

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 03.03.02 «Физика»
Отделение школы (НОЦ) Отделение экспериментальной физики

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Исследование влияния водорода на параметры распространения продольной ультразвуковой волны в циркониевом сплаве Э110

УДК 669.296.018:620.19:534.2

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
150Б41	Сунь Хунцзя		

Руководитель

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Запланированные результаты обучения по программе

Код результата	Результат обучения (выпускник способен)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Общекультурные компетенции</i>		
Р1	Использовать основные этапы и закономерности исторического развития общества, основы философских, экономических, правовых знаний для формирования мировоззренческой, гражданской позиций и использования в различных сферах жизнедеятельности	Требования ФГОСЗ+ (ОК-1, ОК-2, ОК-3, ОК-4)
Р2	К самоорганизации и самообразованию, работать в коллективе, к коммуникации в устной и письменной формах, в том числе на иностранном языке, толерантно воспринимать социальные, этические и культурные различия, использовать методы и средства физической культуры, приёмы первой помощи и методы защиты в условиях ЧС.	Требования ФГОСЗ+ (ОК-5, ОК-6, ОК-7, ОК-8, ОК-9)
<i>Общепрофессиональные компетенции</i>		
Р3	Использовать в профессиональной деятельности базовые естественнонаучные знания, современные концепции и ограничения естественных наук, использовать фундаментальные знания разделов общей и теоретической физики, математики для создания моделей и решения типовых профессиональных задач, в том числе с использованием знаний профессионального иностранного языка.	Требования ФГОСЗ+ (ОПК-1, ОПК-2, ОПК-3, ОПК-7)
Р4	Понимать сущность и значение информации, соблюдать основные требования информационной безопасности, использовать методы, способы, средства получения и хранения информации, решать стандартные задачи на основе информационной и библиографической культуры.	Требования ФГОСЗ+ (ОПК-4, ОПК-5, ОПК-6)
Р5	Получить организационно-управленческие навыки при работе в научных группах, критически переосмысливать накопленный опыт, изменять при необходимости профиль своей профессиональной деятельности, нести ответственность за последствия своей инженерной деятельности.	Требования ФГОСЗ+ (ОПК-8, ОПК-9)

<i>Профессиональные компетенции</i>		
Р6	<p><u>Научно-исследовательская деятельность</u></p> <p>Проводить научные теоретические и экспериментальные исследования в областях: материаловедения, атомной и ядерной физики, водородной энергетики, физики плазмы с помощью современной приборной базы с использованием специализированных знаний физики и освоенных профильных дисциплин.</p>	<p>Требования ФГОСЗ+</p> <p>(ПК-1, ПК-2)</p>
Р7	<p><u>Научно-инновационная деятельность</u></p> <p>Применять на практике профессиональные знания теории и методов физических исследований, а также профессиональные знания и умения в результате освоения профильных дисциплин для проведения физических исследований в инновационных областях науки, используя современные методы обработки, анализа и синтеза информации.</p>	<p>Требования ФГОСЗ+</p> <p>(ПК-3, ПК-4, ПК-5)</p>
Р8	<p><u>Организационно-управленческая</u></p> <p>Использовать на практике теоретические основы организации и планирования физических исследований, участвовать в подготовке и составлении научной документации по установленной форме, понимать и применять на практике методы управления в сфере природопользования</p>	<p>Требования ФГОСЗ+</p> <p>(ПК-6, ПК-7, ПК-8)</p>
Р9	<p><u>Педагогически-просветительская</u></p> <p>Проектировать, организовывать, анализировать педагогическую деятельность, владеть последовательностью изложения материала с использованием междисциплинарных связей физики с другими дисциплинами, участвовать в информационно-образовательных мероприятиях по пропаганде и распространению научных знаний</p>	<p>Требования ФГОСЗ+</p> <p>(ПК-9)</p>

