрически и акустически однотипных полосковых пьезоэлементов, установленных вдоль одной линии на общем протекторе (см. рисунок 9).

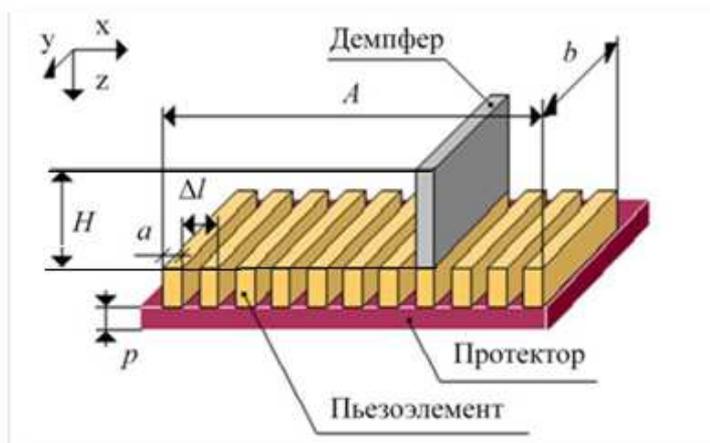


Рисунок 9 — Схематическое изображение конструкции многоэлементной фазированной решётке: A – активная апертура фазированной решетки; a – ширина пьезоэлемента решетки; b – длина пьезоэлемента решетки; Δl – период решетки; p – толщина протектора; H – толщина демпфера

Контактные площадки элементов металлизуются, после к ним припаиваются соединительные провода, объединенные в жгут.

В основном такая фазированная решетка состоит из 16, 32, 64 элементов (макс. 128 элементов). Такая фазированная решетка работает на частотах от 1 до 10 МГц.

Конструкция преобразователя на фазированных решетках отличается высокой сложностью, трудностью воспроизведения характеристик отдельных

элементов. Следовательно, стоимость фазированных решеток очень высока. [27].

На фазированные решетки с многоэлементными преобразователями дополнительно могут быть установлены призмы различной формы. Нужны они для ввода поперечной волны под большим углом к поверхности или же для компенсации формы объекта контроля (см. рисунок 10).

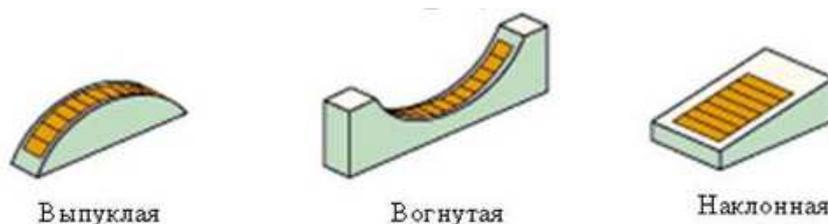


Рисунок 10 — Различные формы призм для преобразователей на фазированной решётке

В ультразвуковом контроле ФР генерируются ультразвуковые лучи с настраиваемыми углами ввода, фокусным расстоянием и размерами фокусного пятна. Но при этом можно также настроить сгенерировать луч в разных секторах ФР. Наличие таких функций открывает целый ряд новых возможностей, а именно, быстрое изменение параметров угла направления сканирования, при неизменном положении датчика.

Такая технология позволяет заменить собой целый набор датчиков и различного рода механические компоненты. При данном контроле лучом, переменный угол коэффициента обнаружения дефектов выше, независимо от ориентации луча, а соотношение сигнал-шум остается всегда наилучшим. Формирование результирующей волны с необходимым углом ввода в металл показана на рисунке 11

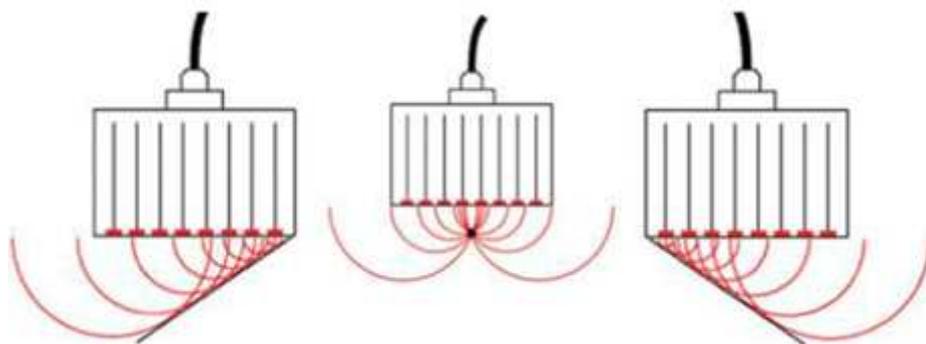


Рисунок 11 - Схема формирования в ФР результирующей волны с необходимым углом ввода в процессе интерференции составляющих ее волн

В сравнении с УЗК, в котором используется одноэлементный преобразователь, метод ФР более совершенный. Потому что, контроль ФР осуществляется гораздо проще, качественнее, быстрее. Используются они в прикладных задачах дефектоскопии при техническом диагностировании.

