

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

Школа Инженерная Школа Ядерных технологий

Направление подготовки (специальность) Физика конденсированного состояния вещества

Отделение школы (НОЦ) Отделение экспериментальной физики

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Изучение влияния структурно-фазового состояния титанового сплава ВТ-6 на параметры распространения ультразвуковых волн при контроле методом коэффициентов линейного предсказания</b>

УДК 669.295.018:544.344.01:534-8

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
150Б42	Чжан Юймин		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав. лаб. ОЭФ ИЯТШ	Гаранин Г.В.	к.т.н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Черепанова Н.В.	к.ф.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОКД	Ларионова Е.В.	к.х.н.		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ОЭФ ИЯТШ	Лидер А. М.	Доктор технических наук		27.06.2018

Томск – 2018 г.

*Планируемые результаты обучения*

По основной образовательной программе высшего профессионального образования,  
направление подготовки Физика, квалификация - бакалавр

Код результата	Результат обучения (компетенции выпускника)
<i>Общекультурные (универсальные) компетенции</i>	
Р1	Способен самостоятельно приобретать новые знания, использовать современные образовательные и информационные технологии, совершенствовать и развивать свой профессиональный уровень, поддерживать здоровый образ жизни
Р2	Способен к поиску, обработке и интерпретации с использованием современных информационных технологий данных, необходимых для формирования суждений по соответствующим социальным, научным и этическим проблемам как в коллективе, так и индивидуально (на родном и иностранном языке)
Р3	Способен критически переосмысливать свой накопленный социальный и профессиональный опыт, изменять при необходимости профиль своей профессиональной деятельности, следовать этическим и правовым нормам и нести ответственность за последствия своей инженерной деятельности
<i>Профессиональные компетенции</i>	
Р4	Способен к овладению и применению базовых знаний в области естественных наук и математики для решения профессиональных задач, к усвоению основных педагогических моделей, форм и приемов педагогического воздействия на личность; закономерностей педагогического
Р5	Способен понимать сущность и значение информации в развитии современного информационного общества, к применению на практике полученных знаний при обработке, анализе и синтезе полученных физических данных в соответствии с профилем профессиональной деятельности
Р6	Способен понимать и использовать на практике теоретические основы планирования и организации физических исследований, представлять результаты и применять на практике методы управления в сфере природопользования
Р7	Способен формировать суждения о значении и последствиях своей профессиональной деятельности с учетом социальных, правовых, этических и природоохранных аспектов, при необходимости применить ресурсо- и энергосберегающие технологии

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

---

Школа Инженерная Школа Ядерных технологий

Направление подготовки (специальность) Физика конденсированного состояния вещества

Отделение школы (НОЦ) Отделение экспериментальной физики

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

\_\_\_\_\_ Лидер А. М.

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
150Б42	Чжан Юймин

Тема работы:

**Изучение влияния структурно-фазового состояния титанового сплава ВТ-6 на  
параметры распространения ультразвуковых волн при контроле методом  
коэффициентов линейного предсказания**

Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b></p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объектом исследований являлись прямоугольные плоские образцы титанового сплава ВТ-6 с размерами 5*10*0,7 мм. Состояние поверхности образцов было различным.</p>
<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Обзор литературных источников;</li> <li>– Подготовка образцов;</li> <li>– Исследование влияния структурно-фазового состояния титанового сплава ВТ-6 на параметры распространения ультразвуковых волн при контроле методом коэффициентов линейного предсказания;</li> <li>– Анализ полученных результатов;</li> <li>– Социальная ответственность;</li> <li>– Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение;</li> <li>– Заключение.</li> </ul>
<p><b>Перечень графического материала</b></p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b></p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p style="text-align: center;"><b>Раздел</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>Консультант</b></p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Ларионова Е.В., Доцент ОКД</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Черепанова Н.В., Доцент ОСГН ШБИП</p>
<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p>	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав. лаб. ОЭФ ИЯТШ	Гаранин Г.В.	к.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
150Б42	Чжан Юймин		

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

Студенту:

<b>Группа</b> 150Б42	<b>ФИО</b> Чжан Юймин
-------------------------	--------------------------

<b>Школа</b>	<b>ШБИП</b>	<b>Отделение</b>	<b>Экспериментальной физики</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	Физика

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

<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических; энергетических; финансовых; информационных; человеческих;</li> <li>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов;</li> <li>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования.</li> </ol>	<p>Определение стоимости ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых информационных и человеческих</p> <p>Знакомство и отбор норм и нормативов расходования ресурсов</p> <p>Знакомство с системой налогообложения, со ставками налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</p>
---	---

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</li> <li>2. Планирование научно-исследовательских работ</li> <li>3. Составление бюджета внедрения инженерного</li> </ol>	<p>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</p> <p>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет.</p> <p>Определение ресурсной, финансовой, экономической составляющей</p>
---	--

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Оценка конкурентоспособности технических решений</li> <li>2. Матрица SWOT</li> <li>3. Альтернативы проведения НИ</li> <li>4. График проведения и бюджет НИ</li> <li>5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ</li> </ol>
---

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент ШИП	Черепанова Н. В.	к.ф.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
150Б42	Чжан Юймин		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
150Б42	Чжан Юймин

<b>Школа</b>	<b>ШБИП</b>	<b>Отделение школы</b>	<b>Отделение экспериментальной физики</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавр	<b>Направление/специальность</b>	Физика

<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
<p>1. <i>Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения)</li> <li>– опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы)</li> <li>– негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу)</li> <li>– чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)</li> </ul>	<p>1. При работе на компьютере на работников возможно воздействие следующих вредных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Микроклимат;</li> <li>- Электромагнитные поля</li> <li>- Статическое электричество</li> <li>- Шум</li> <li>- Недостаточное освещение.</li> </ul> <p>А также опасных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Электрическое напряжение;</li> <li>- Воздействие высокой температуры;</li> </ul> <p>2. Работа компьютера осуществляется за счет питания от сети переменного тока напряжением 220 В.</p>
<p>2. <i>Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме</i></p>	<p>По данной теме рассматриваются законодательный и нормативные документы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- инструкция № 2-25 по охране труда при выполнении работ на установке Gas Reaction Controller;</li> <li>- инструкция № 2-14 по охране труда при работе с электрооборудованием напряжением до 1000 В;</li> <li>- инструкция № 2-07 по охране труда при работе с баллонами, работающими под давлением.</li> </ul> <p>Документы по воздействию ПЭВМ:</p>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- инструкция № 2-08 по охране труда при работе с ПЭВМ и ВДТ;</li> <li>- СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организация работы;</li> <li>- ГОСТ Р 50948-01. Средства отображения информации индивидуального пользования. Общие эргономические требования и требования безопасности;</li> <li>- ГОСТ Р 50949-01. Средства отображения информации индивидуального пользования. Методы измерений и оценки эргономических параметров и параметров безопасности;</li> <li>- ГОСТ Р 50923-96. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения.</li> </ul> <p>Микроклимат:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ГОСТ 30494-96 Здания жилые и общественные помещения. Параметры микроклимата в помещении;</li> <li>- ГОСТ 12.1.005 Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны;</li> <li>- СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.</li> </ul>
--	---

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

<p><i>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</li> <li>- действие фактора на организм человека;</li> <li>- приведение допустимых норм с необходимой</li> </ul>	<p>1. Характеристика факторов изучаемой производственной среды, описывающих процесс взаимодействия человека с окружающей производственной средой:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Воздействие электрического напряжения на организм человека;</li> <li>- Воздействие высокой температуры на</li> </ul>
---	---

<p><i>размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)</li> </ul>	<p>организм человека;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Воздействие химических веществ на дыхательные пути и организм человека в целом;</li> <li>– Микроклимат.</li> </ul>
<p><i>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– механические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– термические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);</li> <li>– пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)</li> </ul>	<p>2. Анализ опасных факторов проектируемой производственной среды:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– электробезопасность (непосредственное питание установки от сети постоянного тока 220 В; средства защиты, предусмотренные конструкцией установки, соблюдение правил и инструкций по электробезопасности при работе);</li> <li>– термическая опасность (печь нагрева образцов; защита специальной конструкцией установки, изолирующие слои, соблюдение правил безопасности и эксплуатации установки);</li> <li>– пожаровзрывобезопасность (соблюдение правил безопасности и эксплуатации установки).</li> </ul>
<p><i>3. Охрана окружающей среды:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– защита селитебной зоны</li> <li>– анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> <li>– разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</li> </ul>	<p>3. Факторы рабочего места, влияющие на окружающую среду:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Выброс в атмосферу рабочего газа;</li> <li>– Выброс в атмосферу химических веществ;</li> </ul>
<p><i>4. Защита в чрезвычайных ситуациях:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– перечень возможных ЧС на объекте;</li> <li>– выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>– разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>– разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС;</li> <li>– разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий</li> </ul>	<p>4. Защита в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Возникновение возгорания;</li> <li>– Поражение оператора установки электрическим током;</li> <li>– разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</li> </ul>
<p><i>5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные для проектируемой рабочей</li> </ul>	<p>5. Правовые вопросы обеспечения безопасности</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Организационные мероприятия обеспечения безопасности;</li> </ul>

зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	– Особенности законодательного регулирования проектных решений.
---	---

**Перечень графического материала:**

При необходимости представить эскизные графические материалы к расчётному заданию (обязательно для специалистов и магистров)	1.Схема расположения оборудования; 2. План размещения светильников на потолке рабочего помещения.
--	--

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОКД	Ларионова Е. В.	К.Х.Н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
150Б42	Чжан Юймин		

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

---

Школа Инженерная школа ядерных технологий

Уровень образования бакалавриат

Направление подготовки 03.03.02 «Физика»

Отделение школы (НОЦ) Отделение экспериментальной физики

Период выполнения \_\_\_\_\_

Форма представления работы:

бакалаврская работа
---------------------

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

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН  
выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
01.03.2017	Аналитический обзор литературы	15
01.09.2017	Исследование методов неразрушающего контроля	15
30.12.2017	Исследование влияния структурно-фазового состояния титанового сплава ВТ-6 на параметры распространения ультразвуковых волн при контроле методом коэффициентов линейного предсказания	20
30.04.2018	Анализ результатов	15
25.05.2018	Социальная ответственность	15
25.05.2018	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
25.05.2018	Заключение	5

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав. лаб. ОЭФ ИЯТШ	Гаранин Г.В.	к.т.н.		

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ОЭФ	Лидер А.М.	д.т.н.		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 97 с., 19 рисунков, 23 таблицы, 31 литературных источника, 0 приложений.

Ключевые слова: титановый сплав ВТ6; метод коэффициентов линейного предсказания; ультразвуковой неразрушающий контроль.

Объектом исследования является титановый сплав ВТ6, изучается влияние структурно-фазового состояния образцов из титанового сплава ВТ-6 на параметры распространения ультразвуковых волн при контроле методом коэффициентов линейного предсказания.

В процессе исследования проводился акустический неразрушающий контроль образцов; полученные данные анализировались с помощью программы MATLAB; определялись параметры распространения ультразвуковой волны в образцах – скорость, коэффициент затухания и коэффициенты и ошибка линейного предсказания.

Степень внедрения: результаты работы представлены на XV международной научной конференции «Перспективы развития фундаментальных наук», проводившейся в г. Томск 24 – 27 апреля 2018 г.

Область применения: результаты работы могут быть применены для неразрушающего контроля изделий из титанового сплава ВТ-6 (Ti-6Al-4V), определения их структурно-фазового состояния.

## Оглавление

ВВЕДЕНИЕ .....	17
1.1 Свойства и применение титанового сплава ВТ-6 .....	19
1.1.1 Физические и механические свойства .....	19
1.1.2 Технологические и коррозионные свойства .....	20
1.1.3 Области применения титанового сплава ВТ-6.....	21
1.2 Ультразвуковые методы неразрушающего контроля.....	22
1.2.1 Неразрушающие методы контроля .....	22
1.2.2 Ультразвук.....	25
1.2.3 Ультразвуковой контроль .....	26
1.2.4 Методы возбуждения ультразвуковых волн .....	28
2 Методы подготовки образцов с различным структурно-фазовым состоянием .....	32
2.1 Закалка как метод создания образцов с разным размером зерна .....	32
2.2 Закалка металлов с помощью индукционного нагрева .....	33
2.3 Закалка с охлаждением в потоке газа .....	35
3 Экспериментальная часть .....	38
3.1 Подготовка образцов с различным структурно-фазовым состоянием.....	38
3.2 Ультразвуковые измерения образцов иммерсионным способом .....	40
3.2.1 Времяпролетный метод (TimeOfFlight TOF) ультразвукового контроля.....	41
3.2.2 Определение коэффициента затухания ультразвука (DECAY) .....	43
3.2.3 Метод коэффициентов линейного предсказания (LPC) ультразвукового контроля.....	45
3.3 Исследование образцов с измененным структурно-фазовым состоянием.....	54
Заключение.....	61
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсоснабжение .....	62
4.1 Планирование управления научно-техническим проектом.....	63

4.2 Бюджет научного исследования .....	66
4.2.1 Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты.....	67
4.2.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ .....	69
4.2.3 Основная заработная плата .....	70
4.2.4 Дополнительная заработная плата .....	72
4.2.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	74
4.2.6 Накладные расходы .....	75
4.2.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.....	75
5 Социальная ответственность.....	77
5.1 Техногенная безопасность.....	77
5.2 Организационные мероприятия обеспечения безопасности .....	83
5.3 Особенности законодательного регулирования проектных решений .....	87
5.4 Расчет искусственного освещения .....	90
Список использованных источников.....	94

## ВВЕДЕНИЕ

Ультразвуковой неразрушающий контроль широко применяется для контроля качества изделий из металлов и сплавов. Применение традиционных методов ультразвукового контроля можно расширить путем применения новых алгоритмов обработки эхо-сигналов, среди которых можно выделить методы фильтрации и линейной обработки сигналов, к которым относится метод коэффициентов линейного предсказания.