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

Школа базовой инженерной подготовки
Направление подготовки 03.03.02 «Физика»
Отделение школы (НОЦ) 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
150Б41	Сунь Хунцзя

Тема работы:

Исследование влияния водорода на параметры распространения продольной ультразвуковой волны в циркониевом сплаве Э110	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	02.02.2018 г., 618/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</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 циркониевого сплава Э110 с размерами 5×10×0,7 мм. Состояние поверхности образцов было различным: исходное, шлифованное и окисленное.</p>
---	--

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</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"> – Обзор литературных источников; – Шлифование и полирование поверхности образцов с использованием шлифовальной бумаги и алмазных паст; – Наводороживание из газовой среды при $T = 400\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 600\text{ }^{\circ}\text{C}$, давлении $p = 2$ атмосфера. До концентраций $0,010 \sim 0,200$ мас.%; – Анализ полученных результатов; – Социальная ответственность; – Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение; – Заключение.
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Черепанова Наталья Владимировна</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Ларионова Екатерина Владимировна</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	
<p>Обзор литературы</p>	

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

Задание выдал руководитель:

<p>Должность</p>	<p>ФИО</p>	<p>Ученая степень, звание</p>	<p>Подпись</p>	<p>Дата</p>
<p>Зав.лаб.</p>	<p>Гаранин Г.В.</p>	<p>к.т.н.</p>		

Задание принял к исполнению студент:

<p>Группа</p>	<p>ФИО</p>	<p>Подпись</p>	<p>Дата</p>
<p>150Б41</p>	<p>Сунь Хунцзя</p>		

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

Студенту:

Группа	ФИО
150Б41	Сунь Хунцзя

Школа	ИЯТШ	Отделение	Экспериментальная физика
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	03.03.02 Физика

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Определение стоимости ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых информационных и человеческих
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Знакомство и отбор норм и нормативов расходования ресурсов
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Знакомство с системой налогообложения, со ставками налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Оценка коммерческого и инновационного потенциала НИИ
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Планирование процесса управления НИИ: структура и график проведения, бюджет.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Определение ресурсной, финансовой, экономической составляющей

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. Альтернативы проведения НИ
4. График проведения и бюджет НИ
5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
150Б41	Сунь Хунцзя		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
150Б41	Сунь Хунцзя

Школа	ИЯТШ	Отделение	Экспериментальная физика
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	03.03.02 Физика

Тема дипломной работы: Исследование влияния водорода на параметры распространения продольной ультразвуковой волны в циркониевом сплаве Э110.

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<i>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</i>	<i>Моделирование плавления наночастиц метода молекулярной динамики в программе LAMMPS</i>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Производственная безопасность</p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты; – (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства). <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); <p>электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты)</p>	<p>Анализ вредных факторов и опасные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Микроклимат • Производственный шум • Электромагнитные поля • Освещенность • Электробезопасность • Факторы пожарной и взрывной природы
<p>2. Экологическая безопасность:</p> <ul style="list-style-type: none"> – защита селитебной зоны 	<i>Приведение меры охраны окружающей среды от отходов бумаги</i>

<ul style="list-style-type: none"> – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); <p>разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</p>	
<p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p>	<ul style="list-style-type: none"> • перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; • выбор наиболее типичной ЧС; • разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; <p>разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</p>
<p>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; <p>организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</p>	<p>Приведение перечени ГОСТов, СНиПов и др.</p>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
150Б41	Сунь Хунцзя		

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	Шлифование и полирование поверхности образцов с использованием шлифовальной бумаги и алмазных паст	15
30.12.2017	Наводороживание из газовой среды при $T = 400\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 600\text{ }^{\circ}\text{C}$, давлении $p = 2$ атмосфера. До концентраций 0,010 ~ 0,200 мас. %	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.	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 содержит 74 страницы, 18 рисунков, 15 таблиц, 38 литературных источников, 0 приложений.

Ключевые слова: циркониевый сплав, наводороживание, ультразвуковые методы неразрушающего контроля.