У ФР есть ряд достоинств и преимуществ:

- Различные углы ввода УЗ пучков можно сгенерировать при помощи одного преобразователя, который охватывает гораздо большую область на наличие дефектов;

- Большой охват позволяет, как уменьшить скорость сканирования объекта, так и увеличить разрешающую способность контроля, или совмещать их обеих;

- Получение реальных изображений положения и размеров дефектов, а также их интерпретация происходит гораздо быстрее и проще;

- Все данные, учитывающие последовательность контроля, могут быть записаны в реальном времени;

Отчеты представляются в виде изображения, что облегчает упрощение понимания результатов контроля для персонала;

По всем этим преимуществам можно судить о том, что с каждым днем возможности УЗК постоянно совершенствуются, а именно расширяется теоретическая база, развивается аппаратура, улучшаются интерфейсы приборов [28].

Визуализация УЗК также совершенствуется: для того чтобы облегчить работу операторов в дефектоскопах применяются LCD-мониторы (цветные мониторы) с подробной детализацией. Развитие методик архивирования и документирования результатов контроля выводит УЗК на принципиально новый уровень. Раньше протоколы УЗК составлялись непосредственно со слов дефектоскопистов, а сейчас оборудование само дает возможность проводить запись результатов контроля автоматически в файл, а также параллельно составляет трехмерное изображение обнаруженных несплошностей (дефектов).

Документирование результатов контроля при техническом диагностировании оборудования дает возможность дефектоскопистам при потребности воссоздать процесс контроля и более подробно изучить структуру изделия в нужной зоне, а также рассмотреть обнаруженные дефектоскопистом дефекты для принятия решения согласно технического состояния конструкции.

Часто встречаются 2 формы. Форма, которая используется в медицинских рентгенографических системах, выполняется с использованием призмы интерфейса 0 градусов для отклонения продольных волн под относительно малым углом, являющейся самой распространенной.

В таком случае, получается округлая форма, которая отображает ламинарные и наклонные дефекты (см. рисунок 12)..

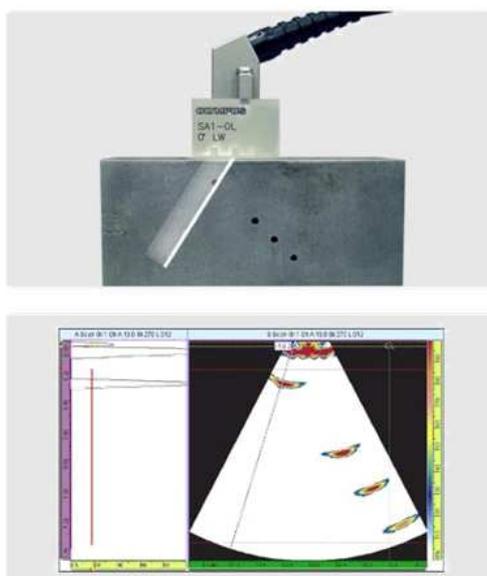


Рисунок 12 - Секторное сканирование на основе ФР в диапазоне углов преломления от -30° до 30°

Второй формат использует пластмассовую наклонную призму для увеличения угла падения луча с целью создания поперечных волн, наиболее часто в диапазоне углов преломления от 35 до 70 градусов (см. рисунок 13).

Данная технология аналогична УЗК преломленным лучом, с такой разницей, где луч проходит не под постоянным углом, которая задается призмой, а через диапазон углов. Отображаемое изображение представляет собой поперечный профиль контролируемой зоны объекта контроля.

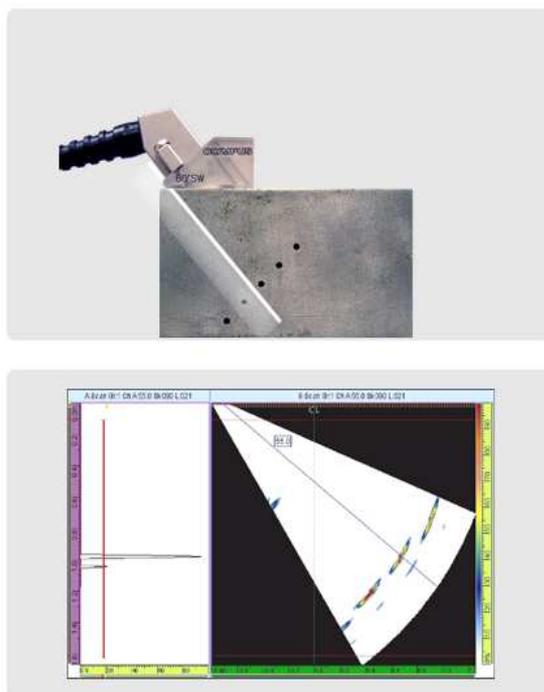


Рисунок 13 - Секторное сканирование на основе ФР
в диапазоне углов преломления от 35° до 70°

Генерирование изображений в режиме реального времени совершается согласно принципу стыкованных А-сканов. Специалист сам определяет начало и конец угла, разрешение шага для создания секторного профиля (S-скан).