Предмет исследования – образцы из титанового сплава ВТ6. Данный сплав ВТ-6 (Ti-6Al-4V) представляет собой титановый сплав, показывающий высокую прочность, низкий коэффициент веса и хорошую коррозионную стойкостью. Это один из наиболее часто используемых титановых сплавов, где требуется низкая плотность и хорошая стойкость к коррозии.

Цель исследования – изучение влияния структурно-фазового состояния титанового сплава ВТ-6 на параметры распространения ультразвуковых волн при контроле методом коэффициентов линейного предсказания.

Для решения поставленной цели были решены следующие задачи:

1. Получены параметры распространения ультразвуковой волны в образцах.
2. Выявлены особенности обработки эхо-сигналов методом коэффициентов линейного предсказания.
3. Проведено экспериментальное исследование образцов из сплава ВТ-6, установлено влияние фазового состояния материала на параметры

ультразвуковой волны в материале, определяемые по методу коэффициентов линейного предсказания.

Научная новизна работы заключается в следующем: было установлено влияние структурно-фазового состояния исследуемого материала, титанового сплава ВТ6, на параметры ультразвукового сигнала определяемые методом коэффициентов линейного предсказания, который позволяет проводить анализ ультразвукового сигнала с точки зрения оценки его нелинейности, влияющей на его временные и частотные характеристики. Это позволит в дальнейшем использовать этот метод для разработки методики определения структурно-фазового состояния сплава ВТ-6 методами ультразвукового неразрушающего контроля.

## 1.1 Свойства и применение титанового сплава ВТ-6

### 1.1.1 Физические и механические свойства

ВТ-6 представляет собой титановый сплав, показывающий высокую прочность, низкий удельный вес и хорошую коррозионную стойкостью. Это один из наиболее часто используемых титановых сплавов, применяемый там, где требуется низкая плотность и хорошая стойкость к коррозии.

Титановый сплав ВТ-6 представляет собой двухфазный сплав, имеет хорошую структурную стабильность, хорошую прочность, пластичность, может быть обработан термически, давлением, старением для укрепления свойств сплава. После термообработки прочность составляет на 50% ~ 100% выше, чем в состоянии отжига. Обладает высокой прочностью при высокой температуре, может работать при температуре 400 °С ~ 500 °С в течение длительного времени [1].

Таблица 1. Компоненты титанового сплава ВТ-6

элемент	Al	V	Fe	O	Si	C	N	H	другое	Ti
содержание	5.5- 6.8	3.5- 4.5	0.3	0.2	0.15	0.1	0.05	0.01	0.5	остальное

Предел прочности при растяжении  $\sigma_b / \text{MPa} \geq 895$ , заданное остаточное удлинение напряжение  $\sigma_{r0.2} / \text{MPa} \geq 825$ , удлинение  $\delta_5 (\%) \geq 10$ , уменьшение площади  $\psi (\%) \geq 25$ .

### 1.1.2 Технологические и коррозионные свойства

Сплав ВТ-6 немедленно и самопроизвольно образует стабильную, непрерывную, плотно прилегающую оксидную пленку при воздействии кислорода в воздухе или воде. Этим объясняется его превосходная устойчивость к коррозии в различных средах. Он обладает высокой устойчивостью к общей коррозии в водных растворах, в том числе морской воды, а также в окисляющих кислотах, хлоридах (в присутствии воды), ракетных топливах и щелочах. Условия, при которых сплав ВТ-6 восприимчив к общей коррозии - в присутствии восстановителей, кислот или сухого газообразного хлора. Подвержен коррозионному растрескиванию (ГКР) и щелевой коррозии в средах, содержащих хлориды или других ионов галогенов.

Титан и его сплавы, в том числе Ti-6Al-4V, восприимчивы к водородной хрупкости. Газообразный или катодный водород может диффундировать в металл, образуя хрупкие гидриды. Таким образом, важно, чтобы свести к минимуму наводороживание во время обработки, в частности, термической обработке и при травлении кислотой. Спецификация для сплава ВТ-6, как правило, определяет максимальный предел содержания водорода около 150 частей на миллион.

### 1.1.3 Области применения титанового сплава ВТ-6

Титан в настоящее время основное применение можно условно разделить на три категории, а именно в реактивных двигателях, авиационно-космических и промышленных применениях. Тем не менее, изготовление деталей из сплава титана является дорогим, что ограничивает сферу их применения [2].

Обычно сплав ВТ-6 применяется в:

- Непосредственное изготовление деталей и прототипов в машиностроении
- Аэрокосмическая отрасль
- Биомеханика, например, импланты и протезы
- Судостроение
- Химическая промышленность
- Газовые турбины

Таблица 2. Применения титанового сплава ВТ-6 [3]

Область применения		Характеристики материала	Применение
Авиационная промышленность	реактивный двигатель	с высоким пределом текучести / соотношение плотности и усталостной прочности / соотношение плотности, хорошей термической стабильностью, отличной устойчивостью к атмосферной коррозии	Части с температурой ниже 500 °С, лопатки статора, лопасти несущего винта, шасси, корпуса камеры сгорания

	фюзел яж	Высокой удельной прочностью	балки, стойки, ребра, переборки, крепежные детали, трубы, двери, и т.д.
Ракеты, ракеты и космические аппараты промышленности		При комнатной температуре и ультра-низкой температуре, высокой прочностью, а также имеющие достаточную прочность и пластичность	Сосуды под давлением, топливные баки, ракеты, кожух двигателя, обшивка кабины корабля, несущие структуры, и т.д.
Судостроение, производство судостроительной промышленности		Высокая прочность, в морской воде и морской атмосфере с превосходной устойчивостью к коррозии	Корпус под давлением, судовой водяной насос, трубы и фитинги, палубные лодки пропеллер, гребной вал, и т.д.
Химическая промышленность, нефтяная промышленность[4]		Обладает хорошей коррозионной стойкостью в окислительных и нейтральной среде, в восстановительной среде может также улучшить устойчивость к коррозии путем легирования	Теплообменники, реакционные башни, дистилляторы, автоклавы, клапаны, насосов, трубопроводов и т.д.

## 1.2 Ультразвуковые методы неразрушающего контроля

### 1.2.1 Неразрушающие методы контроля

Неразрушающий контроль – это контроль качества продукции без нарушения ее целостности. Использование материальных внутренних структурных аномалий или дефектов, влияющих на распределение тепла, звука, света, электричества, магнетизма, вызывает изменения физических или химических свойств объекта и использование в качестве средств современных технологий и оборудования, для исследования поверхности образца, внутренней структуры, свойств и состояния типа дефектов, характер, число, форма,

положение, размер, распределение и изменение их количества. Неразрушающий контроль является эффективным инструментом промышленного развития, имеет важное значение, в определенной степени отражает уровень промышленного развития страны [5].

Существует много методов неразрушающего контроля. Разделяют шесть категорий и около 70 видов методов контроля. На практике, более распространенными являются следующие:

1. Визуальный осмотр (VT)
2. Рентген (RT)
3. Ультразвуковой контроль (UT)
4. Магнитопорошковый контроль (MT)
5. Капиллярный контроль (PT)
6. Вихретоковый контроль (ECT)
7. Акустическая эмиссия (AE)

В дополнение к этим семи пунктам, стоит отметить два менее распространенных метода контроля: обнаружение утечек Leak Testing (аббревиатура LT); волноводный контроль Guided Wave Testing [6];

Для применений, требующих обнаружения дефектов, существует множество причин. Из-за дефектов в объекте контроля: поверхностные трещины, деформации, отслоения, многоуровневое растрескивание из-за наличия в металле дендритов, металлические включения из-за химической

реакции между компонентами или металлом и печным газом при плавке, выделения карбидов, большой размер зерна, а также поры, включения шлака, непровары, трещины [7].



Рисунок 1. трещина

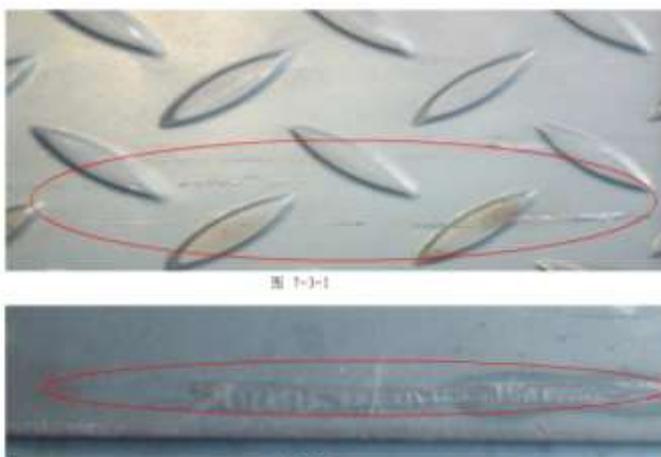


Рисунок 2. поверхностные включения

## 1.2.2 Ультразвук

Ультразвук — звуковые волны, имеющие частоту выше воспринимаемых человеческим ухом, обычно, под ультразвуком понимают частоты выше 20 000 герц. Его ультразвуковая частота больше, чем верхняя частота предела слуха людей [8].

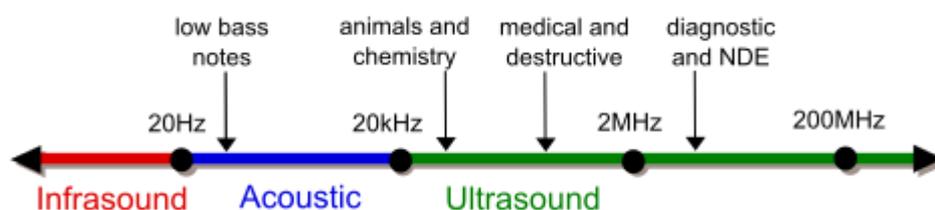


Рисунок 3. Ультразвуковые уровни (Красный: инфразвук, Синий: слышимые звуковые волны, Зеленый: Ультразвуковой)

Выделяют два основных параметра ультразвука:

1) Частота:  $F \geq 20 \text{ kHz}$  (На практике, как правило,  $F \geq 15 \text{ kHz}$  также называют ультразвуковыми волнами);

2) Плотность мощности:  $P = \text{передаваемая мощность (W)} / \text{площадь эмиссии (см}^2\text{)}$ , обычно  $p \geq 0.3 \text{ w / см}^2$

Особенности ультразвуковых волн:

1) Ультразвуковое излучение переносит энергию в различных средах, а также на достаточное расстояние.

2) Ультразвуковые волны могут эффективно распространяться в газе, жидкости, твердом теле.

3) Ультразвуковое излучение может нести сильную энергию.

4) Ультразвук подвержен волновым явлениям, таким как отражение, интерференция, суперпозиция и резонансные явления.

### **1.2.3 Ультразвуковой контроль**

Ультразвуковой контроль позволяет производить контроль на больших расстояниях в металлических материалах. Отражение ультразвука происходит на особенностях внутренней структуры и границах объекта контроля. Форма импульса отраженного от дефекта сигнала наблюдается на экране. На основе анализа формы и расположения этих импульсных сигналов определяется местоположение и размеры дефектов [9].

Существуют различные ультразвуковые волны в среде, наиболее часто используются для контроля продольные волны, волны сдвига (поперечные) и поверхностные волны. Продольная волна может использоваться для контроля металлических слитков, заготовок, пластин, поковок и относительно простых форм заготовок на присутствие включений, трещин, усадки, слоистые и других дефектов; Поперечные волны могут использоваться для контроля окружных и осевых трещин труб, царапин, пористости сварных швов, шлака, трещин, дефектов проникновения; Поверхностные волны могут использоваться для

контроля поверхностных дефектов в отливках простой формы, на боковых поверхностях деталей и труб; Волновая пластина может обнаружить дефекты в листе.

Применяемые инструменты ультразвуковой дефектоскопии - Ультразвуковой дефектоскоп. Ультразвуковой дефектоскоп представляет собой портативный промышленный неразрушающий дефектоскоп, он может быстро, удобно применяться для диагностики, обнаружения местоположения и оценки различных дефектов внутри объекта контроля (трещины, неплотности, пористость, включения и т.д.) [10].



Рисунок 4. Ультразвуковой дефектоскоп

При распространении ультразвуковая волна в месте интерфейса двух сред характеризуется отражением. В случае дефектов, размер дефектов, равный или больший, чем длина волны ультразвука, ультразвуковой волны, отраженная от дефекта, может быть зарегистрирована. Когда размер дефекта, меньше, чем длина волны, звуковые волны обходят дефект и не могут отражаться от него. Чем

выше частота волны, тем легче получить направленность с очень узким пучком излучения в среде, и тем легче определить положение дефекта. Распространение ультразвуковой энергии, например, на частоте 1 МГц по энергии эквивалентно 100 кратной амплитуде ультразвука на частоте 1000 Гц [11].

Преимущества ультразвукового контроля являются: высокая чувствительность, высокая скорость контроля, низкая стоимость, безвредность для человеческого организма, способность определения количество и типа дефектов. Тем не менее, отображение результатов ультразвукового обнаружения дефектов не является интуитивно понятным, поэтому учитывая объективные факторы, а также неудобства, связанные с хранением и сравнением результатов тестирования, ультразвуковой контроль имеет свои ограничения.

#### **1.2.4 Методы возбуждения ультразвуковых волн**

Пьезоэлектрические преобразователи являются генераторами. Принцип их работы основан на явлении пьезоэлектричества, характерном для определенного класса кристаллов, не имеющих центра симметрии. Пьезоэлектрические кристаллы имеют прямое пьезоэлектрическое действие, состоящее в появлении поляризации под действием давления и обратного, а именно, что кристаллы деформируются в электрическом поле.

В прямом пьезоэлектрическом эффекте построены преобразователи сил, ускорений и давлений; назад вибраторы, ультразвуковые радиаторы и другие устройства. В пьезоэлектрических трансформаторах и преобразователях на их

основе используется комбинированный эффект прямого и обратного пьезоэлектрических эффектов. В настоящее время существует большое количество пьезоэлектрических материалов, которые подразделяются на две основные группы: пьезоэлектрические монокристаллы и поликристаллические материалы или пьезокерамику. Кварц занимает особое место среди монокристаллических пьезоэлектриков. Он имеет высокие значения  $Q$  и характеристики стабильности. Отсутствие кварца представляет собой низкое значение диэлектрической проницаемости и коэффициента электромеханической связи, что ограничивает его использование в пьезоэлектрических преобразователях некоторых типов. В последнее время широко используются искусственно выращенные монокристаллы ниобия лития, германия висмута и силиката висмута, которые имеют более высокие значения коэффициента электромеханической связи и диэлектрической проницаемости по сравнению с кварцем.

Пьезокерамические материалы получают в трех вариантах: титанат бария, соединения ниобата свинца и соединение цирконата, титанат свинца. Пьезоэлектрическая керамика имеет высокие значения пьезоэлектрических характеристик. В то же время пьезоэлектрические керамические пьезоэлементы недороги для производства и технологически продвинуты. Недостатками пьезокерамики являются более низкая временная и температурная стабильность, чем монокристаллы. Пьезоэлектрический преобразователь в обычном

исполнении представляет собой пьезоэлектрическую пластину, к электродам, подключенному вольтметру и измерительную силу прилагается к граням (рис. 5) [12].

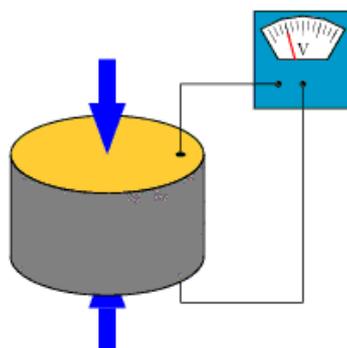


Рисунок 5. Пьезоэлектрический преобразователь динамических усилий

Даёт возможность бесконтактно возбуждать в объекте контроля акустические волны, различных типов с различной поляризацией. Современная элементная база позволяет создавать дефектоскопы и толщиномеры, использующие ЭМАП, которые работают с рабочим зазором до 10мм. Т.е. между поверхностью объекта контроля и поверхностью датчика может располагаться краска, пластик, грязь, воздух, другие ток непроводящие среды с толщиной до 10мм. При этом акустическая волна формируется непосредственно в объекте контроля и не искажается контактной средой. Механизм формирования механических колебаний из электрических при ЭМАП можно разделить на три составляющие: магнитострикция, взаимодействие через силу Лоренца, и магнитное взаимодействие. Для контроля изделий из стали, в большинстве случаев, используется ЭМАП через силу Лоренца.

Структурная схема преобразователя показана на рисунке. Состоит из постоянного магнита и проводника с переменным током. Переменный ток, протекающий через проводник, создаёт переменное магнитное поле, которое проникает в объект контроля и создаёт в нём вихревые токи. Направление заряженных частиц, которые создают вихревые токи, противоположно направлению тока в проводнике. Постоянный магнит создаёт нормально направленное по отношению к поверхности объекта контроля, постоянное магнитное поле. На заряженные частицы,двигающиеся в магнитном поле, действует сила Лоренца, которая направлена вдоль поверхности объекта контроля. Сила Лоренца способствует некоторому механическому смещению области с вихревым током, что является началом формирования акустической волны [13].

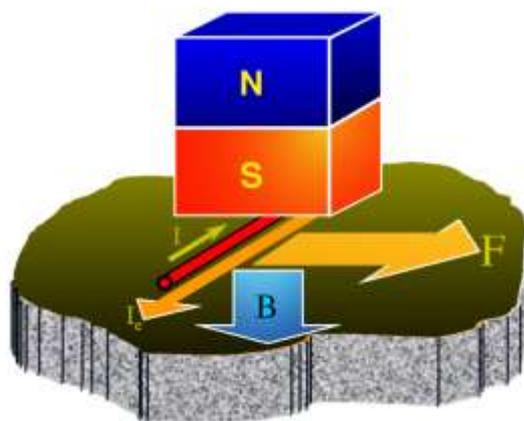


Рисунок 6. принцип работы ЭМАП

## **2 Методы подготовки образцов с различным структурно-фазовым состоянием**

### **2.1 Закалка как метод создания образцов с разным размером зерна**

Закалка - это своего рода термообработка материалов, состоящая в нагревании выше критической температуры, а затем быстрое охлаждение. Затвердевание металла для получения избыточных вакансий не должно смешиваться с обычной закалкой, что необходимо, если в сплаве возможны фазовые превращения [14].

Чаще всего охлаждение проводят в воде или масле, но есть другие способы охлаждения: в псевдокипящем слое твердого хладагента, струи сжатого воздуха, водяного тумана, в среду для инъекции жидкого полимера.

Материал, который был закален, становится более твердым, но становится хрупким, менее вязким и менее вязким, если делается больше повторного нагрева. Для уменьшения хрупкости и повышения пластичности и вязкости после затвердевания путем полиморфного превращения используются отходы. После закалки без полиморфного превращения используют старение. Во время закалки наблюдается некоторое снижение твердости и прочности материала.

Титановые сплавы также закаливаются. При такой обработке сплавов на основе титана можно повысить прочностные характеристики сплавов. Например, высокая прочность сплава ВТ6 увеличивается термообработкой (упрочнение +

старение). Этот сплав с хорошей прочностью сохраняет хорошую (BT6) технологическую пластичность при нагревании.

Охлаждение при закалке производится в воде, а после старения — на воздухе. Для обеспечения удовлетворительного сочетания прочности и пластичности сплавов с  $(\alpha + \beta)$  — структурой после закалки и старения необходимо, чтобы их структура перед упрочняющей термической обработкой была равноосной или «корзиночного плетения».

Для BT6 (TiAl6V4) — нагрев 840-940 градусов, выдержка 2 мин/мм толщины, но не менее 15 минут, охлаждение в воде, отпуск 460-600 градусов 2-8 часов, охлаждение на воздухе.

Таблица 3. Режимы упрочняющей термической обработки титановых сплавов [15]

Марка сплава	Температура полиморфного превращения $T_{пп}$ , °С	Температура нагрева под закалку, °С	Температура старения, °С	Продолжительность старения, ч
BT6	980–1010	900–950	450–550	2–4

## 2.2 Закалка металлов с помощью индукционного нагрева

Индукционный нагрев - это нагрев материалов электрическими токами, которые индуцируются переменным магнитным полем.

Индукционный нагрев осуществляется следующим образом. Электропроводящая (металлическая, графитовая) заготовка помещается в так называемый индуктор, который представляет собой один или несколько витков

провода. В индукторе мощных токов различных частот, в результате чего вокруг индуктора появляется электромагнитное поле. Электромагнитное поле индуцирует вихревые токи в заготовке. Вихревые токи нагревают заготовку под действием джоулева тепла [16].

Наиболее широко используется прямой индукционный нагрев металлов на средних и высоких частотах. Для этого используйте специальные индукторы. Индуктор излучает электромагнит, который падает на нагретое тело и затухает в нем. Энергия поглощенной волны преобразуется в тело в тепло.

Индукционный нагрев используется для поверхностного упрочнения стальных изделий путем нагрева для пластической деформации (ковка, штамповка, прессование и т. д.), плавление металлов, термообработка (отжиг, отпуск, нормализация, закалка), сварка, наплавка, пайка металлов [17].

Косвенный индукционный нагрев используется для нагрева технологического оборудования, нагревательных жидкостей, сухих покрытий, материалов (например, древесины). Важнейшим параметром установки индукционного нагрева является частота. Для каждого процесса существует оптимальный диапазон частот, который обеспечивает лучшие технологические и экономические показатели. Для индукционного нагрева частоты от 50 Гц до 5 МГц [18].

## 2.3 Закалка с охлаждением в потоке газа

Растущий интерес к газовой закалке объясняется эксплуатационными и экологическими преимуществами этой технологии, по сравнению с традиционной масляной закалкой. Детали, прошедшие газовую закалку, чисты и не требуют последующих доводочных операций. Кроме того, использование азота, аргона или гелия в качестве закалочной среды избавляет от необходимости в системах противопожарной безопасности.

С точки зрения технических характеристик, скорость охлаждения в ходе масляной закалки меняется на несколько порядков величины в зависимости от температуры за счет одновременного теплоотвода по следующим механизмам: парообразование, кипение и конвекция. Все это приводит к возникновению значительных температурных градиентов в закаливаемых деталях. В случае газовой закалки имеет место лишь конвекционный теплоотвод во всем диапазоне температур, поэтому скорость охлаждения в значительно меньшей степени зависит от температуры. Пониженные температурные градиенты, а, следовательно, более однородная скорость охлаждения приводит к снижению уровня искажений в закаливаемых деталях. Это преимущество, особенно, важно в массовом производстве, например, в автомобильной промышленности, поскольку расходы на окончательную доводку и отделку можно либо существенно сократить, либо, вообще, избежать их. Другое преимущество газовой закалки – возможность в широких пределах варьировать скорость

охлаждения, за счет регулировки давления и скорости газа. Все это обеспечило триумф газовой закалки в практике вакуумной термической обработки [19].

Газовая закалка в вакуумных электропечах обладает рядом преимуществ, по сравнению с общепринятыми системами закалки в жидких охлаждающих средах:

- Гибкое изменение скоростей охлаждения, даже в пределах одного цикла.

Газовая закалка обеспечивает полное упрочнение многих сталей, которые ранее калились в масле. В случае закалки в жидкостях, когда скорость охлаждения фиксирована, требуются системы из нескольких ванн.

- Можно осуществлять микропроцессорный контроль и создавать направленный газовый поток для обеспечения однородности охлаждения.

- Возможность более тщательного контроля скоростей разогрева и закалки, что обеспечивает повышение производительности и сведение к минимуму деформаций деталей.

- Детали, прошедшие газовую закалку имеют не окисленную, светлую поверхность.

- Вакуумные электропечи не имеют выхлопов, содержащих токсичные или воспламеняющиеся газы, что обеспечивает их повышенную пожарную и экологическую безопасность, в сравнении с закалкой в жидкости. в обычной атмосферной электропечи.

Для закалки в инертном газе используется широкая гамма вакуумных электропечей с вертикальной или горизонтальной загрузкой зарубежного производства. Параметры охлаждения в таких электропечах зависят от целого ряда факторов. Например, типа закалочного газа. Гелий при сопоставимых параметрах охлаждает в два раза быстрее, чем аргон [20].

### **3 Экспериментальная часть**

#### **3.1 Подготовка образцов с различным структурно-фазовым состоянием**

Единственным рациональным в настоящее время способом борьбы с наводороживанием металла при технологических операциях является удаление водорода из готовых деталей и элементов конструкций их вакуумным отжигом.

Технология вакуумного отжига должна обеспечивать решение следующих задач.

1) снижение содержания водорода до безопасного уровня и, как следствие, устранение склонности металла к водородной хрупкости всех видов;

2) снятие нежелательных остаточных напряжений;

3) максимально возможное сохранение циклической прочности;

4) нанесение защитных пленок, предотвращающих наводороживание в эксплуатации, водород удаляется из металла при вакуумном отжиге лишь в том случае, если парциальное давление водорода в атмосфере печи меньше равновесного его давления, соответствующего содержанию водорода в металле.

Процедура подготовки образцов:

1. Очистка поверхности образца
2. Сушка поверхность образца
3. Помещение образца в камеру
4. Подключение камеры к высоковакуумной печи
5. Настройка параметров нагрева в управляющем в компьютере

6. Проведение процедуры отжига или закалки в автоматическом режиме.

Остаточное давление в камере для отжига 1,3 мТорр (Давление, к которому асимптотически стремится давление в измерительной камере при отсутствии натекания газа и при нормально работающем насосе); Время отжига – 3 часа; Скорость нагрева – 6 градусов в минуту; Охлаждение – охлаждение в печи под вакуумом; Температура – 650°C.

Параметры термической обработки образцов приведены в таблице 4.

Таблица 4. Подготовка образцов

Номер образца	Обработка	Структурно-фазовый состав
R1, S1 R5, S5	Без обработки	$\alpha$ -фаза – 92,4 % $\beta$ -фаза – 7,6 % D – 160 нм S – $7,3 \cdot 10^{-4}$
R2, S2 R3, S3	Закалка, T = 950°C, охлаждение в потоке аргона	$\alpha$ -фаза – 100,0 % $\beta$ -фаза – 0,0 % D – 65 нм S – $85,6 \cdot 10^{-4}$
R4, S4	Отжиг в вакууме, T = 800°C, охлаждение в вакууме 0,5 °C/мин	$\alpha$ -фаза – 94,0 % $\beta$ -фаза – 6,0 % D – 200 нм S – $8,5 \cdot 10^{-4}$
R6, S6	Отжиг в вакууме, T = 800°C, охлаждение в вакууме 5 °C/мин	$\alpha$ -фаза – 90,5 % $\beta$ -фаза – 9,5 % D – 200 нм S – $8,4 \cdot 10^{-4}$
R7, S7	Отжиг в вакууме, T = 800°C, охлаждение в аргоне 20 °C/мин	$\alpha$ -фаза – 92,6 % $\beta$ -фаза – 7,4 % D – 185 нм S – $8,1 \cdot 10^{-4}$
R8, S8	Отжиг в вакууме, T = 800°C, охлаждение в вакууме 20 °C/мин	$\alpha$ -фаза – 92,4 % $\beta$ -фаза – 7,6 % D – 200 нм S – $8,5 \cdot 10^{-4}$

Структурно-фазовое состояние термически обработанных образцов определялось методом рентгеноструктурного анализа. Был определен фазовый состав и размеры ОКР и величина микронапряжений. Здесь  $D$  – размер кристаллита по ОКР (область когерентного рассеяния) - это область, рассеивающая падающее излучение когерентно, позволяет оценить размер зерна поликристаллического материала;  $S$  – значение микронапряжения  $\Delta d/d$ , определяет степень упругой микродеформации кристаллической решетки образца, и позволяет оценить уровень внутренних напряжений.

### 3.2 Ультразвуковые измерения образцов иммерсионным способом



Рисунок 7. Система ультразвукового анализа твердого тела

Для измерения параметров распространения ультразвуковых волн в образцах использовалась система ультразвукового анализа твердого тела. Измерения проводились с иммерсионным контактом (вода) между пьезодатчиком и образцом.