Но апертура остается прежней, а каждый установленный угол формирует подходящий луч с конкретными характеристиками, который определяется апертурой, частотой, демпфированием и др.. Ответный сигнал А-скана каждого угла (закона фокусировки) оцифровывается и строится под заданным углом и конкретным цветом, образуя секторное изображение.

Секторный скан на практике, производится в режиме реального времени для создания динамического изображения по мере продвижения

преобразователя. Оно гарантирует подходящую визуализацию дефектов и повышает вероятность их выявления, а непосредственно в случае хаотично направленных дефектов, вследствие применения сразу нескольких углов контроля [29].

2 ОПИСАНИЕ ОБЪЕКТА КОНТРОЛЯ

Объектом контроля является крупногабаритное изделие - запорная арматура высокого давления (см. рисунок 14) (клапан, работающий при высоких давлениях и на трубопроводах большого диаметра).

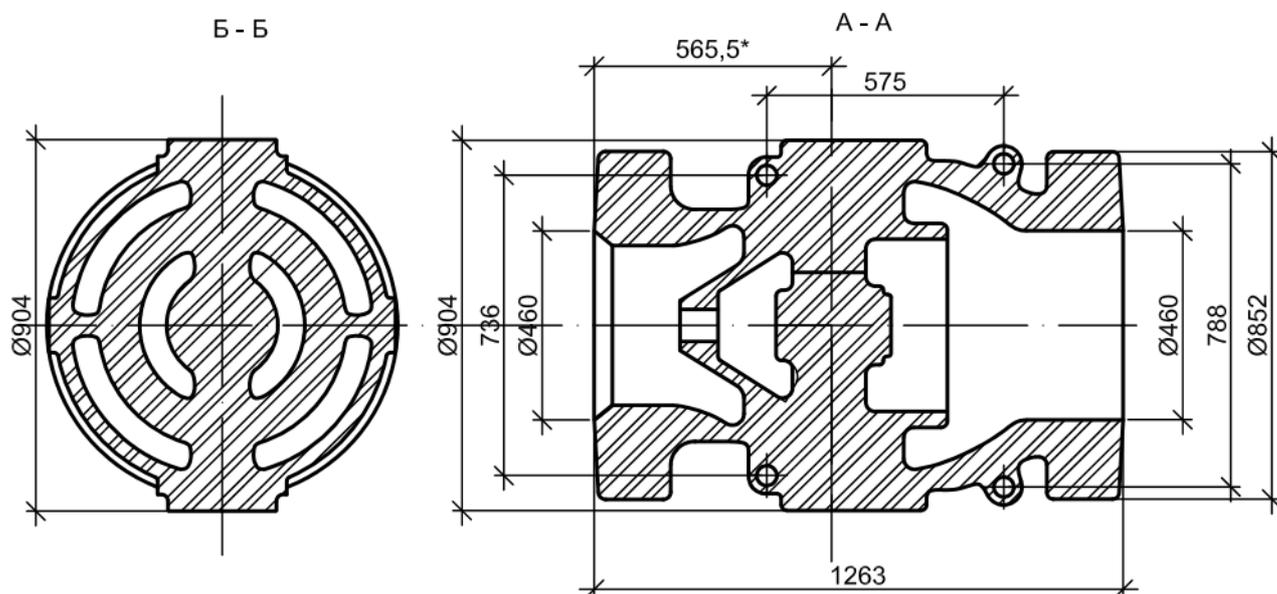


Рисунок 14 – Крупногабаритная запорная арматура высокого давления

Современная запорная арматура, предназначенная для трубопроводов высокого давления, справедливо считается гарантом надежной работы множества отраслей промышленности, в которых ведущее место принадлежит топливно-энергетическому комплексу. Изделия данного вида рассчитаны на эксплуатацию в самых разнообразных средах – газах и жидкостях, включая агрессивные. Главным отличием данного типа устройств является способность сохранения всех необходимых эксплуатационных качеств, при высоких уровнях давления.

Процесс литья и изготовления крупногабаритной запорной арматуры высокого давления достаточно трудоемок и дорог. Выявление скрытых дефектов изделий на ранних стадиях производства позволяет получить существенную экономию конечной стоимости продукции. Решение данной задачи может быть достигнуто на основе разработки методики ультразвукового томографического контроля крупногабаритной запорной арматуры высокого

давления. Крупногабаритная запорная арматура высокого давления изготавливается из легированной стали марки Сталь - 20ГЛ.