Описание эксперимента:

В ходе данной лабораторной работы были проводить в соответствии со следующими этапами:

- 1) запустить программу и создать измерение
- 2) установка образца
- 3) в ручном режиме позиционируем датчик.
- 4) настраиваем параметры
- 5) задаем область сканирования
- 6) работа в автоматическом режиме
- 7) обработка результатов в MATLAB.

### **3.2.1 Времяпролетный метод (TimeOfFlight TOF) ультразвукового контроля**

Времяпролетный метод акустического контроля представляет собой аппаратно-программный комплекс для проведения измерений прочности материала по дифракционно-временному методу неразрушающего контроля TOF (Time-of-flight).

Основой временного метода (TOF) является взаимодействие неоднородностей в материале с ультразвуковыми волнами. Это взаимодействие вызывает изменение времени распространения (пролета) волн в исследуемом объекте.

Параметры неоднородностей в материале определяются только временем прохождения дифракционных волн, амплитуда волны не принимается во внимание при определении размеров дефекта.

Время распространения волны является главной информационной характеристикой метода.

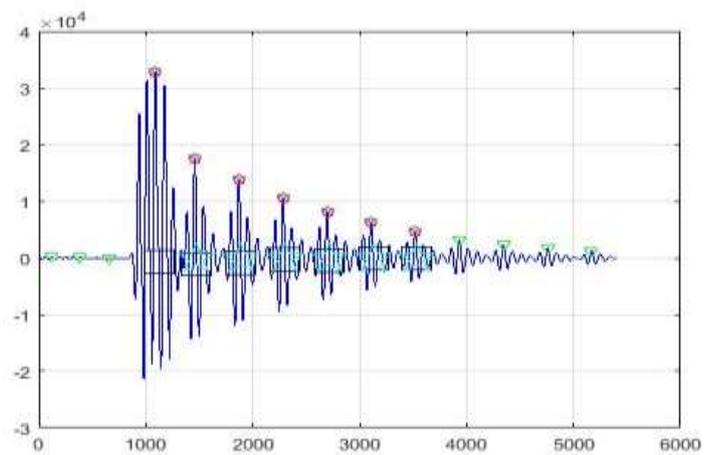


Рисунок 8. Ультразвуковой сигнал в одной точке измерения, определение времени распространения и коэффициента затухания эхо-сигнала

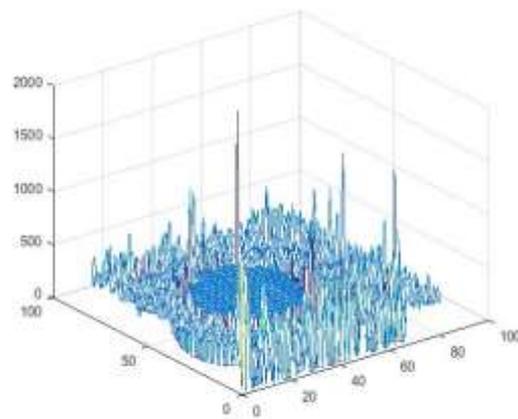


Рисунок 9. Время пробега сигнала в образце (скорость)

Результат эксперимента представлены на рис. 8., здесь показано определяемый методом TOF параметры ультразвукового сигнала для исследуемого образца. Ось Z представляет время пробега сигнала в образце, горизонтальная ось X и Y представляют координаты точек контроля. Из этого можно вычислить скорость в каждой точке контроля. Видно, что значения параметра TOF для разных точек контроля практически равны. (~500 относительных единиц (время)).

### 3.2.2 Определение коэффициента затухания ультразвука (DECAУ)

По мере удаления ультразвуковой волны от источника колебаний ее амплитуда, давление и интенсивность уменьшаются по закону экспоненты, что обусловлено затуханием. Оно предопределяется физико-механическими характеристиками среды и типом волны и учитывается коэффициентом затухания  $\delta$  [24].

Параметр затухания, определяется соотношением для двух соседних импульсов приобретает вид:

$$\alpha_t = -\frac{1}{t_n - t_{n-1}} \cdot \ln\left(\frac{A_n}{A_{n-1}}\right)$$

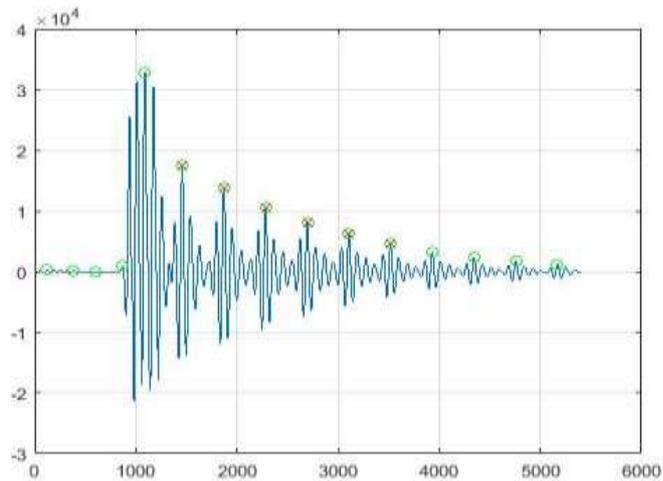


Рисунок 10. Ультразвуковой сигнал в одной точке измерения (decay)

Коэффициент  $\delta$ ,  $1/\text{м}$ , складывается из коэффициентов поглощения  $\delta_{\text{п}}$  и рассеяния  $\delta_{\text{р}}$ :

$$\delta = \delta_{\text{п}} + \delta_{\text{р}}. \quad (1)$$

Когда ультразвуковая волна поглощается из-за несовершенной эластичности межмолекулярных сил, часть потока звуковой энергии переходит в тепловой поток из-за внутреннего трения и теплопроводности среды. Коэффициент поглощения  $\delta_{\text{п}}$  в твердых средах (металлы, стекло) пропорционален частоте  $f$  колебаний волны и температуре среды. С увеличением температуры практически все материалы увеличивают свою вязкость, при этом слабеют их упругие свойства, что ведет к росту  $\delta_{\text{п}}$  [25].

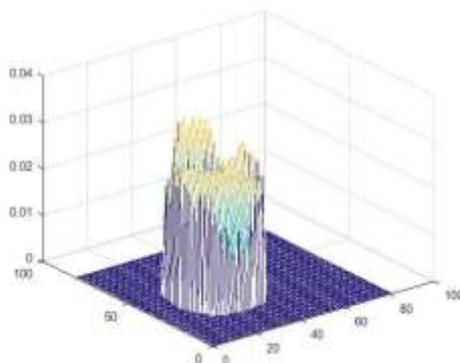


Рисунок 11. Значение коэффициента затухания

Результат эксперимента представлены на рис. 10., здесь показано определяемый методом DECAУ параметры ультразвукового сигнала для исследуемого образца. Ось Z представляет коэффициент затухания сигнала в образце, горизонтальная ось X и Y представляют координаты точек контроля. Видно, что значения параметра DECAУ для разных точек контроля образца может значительно отличаться ( $\pm 25\%$ ).

### 3.2.3 Метод коэффициентов линейного предсказания (LPC)

#### ультразвукового контроля

В последние годы математические методы линейного прогнозирования широко используются при моделировании речевых сигналов. Модель, основанная на линейном предсказании, может быть легко преобразована в модель речевого производства. Его важным преимуществом является относительная простота оценки параметров с использованием процедур линейной обработки сигналов. На основе модели LPC построены вокодеры или так называемые Липридеры (Lipiders). В таких вокодерах алгоритмы линейного

предсказания используются для определения коэффициентов прогнозирования в передатчике, а в приемном устройстве на основе этих коэффициентов синтезируется эквивалент речевого тракта с использованием рекурсивного цифрового фильтра. Эти системы являются наиболее широко используемыми в мире и являются одними из наиболее перспективных [27].

Основной проблемой, возникающей при анализе недетерминированных сигналов различной природы и динамических систем, является определение их временных и частотных характеристик, так как любая недетерминированная сигнальная и динамическая система в принципе являются нелинейными объектами, что делает их анализ чрезвычайно сложным. Однако всегда можно выбрать определенный временной интервал, в котором параметры объекта не слишком сильно меняются. Такой интервал называется интервалом квазистационарности, а параметры объекта в этом направлении считаются постоянными. Сегмент сигнала  $x(nT)$  на интервале называется фреймом. Если мы построим довольно точную параметрическую модель объекта для квазистационарного интервала, то его можно использовать в самых разных случаях, в том числе, например, в системах управления и сжатия данных. Простейшими являются линейные модели, которые легко описываются в терминах передаточных функций. Наиболее полной в указанном смысле моделью представляется рекурсивная система порядка  $k=M-1$ , описываемая передаточной функцией [29] :

$$H(z) = \frac{\sum_{i=0}^{N-1} b_i z^{-i}}{1 + \sum_{k=1}^{M-1} a_k z^{-k}}$$

или соответствующим разностным уравнением:

$$y(n) = \sum_{i=0}^{N-1} b_i x(n-i) - \sum_{k=1}^{M-1} a_k y(n-k)$$

Наиболее широко используется теперь полярная модель, числитель передаточной функции (левая сумма в разностном уравнении), которая содержит только один коэффициент  $b_0$  [30].

Пусть сигнал возбуждения  $x(n)$  действует на определенную линейную модель системы, а сигнал  $y(n)$  формируется на его выходе. Требуется найти коэффициенты  $\{a_k\}$  такие, что на интервале квазистационарности равенство:

$$y(n) = b_0 x(n) - \sum_{k=1}^{M-1} a_k y(n-k)$$

при условии, что сигнал возбуждения  $x(n)$  неизвестен.  $y(n)$  из его известных чтений. Таким образом, можно сделать вывод, что линейное предсказание - это вычислительная процедура, которая позволяет использовать изображение линейной комбинации  $L$  предшествующих взвешенных отсчетов недетерминированного сигнала предсказать будущее значение отсчета [31].

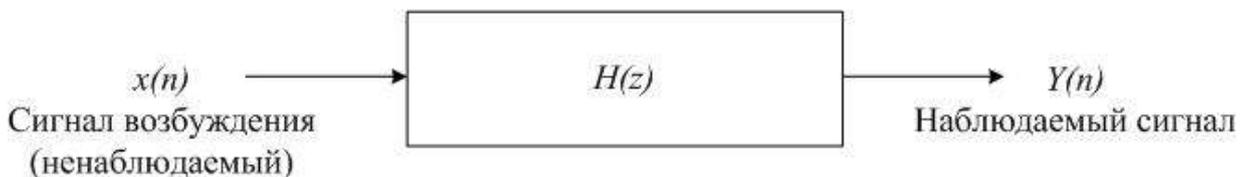


Рисунок 12. Линейная модель системы

Применение метода коэффициентов линейного предсказания (LPC) для анализа ультразвукового сигнала позволяет получать изображение контролируемого объекта в координатах параметров метода LPC, что дает дополнительные количественные данные, которые можно использовать как интегральную оценку, и облегчает задачу сравнения нелинейности, временных и амплитудных характеристик эхо-сигналов, полученных в различных точках объекта.

В методе коэффициентов линейного предсказания (LPC) для сигналов ультразвукового контроля реализуются алгоритмы линейного предсказания, с помощью которых при анализе эхо-сигнала определяются коэффициенты предсказания  $\{A_i\}$ , и среднеквадратичная ошибка предсказания сигнала. Для анализа эхо-сигнала методом LPC необходимо задать порядок полинома предсказания и временной интервал анализа сигнала.

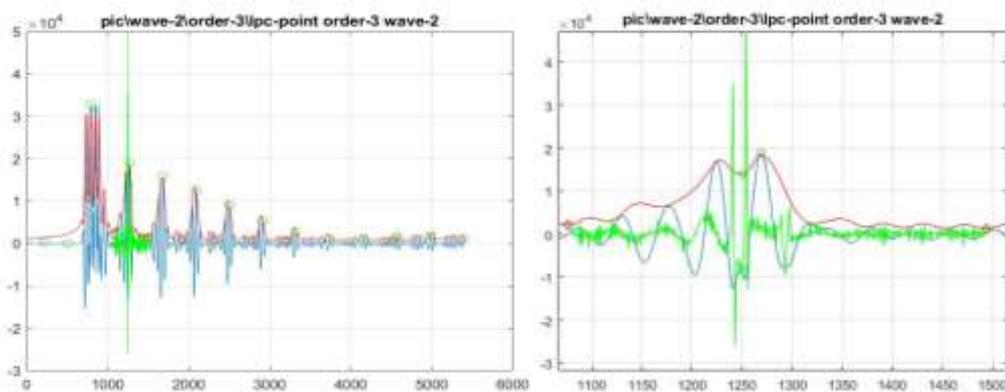


Рисунок 13. Ультразвуковой сигнал в одной точке измерения, определение методом LPC ошибки предсказания ультразвукового сигнала

В ходе эксперимента были проанализированы пять импульсов (волновых пакетов), соответствующих поверхностному (первому) и донным (последующим) эхо-сигналам. Следующий рисунок является результатом анализа для разных порядков второго импульса (волнового пакета).

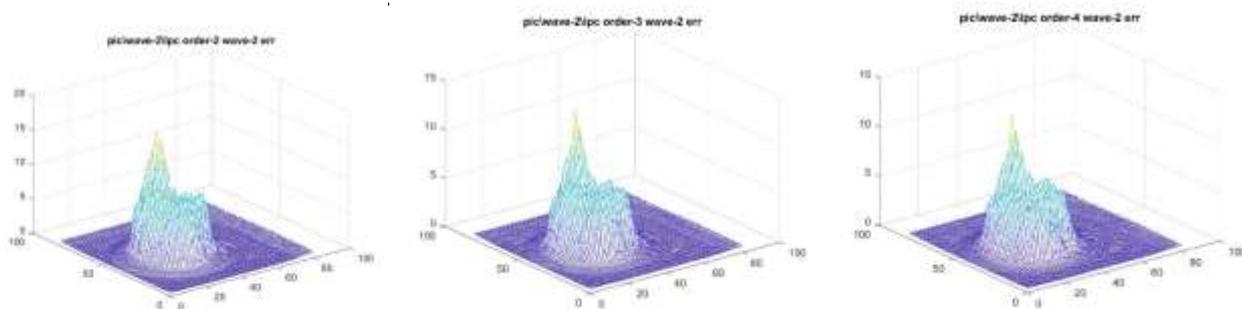
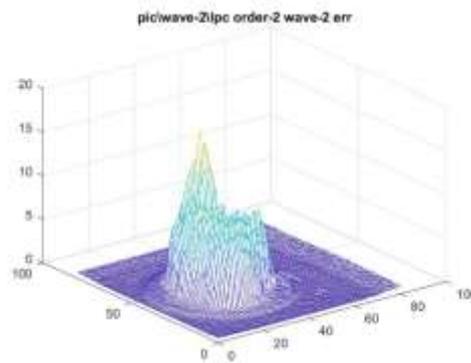


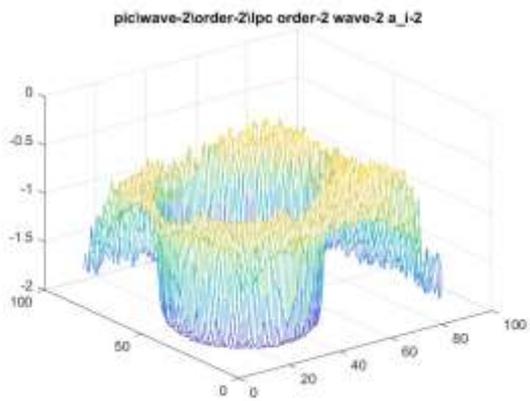
Рисунок 14. Значение среднеквадратичной ошибки предсказания для разных порядков

На рисунках 14, 15а, 16а, 17а Ось Z представляет величину нормированной ошибки предсказания в образце, горизонтальная ось X и Y представляют координаты точек контроля.

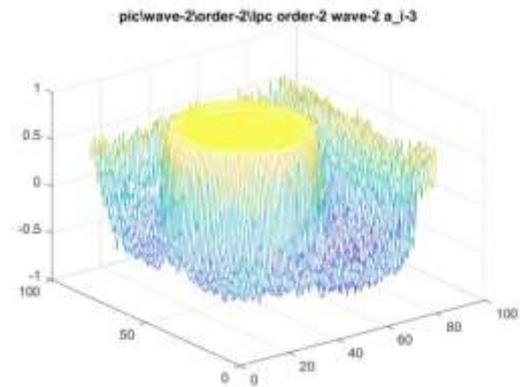
На рисунках 15б, 15в, 16б, 16в, 17б, 17в, Ось Z представляет значения коэффициентов полинома предсказания в образце, горизонтальная ось X и Y представляют координаты точек контроля.



a)

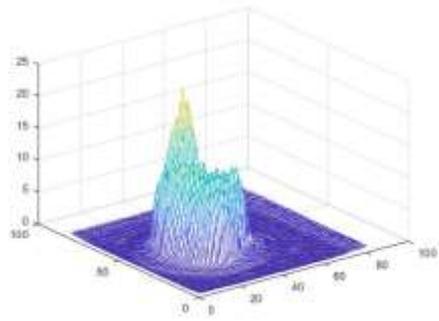


б)

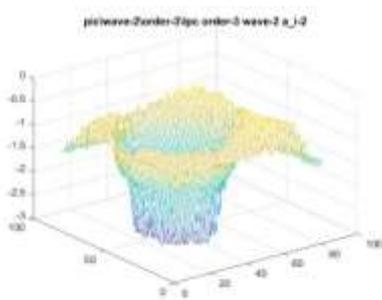


в)

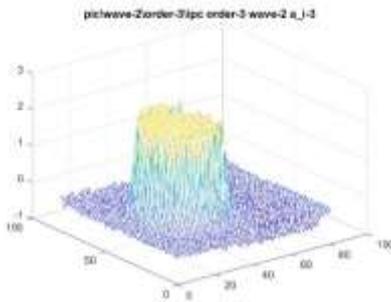
Рисунок 15. Определяемые методом LPC параметры ультразвукового сигнала: а) – значение среднеквадратичной ошибки предсказания; б) и в) – значения коэффициентов предсказания  $\{A_i\}$  (порядок 2)



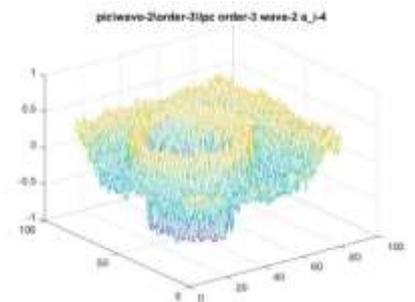
а)



б)

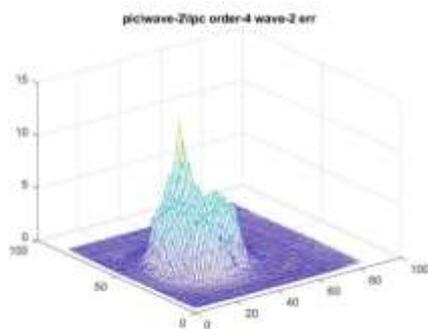


в)

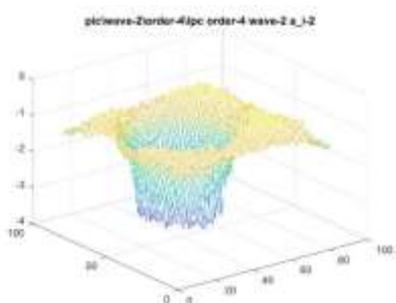


г)

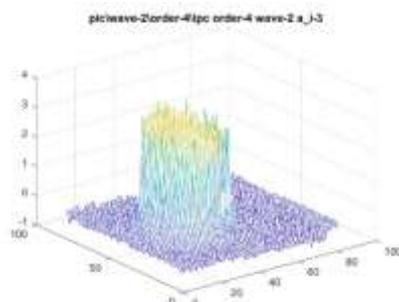
Рисунок 16. Определяемые методом LPC параметры ультразвукового сигнала: а) – значение среднеквадратичной ошибки предсказания; б) в) и г) – значения коэффициентов предсказания  $\{A_i\}$  (порядок 3)



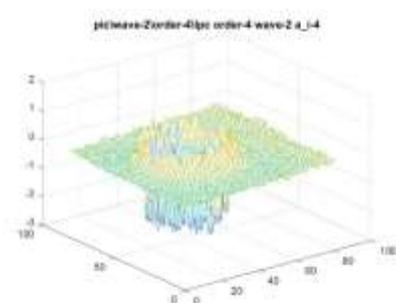
а)



б)



в)



г)

Рисунок 17. Определяемые методом LPC параметры ультразвукового сигнала: а) – значение среднеквадратичной ошибки предсказания; б) в) и г) – значения коэффициентов предсказания  $\{A_i\}$  (порядок 4)

Таблица 5. Образец R1-10MHz Нормированная ошибка линейного предсказания

волновой пакет		1	2	3	4	5
порядок полинома предсказания	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	2	1743.1629	113.8078	45.9828	16.3994	9.6820
	3	1476.3719	79.5718	37.2661	19.2404	10.6967
	4	1372.4419	75.7043	37.4422	18.1608	10.6308

С увеличением порядка, нормированная величина ошибки предсказания в образце уменьшается. На рисунках 15 б) и в), например, невозможно определить краевое положение датчика относительно образца. Но из изображений на рисунках 16 г) и 17 г), по отличающимся значениям коэффициента предсказания, легко определяются области, в которых датчик относительно образца находится в частичном перекрытии.

Пример значений нормированной ошибки линейного предсказания, и значений коэффициентов линейного предсказания, полученных с помощью метода LPC, приведен в таблицах 5 и 6. Анализ большого массива значений коэффициентов линейного предсказания, и нормированной ошибки линейного предсказания, показал, что наиболее подходящим для оценки изменения структурно-фазового состояния образцов является использование параметра нормированной ошибки линейного предсказания, определяемого для второго волнового пакета (первого донного импульса) в эхо-сигнале на частоте 10 МГц.

Таблица 6. Образец R1-10MHz коэффициенты линейного предсказания

	1.0000	-1.9664	0.9865	0	0
	1.0000	-2.5629	2.1755	-0.6046	0
	1.0000	-2.6476	2.4804	-0.9638	0.1401
	1.0000	-1.9745	0.9930	0	0
	1.0000	-2.2756	1.5917	-0.3032	0
	1.0000	-2.2225	1.3130	0.0953	-0.1751

### 3.3 Исследование образцов с измененным структурно-фазовым состоянием

Для каждого образцы были определены параметры распространения ультразвука до и после термообработки. Результаты эксперимента представлены в таблицах 7-12. Здесь показаны определяемые методами TOF и DECAУ параметры ультразвукового сигнала для исследуемого образца с помощью программе MATLAB. Для метода TOF, параметр TOF(1)- время пробега сигнала в образце (скорость); TOF(2)- погрешность. Для метода DECAУ, параметр D(1)- значения коэффициента затухания, полученные при измерении параметров распространения ультразвука в множестве точек образца. D(2)- погрешность.

Таблица 7. результаты исследования для метода tof-10MHz

tof-10MHz Образец	до отжига/закалки			после отжига/закалки		
	TOF(1)	TOF(2)	TOF(3)	TOF(1)	TOF(2)	TOF(3)
R1	412.0702	0.887	3			
R2	392.0127	0.3552	4	416.5875	0.0048	3.0000
R3	405.9336	0.377	3	406.6248	0.1635	2.0000
R4	412.0367	0.0439	3	411.9201	0.0286	3.0000
R5	409.7102	0.4858	3			
R6	409.8055	0.4871	4	412.5242	0.0680	4.0000
R7	409.8055	0.4871	4	413.3105	0.0911	3.0000
R8	410.1981	0.5456	4	412.7804	0.0882	4.0000
S1	409.3876	0.2415	4			
S2	410.2404	0.5197	3	423.0798	0.0342	3.0000
S3	413.7738	0.7159	5	419.5718	0.0360	4.0000
S4	403.6727	0.1013	3	405.9940	0.0471	4.0000
S5	395.3344	0.6879	3			
S6	408.6006	0.5259	3	411.9945	0.0661	4.0000
S7	397.5615	0.1897	5	397.4573	0.3964	4.0000
S8	408.6006	0.5259	3	409.0816	0.0408	4.0000

Таблица 8. результаты исследования для метода DECAУ-10MHz

DECAУ-10MHz	до закалки			после закалки		
Образец	D(1)	D(2)	D(3)	D(1)	D(2)	D(3)
R1	0.0246	0.0071	4			
R2	0.0262	0.0208	6	0.0244	0.0005	5.0000
R3	0.0292	0.0072	5	0.0093	0.0087	5.0000
R4	0.028	0.0057	5	0.0222	0.0013	8.0000
R5	0.0281	0.0108	5			
R6	0.0279	0.0126	6	0.0224	0.0023	7.0000
R7	0.0279	0.0126	6	0.0214	0.0011	6.0000
R8	0.0273	0.008	5	0.0208	0.0056	7.0000
S1	0.0222	0.0055	7			
S2	0.0232	0.01	6	0.0220	0.0014	6.0000
S3	0.0218	0.0105	7	0.0240	0.0009	6.0000
S4	0.0249	0.0043	6	0.0232	0.0013	7.0000
S5	0.021	0.0149	6			
S6	0.0277	0.0134	5	0.0217	0.0042	8.0000
S7	0.0223	0.0054	7	0.0197	0.0071	6.0000
S8	0.0277	0.0134	5	0.0228	0.0026	7.0000

Таблица 9. результаты исследования для метода tof-5MHz

tof-5MHz	до закалки			после закалки		
Образец	TOF(1)	TOF(2)	TOF(3)	TOF(1)	TOF(2)	TOF(3)
R1	412.181	0.2253	3			
R2	396.418	0.6781	3	416.6731	0.4804	2.0000
R3	408.1132	0.2217	3	409.8274	0.4215	3.0000
R4	412.1644	0.3339	3	411.4708	0.1391	3.0000
R5	411.6604	0.2624	3			
R6	411.6226	0.3071	3	412.5766	0.7351	5.0000
R7	411.2558	0.2666	3	412.9703	0.1677	3.0000
R8	411.8387	0.2576	3	412.1641	0.3871	3.0000
S1	411.2222	0.1983	3			
S2	412.015	0.2116	4	423.7251	0.2185	3.0000
S3	415.1074	0.2825	3	419.8017	0.2476	3.0000
S4	406.9602	0.056	2	405.4620	0.1332	4.0000
S5	396.7462	0.0595	3			
S6	410.7257	0.0626	2	411.4173	0.4129	4.0000
S7	397.434	0.3571	3	394.9728	0.4223	3.0000
S8	397.434	0.3571	3	409.5458	0.3572	4

Таблица 10. результаты исследования для метода DECAУ-5MHz

DECAУ-5MHz	до закалки			после закалки		
	Образец	D(1)	D(2)	D(3)	D(1)	D(2)
R1	0.0219	0.0027	6			
R2	0.0175	0.006	6	0.0269	0.0041	5.0000
R3	0.0219	0.0019	6	0.0277	0.0031	5.0000
R4	0.0213	0.0025	6	0.0232	0.0034	7.0000
R5	0.0217	0.0021	6			
R6	0.0217	0.0023	6	0.0224	0.0074	7.0000
R7	0.0217	0.0023	6	0.0216	0.0008	6.0000
R8	0.0222	0.0023	6	0.0245	0.0164	6.0000
S1	0.0225	0.0034	7			
S2	0.0218	0.0026	6	0.0241	0.0029	6.0000
S3	0.0225	0.0033	6	0.0245	0.0027	6.0000
S4	0.0218	0.0021	6	0.0223	0.0022	6.0000
S5	0.0243	0.0077	6			
S6	0.0214	0.0019	6	0.0230	0.0060	7.0000
S7	0.0217	0.0022	6	0.0206	0.0041	6.0000
S8	0.0217	0.0022	6	0.0222	0.0202	7.0000