В таблице 1 приведены размеры изделий различного типа, подлежащие ультразвуковому томографическому контролю. Чертежи изделий представлены в приложении Б.

Таблица 1 – Размеры изделий

$D, мм$	$L_0, мм$
470	1476
540	1696
770	2418
904	2840
1575	4890

Где D – диаметр, L_0 – длина окружности.

2.1 Технические требования к ультразвуковой томографии крупногабаритной трубопроводной арматуры высокого давления

Основные требования к аппаратуре контроля: полный цифровой тракт (ПЦТ), высокая линейность измерения амплитуды, цифровая фильтрация и обработка сигналов, запоминание быстропротекающих процессов и вывод их на экран с определенной скоростью, доступной для нормального восприятия человеком.

Параметры ультразвукового томографического контроля приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры контроля

Диапазон установки скорости ультразвука		1000-14999 м/с		
Рабочие частоты		0.5-10 МГц	0.5-15 МГц	0.5-15 МГц
Допустимые расхождения рабочих и номинальных частот		±10 %	±10 %	±10 %
Пределы возможной абсолютной погрешности измерения глубины дефекта Н с прямым преобразователем		±(0.01Н+0.2) мм		
Диапазон измерения координат дефекта (по стали) наклонным преобразователем 65°	глубины Н	3-1300 мм		3 до 200 мм
	дальности по поверхности L	5-2800 мм		5 до 450 мм
Пределы допустимой	глубины Н	±(0.03Н+1) мм		

абсолютной погрешности измерения координат дефекта с наклонным преобразователем 65°	дальности по поверхности L	$\pm(0.03L+1)$ мм		
Диапазон измерения координат дефекта (по стали) наклонным преобразователем 70°	глубины Н	3-500 мм	3 - 100 мм	
	дальности по поверхности L	7-1400 мм	5 - 250 мм	
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерения координат дефекта с наклонным преобразователем 70°	глубины Н	$\pm(0.03H+1)$ мм		
	дальности по поверхности L	$\pm(0.03H+1)$ мм		
Пределы допустимой абсолютной погрешности измерения отношений амплитуд сигналов на входе приемника	± 0.5 дБ			
Разрешение экрана	640×480	640×480	320×240	
Заявленная наработка на отказ, не менее	35000 ч	32000 ч	18000 ч	
Заявленный срок службы, не менее	8 лет	5 лет	5 лет	
Диапазон рабочих температур	от -30 до +55°C	от -30 до +50°C	от -30 до +50°C	

7 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Данная магистерская работа посвящена исследованиям, лежащим в области неразрушающего контроля, и касается ультразвукового контроля. Неразрушающий контроль заключается в выявлении дефектов типа нарушений сплошности материала изделия, оценке структуры материала изделий, контроле геометрических параметров изделий без нарушения свойств, функционирования и пригодности к применению объекта.

Целью магистерской диссертации является анализ возможностей ультразвукового томографического контроля объектов цилиндрической формы на примере крупногабаритной запорной арматуры высокого давления.

Задача состоит в разработке методики контроля крупногабаритной запорной арматуры высокого давления.

Используя вышеизложенное, необходимо оценить на конкурентоспособность и перспективность разработки и провести анализ сравнительной эффективности проекта.

7.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

7.1.1 Анализ конкурентных технических решений

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

С этой целью может быть использована вся имеющаяся информация о конкурентных разработках:

- технические характеристики разработки;
- конкурентоспособность разработки;
- уровень завершенности научного исследования (наличие макета,

прототипа и т.п.);

- бюджет разработки;
- уровень проникновения на рынок;
- финансовое положение конкурентов, тенденции его изменения и т.д.

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты, пример которой приведен в таблице 6. Для этого необходимо отобрать не менее трех-четырёх конкурентных товаров и разработок.

Таблица 6- Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерии	Баллы			Конкурентоспособность		
		Бф	Бк1	Бк2	Кф	Кк1	Кк2
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Повышение производительности труда пользователя	0,1	5	4	3	0,5	0,4	0,3
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,05	5	5	5	0,25	0,25	0,25
3. Помехоустойчивость	0,05	5	4	4	0,25	0,2	0,2
4. Энергоэкономичность	0,03	4	4	5	0,12	0,12	0,15
5. Надежность	0,07	5	5	3	0,35	0,35	0,21
6. Уровень шума	0,03	5	5	5	0,15	0,15	0,15
7. Безопасность	0,09	5	3	5	0,45	0,27	0,45
8. Потребность в ресурсах памяти	0,05	4	4	4	0,2	0,2	0,2
9. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,03	4	4	5	0,12	0,12	0,15
10. Простота эксплуатации	0,05	5	4	5	0,25	0,2	0,25
11. Качество интеллектуального интерфейса	0,05	5	5	5	0,25	0,25	0,25
12. Возможность подключения в сеть ЭВМ	0,05	5	5	5	0,25	0,25	0,25
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,15	5	5	4	0,75	0,75	0,6