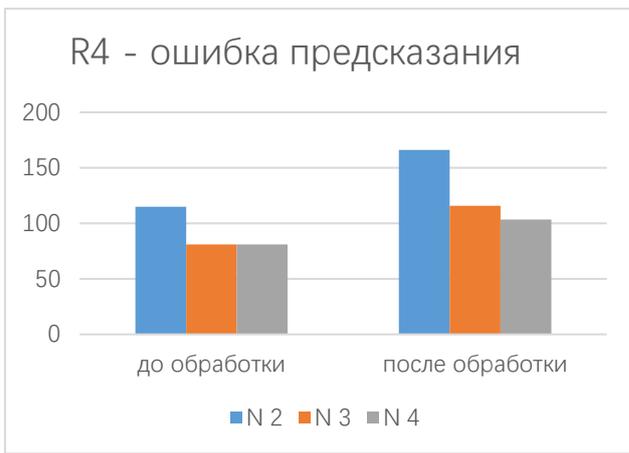
Таблица 11. результаты исследования для метода tof-20MHz

tof-20MHz	до закалки			после закалки		
	Образец	TOF(1)	TOF(2)	TOF(3)	TOF(1)	TOF(2)
R1	412.6433	0.604	3			
R2	401.1608	0.2118	3	415.9504	0.8085	3.0000
R3	407.9042	0.4507	2	406.4574	1.5398	3.0000
R4	413.3959	0.4242	3	411.5020	0.5245	2.0000
R5	412.0441	0.7421	2			
R6	412.2134	0.5387	2	409.5967	1.1330	3.0000
R7	411.0396	0.8477	4	411.2808	1.2013	2.0000
R8	411.8931	0.3699	2	411.2223	0.7040	2.0000
S1	411.5191	0.5345	3			
S2	411.2914	0.3796	3	421.3650	1.6228	3.0000
S3	415.6075	0.492	3	417.2084	1.254	2.0000
S4	407.5588	0.5893	2			
S5	401.1967	0.7798	3			
S6	410.691	0.8717	3	410.3232	0.6518	2.0000
S7	393.081	0.7206	5			
S8	408.9907	0.7487	3	407.6543	0.6149	3.0000

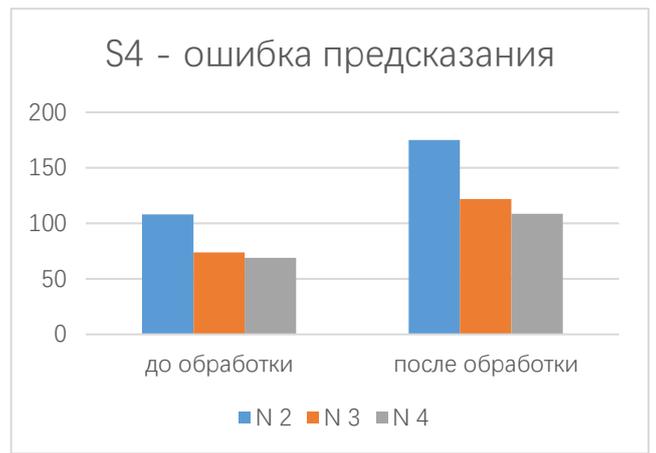
Таблица 12. результаты исследования для метода DECAУ-20MHz

DECAУ-20MHz	до закалки			после закалки		
Образец	D(1)	D(2)	D(3)	D(1)	D(2)	D(3)
R1	0.0295	0.0055	5			
R2	0.0355	0.0025	5	0.0329	0.0082	5.0000
R3	0.0331	0.0099	4	0.0261	0.0183	5.0000
R4	0.0343	0.0049	5	0.0365	0.0015	4.0000
R5	0.0341	0.0098	5			
R6	0.0345	0.014	4	0.0338	0.0102	5.0000
R7	0.0338	0.0108	5	0.0355	0.0077	5.0000
R8	0.037	0.0009	4	0.0360	0.0076	5.0000
S1	0.036	0.0018	5			
S2	0.0349	0.0013	5	0.0354	0.0069	5.0000
S3	0.0325	0.0093	5	0.0306	0.0096	5.0000
S4	0.0338	0.0145	4			
S5	0.0351	0.0108	5			
S6	0.0348	0.0078	5	0.0354	0.0070	5.0000
S7	0.0264	0.0028	4			
S8	0.0342	0.0101	5	0.0341	0.0065	5.0000

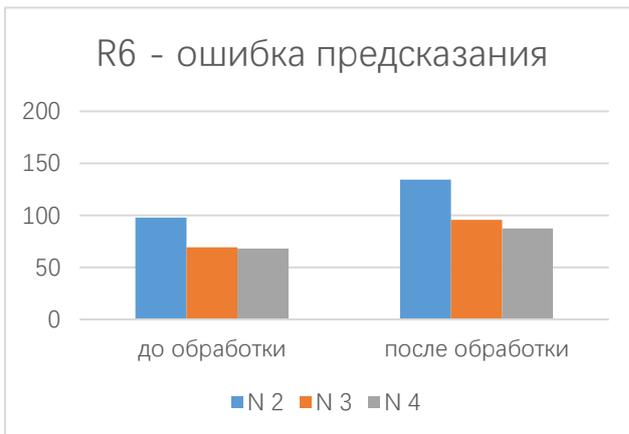
Из таблицы видно, что значения параметра DECAУ для образца R2, S2, R3, (закалка,  $T = 950^{\circ}\text{C}$ , охлаждение в потоке аргона) практически равны, не изменяются. Образцы R6, S6, R7, S7, R8, S8 (отжиг в вакууме,  $T = 800^{\circ}\text{C}$ , охлаждение в вакууме), обнаруженные на разных частотах, значения параметра DECAУ значительно отличаются. Для 5MHz и 20MHz не меняется, для 10MHz уменьшается. Видно, что значения параметра TOF для разных образцов практически равны, значительно маленькая разница в точке контроля.



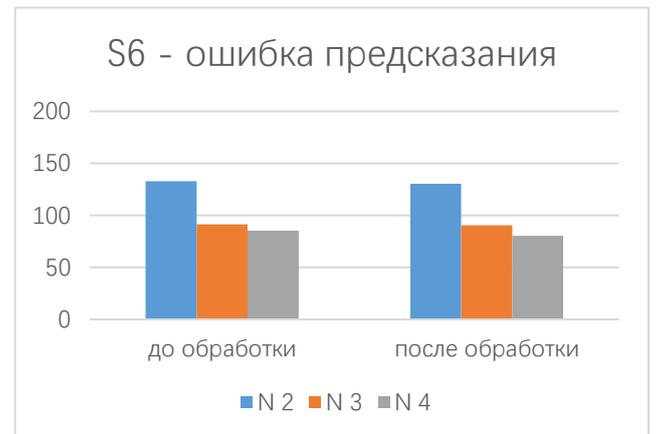
а)



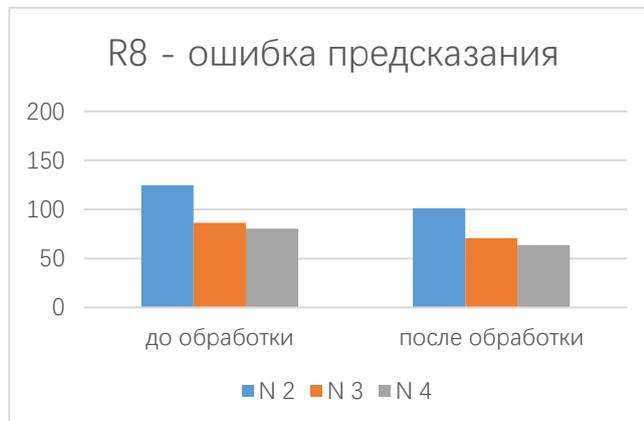
б)



в)



г)



д)

Рисунок 18. Значение ошибки предсказания до обработки и после обработки (отжиг в вакууме, охлаждение в вакууме), а) – образец R4 б) – образец S4 в) - образец R6 г) - образец S6 д)- образец R8

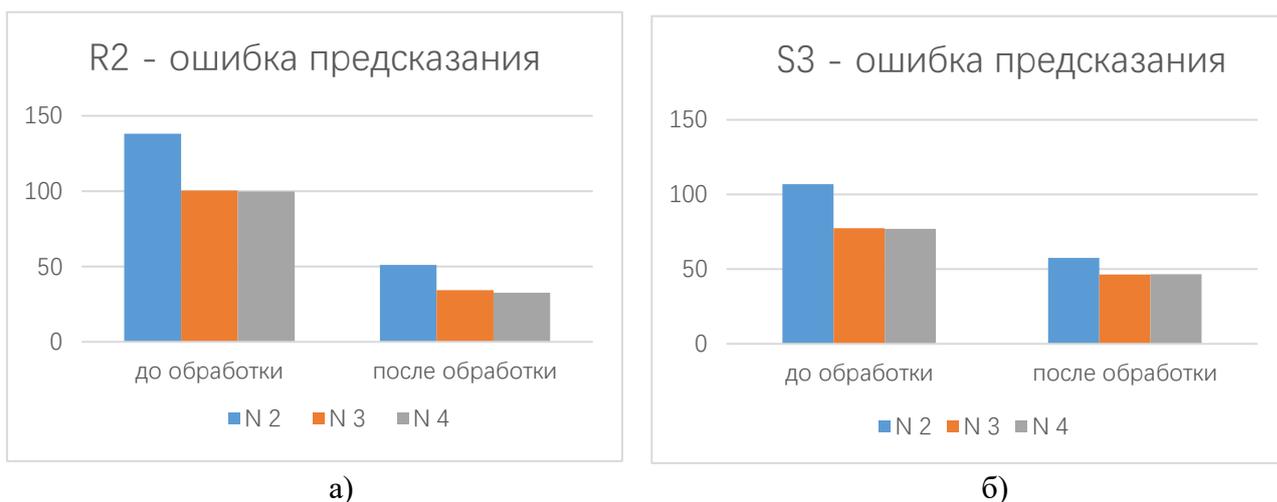


Рисунок 19. Значение ошибки предсказания до обработки и после обработки (закалка, охлаждение в потоке аргона) а) - образец R2 б) – образец S3

Из рисунков 18 и 19, на которых представлены данные термообработанных образцов видно, что значение нормированной ошибки предсказания до и после термообработки отличается. На рисунке 18 значение нормированной ошибки предсказания для образца R4 второго порядка изменяется с 115 до 166, для образца S4 с 107 до 175, для образца R6 с 97 до 134, для образца S6 с 132 до 130, для образца R8 с 124 до 101, здесь представлены образцы термообработанные путем отжига в вакууме. И в зависимости от параметров термообработки, значение ошибки предсказания увеличивается для скорости охлаждения 0,5 и 5 °C/мин (образцы R4, S4, R6, S6); для скорости охлаждения 20 °C/мин (образец R8) значение ошибки предсказания уменьшается примерно на 20 %.

На рисунке 19 значения нормированной ошибки предсказания для образцов R2 и S3, подвергнутых закалке, и имеющих нулевое содержание  $\beta$ -фазы, и в 10 раз большие микронапряжения значение нормированной ошибки линейного

предсказания значительно уменьшается для образца R2 с 138 до 50, для образца S3 с 106 до 57 единиц.

Сравнение параметров метода коэффициентов линейного предсказания проводилось для полинома второго порядка, для которого наблюдаются наибольшие изменения его значения.

Изменения параметров коэффициентов линейного предсказания хорошо согласуются с изменением коэффициента затухания в образцах после термообработки.

## Заключение

В работе были рассмотрены основы акустических неразрушающего методов контроля и определен зависимости параметров метода линейного предсказания коэффициентов от структурно-фазового состояния титанового сплава ВТ6.

Проведено сравнительное исследование образцов из титанового сплава ВТ6: времяпролетным методом – определение скорости распространения, импульсным методом – определение коэффициента затухания, методом коэффициентов линейного предсказания – определение параметров линейного предсказания для эхо-сигнала исходных образцов, и образцов с измененным структурно-фазовым состоянием.

Обработка и анализ эхо-сигналов проводилась с помощью программы MATLAB.

Применение для обработки эхо-сигналов метода коэффициентов линейного предсказания позволяет получить дополнительную информацию об объекте контроля, например, выявить особенности формы эхо-сигнала при контроле на границах образца. Также установлена прямая зависимость вычисляемых методом коэффициентов линейного предсказания параметров эхо-сигнала от структурно-фазового состояния образцов из титанового сплава ВТ-6.

## **4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсоснабжение**

### **Введение**

В настоящее время перспективность научного исследования определяется не только масштабом открытия, оценить которое на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки. Оценка коммерческой ценности (потенциала) разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов. Это важно для разработчиков, которые должны представлять состояние и перспективы проводимых научных исследований. Через такую оценку ученый может найти партнера для дальнейшего проведения научного исследования, коммерциализации результатов такого исследования и открытия бизнеса.

Целью данной главы является расчет затрат, необходимых для проведения эксперименты:

1. Обнаружение дефектов в титановых сплавах ВТ6
2. Используйте программное обеспечение MATLAB для анализа свойств образца

## 4.1 Планирование управления научно-техническим проектом

Группа процессов планирования состоит из процессов, осуществляемых для определения общего содержания работ, уточнения целей и разработки последовательности действий, требуемых для достижения данных целей.

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 табл. 13.