2. Уровень проникновения на рынок	0,1	5	5	5	0,5	0,5	0,5
3. Цена	0,02	4	4	5	0,08	0,08	0,1
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,02	5	5	5	0,1	0,1	0,1
5. Послепродажное обслуживание	0,03	5	5	5	0,15	0,15	0,15
6. Финансирование научной разработки	0,01	5	5	4	0,05	0,05	0,04
7. Срок выхода на рынок	0,01	5	5	5	0,05	0,05	0,05
8. Наличие сертификации разработки	0,01	5	5	5	0,05	0,05	0,05
Итого	1				4,87	4,49	4,4

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в таблице 6, подбираются, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum V_i \cdot B_i, \quad (9)$$

где: K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

V_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Основываясь на знаниях о конкурентах, следует объяснить:

- чем обусловлена уязвимость позиции конкурентов и возможно занять свою нишу и увеличить определенную долю рынка;

- в чем конкурентное преимущество разработки.

Итогом данного анализа, действительно способным заинтересовать партнеров и инвесторов, может стать выработка конкурентных преимуществ, которые помогут создаваемому продукту завоевать доверие покупателей посредством предложения товаров, заметно отличающихся либо высоким

уровнем качества при стандартном наборе определяющих его параметров, либо нестандартным набором свойств, интересующих покупателя.

7.1.2 Технология QuaD

Технология QuaD (QUality ADvisor) представляет собой гибкий инструмент измерения характеристик, описывающих качество новой разработки и ее перспективность на рынке и позволяющие принимать решение целесообразности вложения денежных средств в научно-исследовательский проект.

В основе технологии QuaD лежит нахождение средневзвешенной величины следующих групп показателей:

1) Показатели оценки коммерческого потенциала разработки:

- влияние нового продукта на результаты деятельности компании;
- перспективность рынка;
- пригодность для продажи;
- перспективы конструирования и производства;
- финансовая эффективность.
- правовая защищенность и др.

2) Показатели оценки качества разработки:

- динамический диапазон;
- вес;
- ремонтпригодность;
- энергоэффективность;
- долговечность;
- эргономичность;
- унифицированность;
- уровень материалоемкости разработки и др.

Показатели оценки качества и перспективности новой разработки подбираются исходя из выбранного объекта исследования с учетом его технических и экономических особенностей разработки, создания и коммерциализации.

Для упрощения процедуры проведения QuaD рекомендуется оценку проводить в табличной форме (см. таблицу 7).

В соответствии с технологией QuaD каждый показатель оценивается экспертным путем по стобальной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 100 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Таблица 7 - Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерии	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение (3/4)	Средневзвешенное значение (5*2)
1	2	3	4	5	6
Показатели оценки качества разработки					
1. Энергоэффективность	0,1	80	100	0,8	0,08
2. Помехоустойчивость	0,05	80	100	0,8	0,04
3. Надежность	0,07	90	100	0,9	0,063
4. Безопасность	0,09	100	100	1	0,09
5. Потребность в ресурсах памяти	0,05	60	100	0,6	0,03
6. Функциональная мощность	0,03	80	100	0,8	0,024
7. Простота эксплуатации	0,05	80	100	0,8	0,04
8. Качество интеллектуального интерфейса	0,05	95	100	0,95	0,0475
9. Ремонтопригодность	0,05	70	100	0,7	0,035
Показатели оценки коммерческого потенциала разработки					
10. Конкурентоспособность продукта	0,15	100	100	1	0,15
11. Уровень проникновения на рынок	0,1	90	100	0,9	0,09
12. Цена	0,02	80	100	0,8	0,016
13. Финансовая эффективность научной разработки	0,01	90	100	0,9	0,009
14. Наличие сертификации разработки	0,01	100	100	1	0,01
Итого	1				

Оценка качества и перспективности по технологии QuaD определяется по формуле (10):

$$P_{\text{ср}} = \sum B_i \cdot B_i, \quad (10)$$

где: $P_{\text{ср}}$ – средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – средневзвешенное значение i -го показателя.

$$P_{\text{ср}} = 82,9$$

Значение $P_{\text{ср}}$ позволяет говорить о том, что разработка перспективная. По результатам оценки качества и перспективности делается вывод об объемах инвестирования в текущую разработку и направлениях ее дальнейшего улучшения.

Технология может использоваться при проведении различных маркетинговых исследований, существенно образом снижая их трудоемкость и повышая точность и достоверность результатов.

7.2 Планирование научно-исследовательских работ

7.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты, численность групп может варьироваться. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

В данном разделе необходимо составить перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, провести распределение

исполнителей по видам работ. Примерный порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 8.

Таблица 8 - Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1. Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2. Подбор и изучение материалов по теме	Магистрант
	3. Проведение патентных исследований	Магистрант
	4. Выбор направления исследований	Руководитель
	5. Календарное планирование работ по теме	Руководитель
Теоретические и экспериментальные исследования	6. Подготовка образцов для экспериментов	Магистрант
	7. Построение макетов (моделей) и проведение экспериментов	Магистрант
	8. Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Магистрант
Обобщение и оценка результатов	9. Оценка эффективности полученных результатов	Магистрант
	10. Определение целесообразности проведения ОКР	Магистрант
Оформления отчета по НИР	11. Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	Магистрант

7.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения

ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожі}$ используется следующая формула (11):

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5} \quad (11)$$

где: $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

t_{mini} – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

t_{maxi} – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i} \quad (12)$$

где: T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

7.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ. Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой (13):

$$T_{ki} = T_{pi} \times k_{кал} \quad (13)$$

где: T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле (14):

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} \quad (14)$$

где: $T_{\text{кал}} = 366$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}} = 104$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}} = 14$ – количество праздничных дней в году.

Таблица 9 - Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работ								
	t_{min} , чел-дни			t_{max} , чел-дни			$t_{\text{ож}}$, чел-дни		
	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
Составление и утверждение технического задания	1	1	1	4	4	4	2,2	2,2	2,2
Подбор и изучение материалов по теме	10	10	10	15	15	15	12	12	12
Проведение патентных исследований	7	7	7	10	10	10	8,2	8,2	8,2
Выбор направления исследований	4	4	4	6	6	6	4,8	4,8	4,8
Календарное планирование работ по теме	2	2	2	4	4	4	2,8	2,8	2,8
Подготовка образцов для экспериментов	5	5	6	10	10	10	7	7	7,6
Построение макетов (моделей) и проведение экспериментов	10	10	10	12	12	12	10,8	10,8	10,8
Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	5	6	6	8	10	10	6,2	7,6	7,6
Оценка эффективности полученных результатов	7	5	5	10	7	7	8,2	5,8	5,8

Определение целесообразности проведения ОКР	5	6	6	7	8	8	5,8	6,8	6,8
Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	5	10	15	7	13	25	5,8	11,2	19

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе T_{ki} округляем до целого числа. Все рассчитанные значения сводим в таблицу 10.

Таблица 10 - Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Длительность работ в рабочих днях, T_{pi}			Длительность работ в календарных днях, T_{ki}		
	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
Составление и утверждение технического задания	2	2	2	3	3	3
Подбор и изучение материалов по теме	12	12	12	18	18	18
Проведение патентных исследований	9	9	9	12	12	12
Выбор направления исследований	5	5	5	7	7	7
Календарное планирование работ по теме	3	3	3	4	4	4
Подготовка образцов для экспериментов	7	7	11	10	10	11
Построение макетов (моделей) и проведение экспериментов	10,8	10,8	10,8	16	16	16
Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	6,2	7,6	8,6	10	11	11
Оценка эффективности полученных результатов	8,2	5,8	5,8	12	9	9
Определение целесообразности проведения ОКР	5,8	6,8	6,8	9	10	10
Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	2,9	5,6	9,5	5	9	14

На основе таблицы 10 строится календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта на основе таблицы 14 с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени магистерской диссертации.

При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Таблица 11 – Календарный план график проведения НИР по теме

Вид работ	Исп.	Ткі, кал. дн	Продолжительность выполнения работ													
			Февр.		Март			Апрель			Май			Июнь		
			1	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
Составление и утверждение технического задания	Р	3	■													
Подбор и изучение материалов по теме	М	18		■												
Проведение патентных исследований	М	12			■											
Выбор направления исследований	Р	7				■										
Календарное планирование работ по теме	Р	4					■									
Подготовка образцов для экспериментов	М	11					■	■								
Построение макетов (моделей) и проведение экспериментов	М	16					■	■	■							
Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	М	11						■	■	■						
Оценка эффективности полученных результатов	М	12						■	■	■						
Определение целесообразности проведения ОКР	М	10									■					
Составление Пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	М Р	14											■	■	■	■

■ - Руководитель, ■ - Магистрант.

7.2.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением.

В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НТИ;
- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- затраты научные и производственные командировки;
- контрагентные расходы;
- накладные расходы.