Таблица 13. Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	01	Составление и утверждение технического задания	Руководитель темы
Выбор направления исследований	02	Подбор и изучение материалов по теме	Студент
	03	Проведение патентных исследований	Студент
	04	Выбор направления исследований	Руководитель, инженер
	05	Календарное планирование работ по теме	Студент
Теоретические и экспериментальные исследования	06	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Студент
	07	Построение макетов (моделей) и проведение экспериментов	Руководитель, Студент
	08	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Студент
	09	<i>Заполняется дипломником самостоятельно</i>	Студент
Обобщение и оценка	10	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, Студент

результатов	11	Определение целесообразности проведения ОКР	Руководитель, Студент
<i>Проведение ОКР</i>			Руководитель, Студент
Разработка технической документации и проектирование	12	Разработка блок-схемы, принципиальной схемы	Руководитель, Студент
	13	Выбор и расчет конструкции	Руководитель, Студент
	14	Оценка эффективности производства и применения проектируемого изделия	Руководитель, Студент
Изготовление и испытание макета (опытного образца)	15	Конструирование и изготовление макета (опытного образца)	Студент
	16	Лабораторные испытания макета	Студент
Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ОКР)	17	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	Руководитель, Студент
	18	Оформление патента	Руководитель, Студент
	19	Размещение рекламы	Руководитель,

В рамках планирования научного проекта необходимо построить календарный график проекта. Для планирования работы была выбрана диаграмма Ганта, которая представляет собой тип столбчатых диаграмм (гистограмм), который используется для иллюстрации календарного плана

проекта, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

График строится в виде таблицы 13. с разбивкой по месяцам за период времени выполнения научного проекта. При этом работы на графике выделены различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

#### **4.2 Бюджет научного исследования**

При планировании бюджета научно-технического исследования(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);
- Накладные расходы.

#### 4.2.1 Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты

В эту статью включаются затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ по данной теме. Количество потребных материальных ценностей определяется по нормам расхода

В материальные затраты, помимо выше указанных, включаются дополнительно затраты на канцелярские принадлежности, диски, картриджи и т.п. Однако их учет ведется в данной статье только в том случае, если в научной организации их не включают в расходы на использование оборудования или накладные расходы. В первом случае на них определяются соответствующие нормы расхода от установленной базы. Во втором случае их величина учитывается как некая доля в коэффициенте накладных расходов.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m \Pi_i \cdot N_{\text{рас}xi} , \quad (6)$$

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

$N_{\text{рас}xi}$  – количество материальных ресурсов  $i$ -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м<sup>2</sup> и т.д.);

$C_i$  – цена приобретения единицы  $i$ -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м<sup>2</sup> и т.д.);

$k_T$ – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Значения цен на материальные ресурсы могут быть установлены по данным, размещенным на соответствующих сайтах в Интернете предприятиями-изготовителями (либо организациями-поставщиками).

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 14.

Таблица 14. Сырье, материалы, комплектующие изделия и покупные полуфабрикаты

Наименование	Марка, размер	Кол-во	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
ТитанВТ6	15*5*1мм	30	30,00	900,00
Спирт	500мл	1	200	200,00
наждачная бумага	Радиус 15см	20	60	1200
Всего за материалы			2300	

Транспортно-заготовительные расходы (15-25%)	800
Итого по статье $C_M$	3100

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

#### 4.2.2 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. При приобретении спецоборудования необходимо учесть затраты по его доставке и монтажу в размере 15% от его цены.

Таблица 15. Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

№ п/п	Наименование оборудования	Время использования оборудования, ч	Цена использования оборудования, руб./ч.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
1.	Установка автоматизирован ного комплекса Gas Reaction Controller	40	500	5600
2.	Стенд измерения параметров ультразвука	80	500	4200
3.	Индукционный нагреватель	10	1000	450
4.	Компьютер	80	300	15,23
Итого:				10265.23

Затраты на электроэнергию для установки:

$З_{\text{элек.}} = (1,5\text{кВ} \times 80 \text{ час} + 0,5\text{кВт} \times 40\text{час} + 0,16\text{кВт} \times 10\text{час} + 0,12\text{кВт} \times 80\text{час})$   
 $\times 6 \text{ руб. кВт/час} = 907,2\text{руб.}$

Таким образом, затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ равен 11172,43 руб.

#### 4.2.3 Основная заработная плата

Статья включает основную заработную плату установки, работники непосредственно занято выполнением проекта, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату. Основная заработная плата рассчитывается по формуле 1:

$$C_{зп} = З_{осн} + З_{доп} \quad (7)$$

где  $З_{осн}$  – основная заработная плата;

$З_{доп}$  – дополнительная заработная плата;

Основная заработная плата ( $З_{осн}$ ) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по формуле 34:

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_{раб} \quad (8)$$

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

$T_{р}$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} \quad (9)$$

где  $Z_m$  – 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;

$F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб.дн.

Баланс рабочего времени показан на таблице 16.

Таблица.16. Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней - выходные дни - праздничные дн	66	66
Потери рабочего времени - отпуск - невыходы по болезни	48	48
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	251

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{тс} \cdot (1 + k_{пд} + k_d) \cdot k_p, \quad (10)$$

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

$k_p$  – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

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 табл. 17.

Таблица.17. Расчет основной заработной платы

Исполнители	З осн., руб	кпр	кд	кп	Зм, руб	Здп, руб.	Т раб.дн и	З итого
Руководитель	33664	0,3	-	1,3	30030	915	33	30195
Инженер	9893	0,3	-	1,3	12860	532	71	37772

#### 4.2.4 Дополнительная заработная плата

В данную статью включается сумма выплат, предусмотренных законодательством о труде, например, оплата очередных и дополнительных отпусков; оплата времени, связанного с выполнением государственных и общественных обязанностей; выплата вознаграждения за выслугу лет и т.п. (в среднем – 12 % от суммы основной заработной платы).

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} \quad (11)$$

Где  $Z_{\text{доп}}$  – дополнительная заработная плата, руб.;

$k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной зарплаты;

$Z_{\text{осн}}$  – основная заработная плата, руб.

В данный раздел включается сумма выплат, предусмотренных законодательством о труде, например, оплата очередных и дополнительных отпусков; оплата времени, связанного с выполнением государственных и общественных обязанностей; выплата вознаграждения за выслугу лет и т.п. (в среднем– 12 % от суммы основной заработной платы) .

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10–15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}, (12)$$

Где  $Z_{\text{доп}}$  – дополнительная заработная плата, руб.;  $k_{\text{доп}}$ –коэффициент дополнительной зарплаты;  $Z_{\text{осн}}$  – основная заработная плата, руб. Пример расчета:

$$Z_{\text{доп}} = 0,15 \times 989,19 = 153,87$$

#### 4.2.5 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:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}), \quad (13)$$

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

На 2018 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 2018 году водится пониженная ставка –30,2%.

Таблица.18. Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб	Дополнительная заработная плата(12% от основной), руб
Руководитель проекта	30195	3623,4
Студент-дипломник	37772	4532,64

Коэффициент отчислений	0,302
Итого	22989,16

#### 4.2.6 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 7) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (14)$$

где  $k_{\text{нр}}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

#### 4.2.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Таблица 19. Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
Материальные затраты НИИ	3100
Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	62088
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	67967
Отчисления во внебюджетные фонды	22989,16
Накладные расходы	203
Бюджет затрат НИИ	156347,16

## **Вывод**

При планировании научно-исследовательской работы был произведен подсчет бюджета исследования. В процессе формирования бюджета были использованы группировки по материальным затратам (3100 руб), затратам на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ (62088 руб), затратам по основной заработной плате исполнителей темы (67967 руб), Отчисления во внебюджетные фонды (22989,16 руб), Накладные расходы (203 руб). Всего бюджет составил 156347,16 руб. Данная оценка коммерческой ценности необходима, чтобы представлять финансовое состояние и перспективы проводимых научных исследований.

## 5 Социальная ответственность

### 5.1 Техногенная безопасность

Питание всеї установки осуществляется за счет питания от сети переменного тока напряжением 220 В, экспериментальные исследования проводятся на разных частотах ультразвука.

При проведении работ на работников возможно воздействие следующих вредных факторов:

- Микроклимат;
- Недостаточный уровень освещенности
- Превышение уровней шума

Опасных производственных факторов:

- Электрическое напряжение;
- Воздействие высокой температуры;
- Эксплуатация газовых баллонов (водород), работающих под давлением.

Опасность поражения человека электрическим током определяется прежде всего величиной тока, проходящего через тело человека. Прохождение тока может вызвать у человека раздражение и повреждение различных органов. Электрический ток оказывает воздействие на нервные клетки, кровеносные сосуды и кровь, а также на сердце, головной мозг,

органы дыхания и т.д. Пороговый не отпускающий ток составляет 50 Гц (6-16мА). Защита от воздействия электрического тока осуществляется путем проведения организационных, инженерно-технических и лечебно-профилактических мероприятий.

Во избежание получения термических ожогов из-за высокой температуры запрещается открывать крышку нагретой печи, дотрагиваться до камеры, в которую помещен исследуемый образец.

Из-за утечки газа из баллона возможно возгорание. Необходимо перед началом работы проверить целостность баллонов, прочность их крепления, отсутствие утечки газа. Вентиль и резьба должны быть исправно, манометр должен быть проверен и исправлен, редуктор должен соответствовать газу в баллоне.

При вредном воздействии ПЭВМ на организм человека происходит нагрузка на зрение, заболевание кожи лица, нервные и психические заболевания и т.д. Для защиты от электромагнитных полей используются различные фильтры. Ориентация светопроемов должна быть северо-восточной или северной. Источники искусственного освещения: люминесцентные лампы типа ЛБ и ДРЛ. Оптимальные параметры микроклимата. При работе с ПЭВМ уровень звука не должен превышать значений, установленных для данных видов работ.

Для удобства работы в помещении необходима нормирование параметров микроклимата. Необходимо применение защитных мероприятий по способам и средствам защиты от высоких и низких температур, системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха, искусственное освещение и т.п.

В таблице 20. Представлены предельно допустимые значения напряжений при работе согласно ГОСТ 12.1.038-82

Таблица 20. Допустимые значения напряжений

Ток рода	U, В	I, мА
	не более	
Переменный, 50 Гц	2,0	0,3
Переменный, 400 Гц	3,0	0,4
Постоянный	8,0	1,0

Документы по воздействию ПЭВМ:

- Инструкция № 2-08 по охране труда при работе с ПЭВМ и ВДТ;
- СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организация работы;
- ГОСТ Р 50948-01. Средства отображения информации индивидуального пользования. Общие эргономические требования и требования безопасности;

– ГОСТ Р 50949-01. Средства отображения информации индивидуального пользования. Методы измерений и оценки эргономических параметров и параметров безопасности;

– ГОСТ Р 50923-96. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения.

Временные допустимые уровни ЭМП, создаваемых ПЭВМ на рабочих места согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03.

Таблица 21. параметры магнит-электронное поле

Наименование параметров		ВДУ
Напряженность электрического поля	в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	25 В/м
	в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	250 нТл
	в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц	25 нТл
Электростатический потенциал экрана видеомонитора	500 В	

Микроклимат:

- СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
- Оптимальные параметры микроклимата помещений с ПЭВМ должны соответствовать СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03, оптимальные параметры представлены в таблице 22. После окончания работы прибора рекомендуется производить проветривание помещения и влажную уборку.

Таблица 22. Оптимальные параметры микроклимата

Температура, °С	Относительная влажность, %	Абсолютная влажность, г/м <sup>3</sup>	Скорость движения воздуха, м/с
19	62	10	Менее 0,1
20	58		
21	55		

По характеру спектра шум следует подразделять на:

1. По временным характеристикам шум следует подразделять на:

Постоянный, уровень звука которого за 8-часовой рабочий день (рабочую смену) изменяется во времени не более чем на 5 дБ А при измерениях на временной характеристике “медленно” шумомера по ГОСТ 17187;

Непостоянный, уровень звука которого за 8-часовой рабочий день (рабочую смену) изменяется во времени более чем на 5 дБ  $A$  при измерениях на временной характеристике “медленно” шумомера по ГОСТ 17187.

2. Непостоянный шум следует подразделять на:

Колеблющийся во времени, уровень звука которого непрерывно изменяется во времени;

Прерывистый, уровень звука которого ступенчато изменяется (на 5 дБ  $A$  и более), причем длительность интервалов, в течение которых уровень остается постоянным, составляет 1 с и более;

Импульсный, состоящий из одного или нескольких звуковых сигналов, каждый длительностью менее 1 с, при этом уровни звука, измеренные в дБ  $A_I$  и дБ  $A$  соответственно на временных характеристиках “импульс” и “медленно” шумомера по ГОСТ 17187, отличаются не менее чем на 7 дБ.

Предельно допустимые уровни звука и эквивалентные уровни звука на рабочих местах с учетом напряженности и тяжести трудовой деятельности представлены в табл.23.

Количественную оценку тяжести и напряженности трудового процесса следует проводить в соответствии с Руководством 2.2.013-94 «Гигиенические критерии оценки условий труда по показателям вредности и

опасности факторов производственной среды, тяжести, напряженности трудового процесса».

таблица 23. Оптимальные параметры звука

Уровни звукового давления в октавных полосах со средне-геометрическими частотами									Уровни звука в дБА
31,5 Гц	63 Гц	125 Гц	250 Гц	500 Гц	1000 Гц	2000 Гц	4000 Гц	8000 Гц	
86 дБ	71 дБ	61 дБ	54 дБ	49 дБ	45 дБ	42 дБ	40 дБ	38 дБ	50

Измерение уровня звука и уровней звукового давления проводится на расстоянии 50 см от поверхности оборудования и на высоте расположения источника(ков) звука

Шум:

СП 52.13330.2011

## 5.2 Организационные мероприятия обеспечения безопасности

Целях профилактики неблагоприятного воздействия микроклимата используются **защитные мероприятия:**

- внедрение современных технологических процессов, исключающих воздействие неблагоприятного микроклимата на организм человека;

- организация принудительного воздухообмена в соответствии с требованиями нормативных документов (кондиционирование, воздушное душирование, тепловые завесы и др.);
- компенсация неблагоприятного воздействия одного параметра изменением другого;
- применение спецодежды и средств индивидуальной защиты, организация специальных помещений с динамическими параметрами микроклимата (комнаты для обогрева, охлаждения, др.);
- физически обоснованная регламентация режимов труда и отдыха (сокращенный рабочий день, регламентированное время для обогрева и др.);
- правильная организация систем отопления и воздухообмена.
- Для регламентации времени работы в пределах рабочей смены в условиях микроклимата с температурой воздуха на рабочем месте. выше или ниже допустимых величин используется защита временем

От неблагоприятного воздействия ПЭВМ используются

**защитные мероприятия:**

- При характере работы, требующего постоянного взаимодействия с ВДТ (набор текстов или ввод данных и т. п.) с напряжением внимания и

сосредоточенности, при исключении возможности периодического переключения на другие виды работ, рекомендуется организация перерывов на 10-15 мин через каждые 45-60 мин работы.