7.2.4.1 Расчет материальных затрат НТИ

Данная статья включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта:

- приобретаемые со стороны сырье и материалы, необходимые для создания научно-технической продукции;
- покупные материалы, используемые в процессе создания научно-технической продукции для обеспечения нормального технологического процесса и для упаковки продукции или расходуемых на другие производственные и хозяйственные нужды (проведение испытаний, контроль, содержание, ремонт и эксплуатация оборудования, зданий, сооружений, других основных средств и прочее), а также запасные части для ремонта оборудования, износа инструментов, приспособлений, инвентаря, приборов, лабораторного оборудования и других средств труда, не относимых к основным средствам, износ спецодежды и других малоценных и быстроизнашивающихся предметов;
- покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, подвергающиеся в дальнейшем монтажу или дополнительной обработке;

- сырье и материалы, покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, используемые в качестве объектов исследований (испытаний) и для эксплуатации, технического обслуживания и ремонта изделий – объектов испытаний (исследований);

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле (15):

$$Z_M = (1 + k_T) \times \sum_{i=1}^m C_i + N_{расхi} \quad (15)$$

где: m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{расхi}$ – количество материальных ресурсов i-го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

C_i – цена приобретения единицы i-го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Величина коэффициента (k_T), отражающего соотношение затрат по доставке материальных ресурсов и цен на их приобретение, зависит от условий договоров поставки, видов материальных ресурсов, территориальной удаленности поставщиков и т.д. Транспортные расходы принимаются в пределах 15-25% от стоимости материалов. Материальные затраты, необходимые для данной разработки, заносятся в таблицу 12.

Таблица 12 - Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество			Цена за ед., руб.			Затраты на материалы (Z_M), руб.		
		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
Салфетка	шт.	10	10	10	5	5	5	60	60	60
Масло	л.	1	1	1	60	62	60	70	71	70
Тетрадь	шт.	1	1	1	43	43	40	55	55	51
Ручка	шт.	2	2	2	15	15	17	47	47	47
Бумага	шт.	120	120	120	3	3	3	380	380	380
Итого								612	613	608

Из затрат на материальные ресурсы, включаемых в себестоимость продукции, исключается стоимость возвратных отходов.

Под возвратными отходами производства понимаются остатки сырья, материалов, полуфабрикатов, теплоносителей и других видов материальных ресурсов, образовавшиеся в процессе производства научно-технической продукции, утратившие полностью или частично потребительские качества исходного ресурса (химические или физические свойства) и в силу этого используемые с повышенными затратами (понижением выхода продукции) или вовсе не используемые по прямому назначению.

7.2.4.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стенов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме.

Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене. Расчет затрат по данной статье заносится в таблицу 13. При приобретении спецоборудования необходимо учесть затраты по его доставке и монтажу в размере 15% от его цены. Стоимость оборудования, используемого при выполнении конкретного НИИ и имеющегося в данной научно-технической организации, учитывается в калькуляции в виде амортизационных отчислений.

Таблица 13 – Расчет бюджета затрат на приобретение оборудования для научных работ.

Наименование оборудования	Количество единиц оборудования			Цена единицы оборудования, руб.			Общая стоимость оборудования, тыс. руб.		
	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3

Ультразвуковой дефектоскоп OmniScan MX	1	1	1	1709126	1709126	1709126	196,5495	196,5495	196,5495
Итого							196,5495	196,5495	196,5495

7.2.4.3 Основная заработная плата исполнителей темы

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада.

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп} \quad (16)$$

где: $Z_{осн}$ – основная заработная плата;

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата (12-20 % от $Z_{осн}$).

Основная заработная плата ($Z_{осн}$) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле (17):

$$Z_{осн} = T_p \times Z_d \quad (17)$$

где: $Z_{осн}$ – основная заработная плата одного работника;

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. ;

$Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле (18):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \times M}{F_{\text{д}}} \quad (18)$$

где: $Z_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя; при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн..

Таблица 14 - Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Магистрант
Календарное число дней	366	366
Количество нерабочих дней - выходные - праздничные	118	118
Потери рабочего времени - отпуск - невыходы по болезни	32	32
Действительный годовой фонд рабочего времени	216	216

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{тс}} \times (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \times k_{\text{р}} \quad (19)$$

где: $Z_{\text{тс}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от $Z_{\text{тс}}$);

$k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15- 20 % от $Z_{\text{тс}}$);

$k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Тарифная заработная плата $Z_{\text{тс}}$ находится из произведения тарифной ставки работника 1-го разряда $T_{\text{с1}} = 600$ руб. на тарифный коэффициент $k_{\text{т}}$ и учитывается по единой для бюджетных организации тарифной сетке. Для предприятий, не относящихся к бюджетной сфере, тарифная заработная плата (оклад) рассчитывается по тарифной сетке, принятой на данном предприятии.

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 15.

Таблица 15 - Расчет основной заработной платы

Исполнители	Зтс, тыс. руб.	кПр	кД	кР	Зм, тыс. руб.	Здн, тыс. руб.	Тр, раб. дн.	Зосн , тыс. руб.	Здоп , тыс. руб.
Руководитель	28,943	0,3	0,5	1,3	67,725	3,512	28	98,327	11,799
Магистрант	6,279	0,3	0,5	1,3	14,693	0,762	104	79,248	9,510
Итого Зосн								177,575	21,309

Основная заработная плата руководителя (от ТПУ) рассчитывается на основании отраслевой оплаты труда. Отраслевая система оплаты труда в ТПУ предполагает следующий состав заработной платы:

1) оклад – определяется предприятием. В ТПУ оклады распределены в соответствии с занимаемыми должностями, например, ассистент, ст. преподаватель, доцент, профессор (см. «Положение об оплате труда», приведенное на интернет-странице Планово-финансового отдела ТПУ).

2) стимулирующие выплаты – устанавливаются руководителем подразделений за эффективный труд, выполнение дополнительных обязанностей и т.д.

3) иные выплаты; районный коэффициент.

7.2.4.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле (20):

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \times Z_{\text{осн}} \quad (20)$$

где: $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

7.2.4.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы (21):

$$З_{внеб} = k_{внеб} \times (З_{осн} + З_{доп}) \quad (21)$$

где: $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На 2014 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2014 году водится пониженная ставка – 27,1%

Таблица 16 - Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, тыс. руб			Дополнительная заработная плата, тыс. руб		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Руководитель	98,327	98,327	98,327	11,799	11,799	11,799
Магистрант	79,248	79,248	79,248	9,510	9,510	9,510
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	27,1					
Итого						
Исполнение 1	48,123					
Исполнение 2	48,123					
Исполнение 3	48,123					

7.2.4.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы)

является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 17

Таблица 17 - Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	
1. Материальные затраты НИИ	612	613	608	Пункт 3.4.1
2. Затраты на спецоборудование для научных работ	196549			Пункт 3.4.2
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	177575			Пункт 3.4.3
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	21309			Пункт 3.4.4
5. Отчисления во внебюджетные фонды	48123			Пункт 3.4.5
6. Накладные расходы	354098	354098	354098	16% от суммы 1-5
7. Бюджет затрат НИИ	798266	798267	798262	Сумма ст. 1-6

7.3 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший

интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп } i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} \quad (22)$$

где: $I_{\text{финр}}^{\text{исп } i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно- исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \times b_i \quad (23)$$

где: I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы 18.

Таблица 18 - Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
1. Энергоэффективность	0,15	5	4	5

2.Надежность	0,2	5	5	5
3.Уровень шума	0,1	5	5	5
4.Простота эксплуатации	0,15	4	5	4
5. Перспективность рынка	0,35	5	5	5
6. Цена	0,05	4	3	4
Итого	1			

$$I_{p1} = 5 * 0,15 + 5 * 0,2 + 5 * 0,1 + 4 * 0,15 + 5 * 0,35 + 4 * 0,05 = 4,8$$

$$I_{p2} = 4 * 0,15 + 5 * 0,2 + 5 * 0,1 + 5 * 0,15 + 5 * 0,35 + 3 * 0,05 = 4,75$$

$$I_{p3} = 5 * 0,15 + 5 * 0,2 + 5 * 0,1 + 4 * 0,15 + 5 * 0,35 + 4 * 0,05 = 4,8$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле (24):

$$I_{исп1} = \frac{I_{p1}}{I_{финр\ 1}^{исп\ 1}}, I_{исп2} = \frac{I_{p2}}{I_{финр\ 2}^{исп\ 2}} \text{ и т.д.} \quad (24)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных.

Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{ср}$):

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{исп\ 1}}{I_{исп\ 2}} \quad (25)$$

Таблица 19 - Сравнительная эффективность разработки

Показатели	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
1. Интегральный финансовый показатель разработки	0,99	1	0,99
2. Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,8	4,75	4,8
3. Интегральный показатель эффективности	4,85	4,75	4,85
4. Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,02 1	0,98 0,98	1,02 1

Проводя расчет энерго - и ресурсоэффективности и сравнив

различные исполнения приходим к выводу, что исполнение №1 и №3 являются эффективными вариантами решения технической задачи.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ

1. Серикбосын Е.А., Капранов Б.И. Ультразвуковая томография объектов цилиндрической формы на основе секторного сканирования // XVIII Международная научно-техническая конференция «Измерение, контроль, информатизация», 18 мая, 2017 Барнаул, Россия./ Принята к публикации.

2. Серикбосын Е.А., Капранов Б.И. Разработка методики ультразвуковой томографии крупногабаритной запорной арматуры высокого давления на основе использования фазированных решеток // XVIII Международная научно-техническая конференция «Измерение, контроль, информатизация», 18 мая, 2017 Барнаул, Россия./ Принята к публикации.