- Продолжительность непрерывной работы с ВДТ без регламентированного перерыва не должна превышать 1 часа.
- Для предупреждения преждевременной утомляемости пользователей ПЭВМ рекомендуется организовывать работу путем чередования работ с использованием ПЭВМ и без него.

В случае возникновения у работающих с ПЭВМ зрительного дискомфорта, несмотря на соблюдение санитарно-гигиенических и эргономических требований, рекомендуется применять индивидуальный подход с ограничением времени работы с ПЭВМ.

Во время регламентированных перерывов целесообразно выполнять комплекс упражнений, изложенный в Приложениях СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 других нормативных документах или рекомендованный врачом.

*Перед началом работы:* Перед началом работы необходимо правильно надеть спецодежду, подготовить для работы необходимый инструмент и приспособления, приготовить рабочий стол. Также необходимо проверить отсутствие внешних повреждений электрооборудования, наличие и исправность контрольных, измерительных и сигнальных приборов,

компьютера, тумблеров, переключателей и т.п. При выявлении неисправностей, не допускается проводить ремонт самостоятельно, необходимо доложить руководителю лаборатории. Наладка прибора и его ремонт осуществляется только сервис-инженерами.

Важно перед проведением работ на установке GasReactionController проверить целостность газовых баллонов, прочность их крепления, отсутствие утечки газа. Вентиль и резьба должны быть исправны. Манометры редуктора должны быть проверены и исправны. Редуктор должен соответствовать газу в баллоне.

Запрещается приступать к работе, если выявлены неисправности любого используемого оборудования, если истек срок очередного освидетельствования баллона, истек срок проверки манометра, если персонал не прошел в установленном порядке обучение и проверку знаний безопасности труда.

**Во время работы.** Работа с установкой Gas Reaction Controller должна производиться в чистом помещении, свободном от пыли, паров, кислот и щелочей, агрессивных газов и других вредных примесей, вызывающих коррозию. Недопустимо наличие открытого огня около прибора. Все работы выполняются строго по инструкции завода-изготовителя. Во время работы запрещается открывать крышку нагретой печи, дотрагиваться до камеры, в которую помещен исследуемый образец. Также необходимо следить за

показаниями манометров, за состоянием баллонов, их креплением. При обнаружении опасных ситуаций принять срочные меры по отключению установки. В течение эксперимента запрещается производить подтяжку гаек редукторов.

*После окончания работы с установкой необходимо:*

- Закрывать вентили газовых баллонов;
- Убедиться, что все клапаны контроллера закрыты;
- Выйти из программы, отключить питание компьютера;
- Отключить установку Gas Reaction Controller и насос от электросети;
- Проверить целостность газовых баллонов, их крепление, отсутствие утечки газа.

Также необходимо проверить общее состояние помещения, убедиться в отсутствии возможности возгорания.

### **5.3 Особенности законодательного регулирования проектных решений**

К работе на установке Gas Reaction Controller допускаются лица не моложе 18 лет, не имеющие медицинские противопоказания, прошедшие обучение безопасности труда и инструктаж на рабочем месте.

К самостоятельной работе допускаются работники после специального обучения и проверки знаний норма и правил работы с электроустановками, правил безопасности работы с газовыми баллонами, приобретенных навыков и безопасных способов выполнения работы на установке Gas Reactoin Controller, имеющие не менее II группы по электро безопасности и получившие допуск к работе с газовыми баллонами.

Повторная проверка знаний норм и правил электро безопасности, правил безопасной работы с газовыми баллонами проводится с работниками не реже 1 раза в 12 месяцев, повторный инструктаж на рабочем месте – не реже 1 раза в 3 месяца

Проведение всех видов инструктажа должно оформляться в Журнале регистрации инструктажа установленного образца, с обязательными подписями получившего и проводившего инструктаж, с указанием даты проведения инструктажа, наименования и номеров инструкции на виды работ, по которым проводится инструктаж.

По данной теме рассматриваются законодательный и нормативные документы:

- инструкция № 2-25 по охране труда при выполнении работ на установке Gas Reaction Controller;

- инструкция № 2-14 по охране труда при работе с электрооборудованием напряжением до 1000 В;
- инструкция № 2-07 по охране труда при работе с баллонами, работающими под давлением.

### **Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

При обнаружении неисправной работы установки Gas Reaction Controller необходимо прекратить работу, выйти из программы, отключить питание компьютера, отключить насос, установку Gas Reaction Controller от электросети и известить об этом руководителя.

В случае обнаружения утечки газа из баллона немедленно прекратить подачу газа из баллона и сообщить об аварийной ситуации непосредственному руководителю.

При возникновении возгорания необходимо немедленно прекратить работу, закрыть баллон с газом, отключить электрооборудование, позвонить в подразделение пожарной охраны по телефону 01 или 010, сообщить о случившемся руководителю подразделения и приступить к тушению огня первичными средствами пожаротушения.

## 5.4 Расчет искусственного освещения

Правильно спроектированное и рационально выполненное освещение производственных помещений оказывает положительное воздействие на работающих, способствует повышению эффективности и безопасности труда, снижает утомление и травматизм, сохраняет высокую работоспособность.

Основной задачей светотехнических расчётов для искусственного освещения является определение требуемой мощности электрической осветительной установки для создания заданной освещённости.

Для производственных помещений всех назначений применяются системы общего (равномерного или локализованного) освещения и комбинированного (общего и местного) освещения. При учете особенностей процесса работ на установке Gas Reaction Controller (не требует освещения для работ высокой точности) допускается применение системы общего равномерно освещения.

Для общего освещения применяются газоразрядные лампы: дневной (ЛД), холодно-белой (ЛХБ), тепло-белой (ЛТБ) и белой цветности (ЛБ).

Для нормальных помещений с хорошим отражением потолка и стен при умеренной влажности и запыленности допускаются открытые двухламповые светильники для люминесцентных ламп типа ОД, ОДОР, ШОД, ОДО, ООД.

Для освещения при работе с установкой Gas Reaction Controller используются светильники для ламп ЛХБ типа ОД (мощность 30 Вт).

Параметры размещения светильников в помещении:

Высота помещения:  $H = 370$  см;

Расстояние светильников от перекрытия:  $h_c = 30$  см;

Высота светильника над полом, высота подвеса:

$$h_n = H - h_c = 370 - 30 = 340 \text{ (см)} \quad (14)$$

Высота рабочей поверхности над полом:  $h_{pn} = 80$  см;

Расчетная высота, высота светильника над рабочей поверхностью:

$$h = h_n - h_{pn} = 340 - 80 = 260 \text{ (см)} \quad (15)$$

Для двухламповых светильников ОД при одиночной установке или при непрерывных рядах из одиночных светильников в соответствии с требованиями наименьшая допустимая высота подвеса над полом составляет 3,5 м. Рассчитанная величина  $h = 2,6$  м не соответствует требованиям.

Расстояние между соседними светильниками:  $L = 3,6$  см;

Расстояние от крайних светильников до стены:  $l = 1,2$  см.

Расстояние от крайних светильников до стены является оптимальным, так как рекомендуемая величина равна  $L/3 = 3,6/3 = 1,2$  см.

Интегральный критерий оптимальности расположения светильников является величина  $\lambda = L/h$ . При наивыгоднейшем расположении светильников ОД величина  $\lambda$  должна составлять 1,4.

Оптимальное расстояние между светильниками  $L$  должно составлять:

$$L = \lambda \cdot h = 1,4 \cdot 2,6 = 3,64 \text{ (м)} \quad (16)$$

что соответствует настоящему расположению светильников.

Расчет общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока:

$$\Phi = \frac{E_n \cdot S \cdot K_z \cdot Z}{N \cdot \eta} = \frac{200 \cdot 25 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{4 \cdot 0,49} = 4209 \text{ Лм} \quad (17)$$

где:

Нормируемая минимальная освещенность (по СНиП 23-05-95):  
 $E_n=200$ лк (разряд зрительной работы VI: очень малой точности);

Площадь освещаемого освещения:  $S = 25 \text{ м}^2$ ;

Коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, наличие в атмосфере дыма, пыли:  $K_z = 1,5$  (помещение с малым выделением пыли);

Коэффициент неравномерности освещения:  $Z = 1,1$  (для люминесцентных ламп);

Число ламп в помещении:  $N = 4$ ;

Коэффициент использования светового потока:  $z = 49$ ;

Индекс помещения:

$$i = S / h(A + B) = 25 / 2,6 \cdot 10 = 0,96 \quad (44)$$

Коэффициент отражения стен (свежепобеленное состояние стен с окнами без штор):  $c_c = 50\%$ ;

Коэффициент отражения потолка (свежепобеленное состояние потолка):  $c_n = 70\%$ ;

В соответствии со значением рассчитанного светового потока  $\Phi = 4209$  лм, ближайшей световой люминесцентной лампой является лампа типа ЛХБ с электрической мощностью осветительной системы 65 Вт.

## Список использованных источников

1. "ASTM Compass, Standard Specification for Wrought Ti-6Al-4V Alloy for Surgical Implant Applications. (UNS R56400)" (PDF). ASTM Compass. "Ti6Al4V Titanium Alloy" (PDF). Arcam.
2. Сергеев В.В., Галицкий Н.В и др. Металлургия титана – М.: Metallurgy, 1971. - 320с
3. Виноградова М. Б., Руденко О. В., Сухоруков А. П.. Теория волн: учебное пособие для физических специальностей вузов. — 2-е издание, переработанное и дополненное. — Москва: Наука, 1990. - 432 с. — ISBN 5-02-014050-3.
4. Под ред. Галицкого Б.А. Титан и его сплавы в химическом машиностроении – М.: Машиностроение, 1968. - 340с.
5. Алешин Н. П., Лупачев В. Г. Ультразвуковая дефектоскопия: Справ, пособие. — Мн.: Выш. шк., 1987. - 271 с: ил.
6. Каневский И.Н., Сальникова Е.Н. Неразрушающие методы контроля: Учебное пособие. - Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2007. - 243 с.
7. Щербинский В.Г., Алешин Н.П. Ультразвуковой контроль сварных соединений. М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2000. -496 с.

8. И.П. Голямина. Ультразвук. – М.: Советская энциклопедия, 1979. -329с.
9. Справочник "Неразрушающий контроль и диагностика" В.В. Ключев, Ф.Р. Соснин, А.В. Ковалев и др. Москва, издательство "Машиностроение", 2003. - 189с.
10. Алешин Н.П., Лупачев В.Г. Ультразвуковая дефектоскопи: Справ. пособие. - Мн.: Выш. шк., 1987. - 271 с.
11. Хамидуллин В.К. Ультразвуковые контрольно-измерительные устройства и системы. Л.: Изд-во Ленинф. ун-та, 1989. -155с.
12. Акустическая диагностика и контроль на предприятиях топливно-энергетического комплекса / В. М. Баранов, А. И. Карасевич и др. М.: Наука, 1998. -304 с.
13. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий. Спра-вочник / Под ред. В. В. Ключева. М.: Машиностроение, 1986. -357 с.
14. Шипша В.Г., Молодкин А.Д., Величко А.С., Михеев В.И. Вихретоковый контроль сварных соединений, полученных сваркой трением с перемешиванием. – В мире НК. – Июнь 2011 г. – № 2 (52). – 62 с.
15. Бабат Г. И., Свенчанский А. Д. Электрические промышленные печи. — М.: Госэнергоиздат, 1948. - 332 с.
16. Материаловедение/Ю.М.Лахтин, В.П.Леонтьева.М.: Машиностроение,

1980. - 497 с.

17. Установки индукционного нагрева: учебник / под ред. А.Е. Слухоцкого - Ленинград: Энергоиздат, 1981. - 328 с.

18. Рабинер Л., Гоулд Б., Теория и применение цифровой обработки сигналов / Пер. с англ.; Под ред. Ю.И. Александрова. – М.: Мир, 1978. – 848 с.

19. Основы механизации и автоматизации технологических процессов в самолетостроении / А.И. Ярковец. М.: Машиностроение, 1981. - 191 с.

20. О. П. Солоница, С. Г. Глазунов. «Жаропрочные титановые сплавы». Москва «Металлургия» 1976. - 208 с.

21. Методы акустического контроля металлов / Н.П. Алешин, В.Е. Белый, А.Х. Вopilкин, И.Н. Ермолов, А.К. Гурвич. М.: Машиностроение, 1989. - 455 с.

22. Муравьев В.В., Зуев Л.Б., Комаров К.Л. «Скорость звука и структура сталей и сплавов», Новосибирск «Наука», 1996. - 270 с.

23. Неразрушающий контроль, т. 3, Ермолов И.Н., Ланге Ю.В. – Ультразвуковой контроль, М. «Машиностроение», 2004. - 142 с.

24. Выборнов Б.И. «Ультразвуковая дефектоскопия», изд. второе, перераб. и дополн., М «Металлургия», 1985. - 295 с.

25. Ермолов И.Н. «Теория и практика ультразвукового контроля», М. «Машиностроение», 1981. - 349 с.

26. Крауткремер Й., Крауткремер Г. – Ультразвуковой контроль материалов.

Справочник, М. Металлургия, 1991. -308с.

27. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. 2 – изд. – СПб.: Питер, 2006. – 608 с.

28. Феер К. Беспроводная цифровая связь. Методы модуляции и расширения спектра. Пер с англ. – М.: Радио и связь, 2000. – 253 с.

29. Прокис Дж., «Цифровая связь», - М: Радио и связь, 2000. -280с.

30. Рабинер Л.Р., Шафер Р.В., «Цифровая обработка РС», - М: Радио и связь, 1981. -295с.

31. Конспект лекций по курсу «Цифровая обработка РС», 2004. -302с.