Объектом исследований являлись квадратные и круглые плоские образцы циркониевого сплава Э110 с размерами 20×20×2 мм. Состояние поверхности образцов соответствует исходному материалу в состоянии поставки. Наводороживание производилось из газовой среды при заданных параметрах: 500 °С, $p_0 = 2$ атм. В работе был проведен ультразвуковой контроль исходных и наводороженных образцов, определены параметры распространения продольной волны. Из полученных результатов эксперимента определяется влияние водорода в циркониевом сплаве Э110 на скорость и коэффициент затухания продольной ультразвуковой волны.

Цель работы - изучение влияния содержания водорода в циркониевом сплаве Э110 на параметры распространения продольной волны.

Область применения: результаты работы могут быть использованы для разработки методики неразрушающего контроля содержания водорода и водородного охрупчивания в циркониевом сплаве Э110.

Определения

В данной работе используются такие понятия как:

Сплав Э110 – широко используется в реакторах на тепловых нейтронах в качестве одного из основных конструкционных материалов. В связи с тем, что циркониевые сплавы хорошо поглощают водород, стоит задача разработки неразрушающих методов контроля содержания водорода в изделиях из этих сплавов.

Гидрид – соединения водорода с металлами и с имеющими меньшую электроотрицательность, чем водород, неметаллами. Иногда к гидридам причисляют соединения всех элементов с водородом.

Водородное охрупчивание – процесс охрупчивания и разрушения некоторых металлов вследствие воздействия атомарного водорода. Наиболее подвержены водородному охрупчиванию высокопрочные стали, а также сплавы титана и никеля.

Ультразвуковой контроль – использование свойства ультразвуковых волн распространяющихся в среде, для определения свойств и характеристик среды распространения.

Неразрушающий контроль – также известен как оценка надежности, неразрушающими методами или путем тестирования без разрушения продукта. Определите дефекты, такие как коррозия, ржавчина, растрескивание.

Времяпролетный метод определения скорости звука (TOF – time of flight): использует отражение ультразвуковых волн от поверхностей образца. Путем измерения времени распространения отраженной волны, и зная толщину образца можно определить скорость ультразвука в образце.

Импульсный метод измерения коэффициента затухания: использует отражение ультразвуковых волн от поверхностей образца. Путем измерения амплитуд первого и последующих донных сигналов и зная толщину образца можно определить коэффициент затухания ультразвука в образце.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	13
1.1 Свойства и применение циркониевого сплава Э110.....	15
1.2 Влияние водорода на механические свойства Э110. Водородное охрупчивание.....	18
1.3 Ультразвуковые методы неразрушающего контроля.....	21
2. Подготовка образцов из сплава Э110 с различным содержанием водорода.....	30
2.1 Наводораживание по методу Сиверта.....	30
2.2 Методы измерения концентрации водорода в образцах из металлов и сплавов.....	31
3. Экспериментальная часть.....	33
3.1 Ультразвуковые измерения иммерсионным способом.....	33
3.1.1 Измерение скорости продольной волны в образцах методом TOF (Time Of Flight- времяпролетный метод).....	34
3.1.2 Измерение коэффициента затухания продольной волны импульсным методом (DECAY).....	36
Заключение.....	44
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	45
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	45
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....	45
4.1.2 Анализ конкурентных технических решений.....	45
4.1.3 Технология QuaD.....	47
4.1.4 SWOT-анализ.....	49
4.2 Планирование научно-исследовательских работ.....	51
4.2.1. Структура работ в рамках научного исследования.....	51
4.2.2. Определение трудоемкости выполнения работ.....	52
4.2.3.Разработка графика проведения научного исследования.....	53
4.2.4.Бюджет научно-технического исследования (НТИ).....	56
4.2.5.Дополнительная заработная плата.....	58
4.2.6.Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	59
5. Социальная ответственность.....	61
5.1 Техногенная безопасность.....	61
5.2 Анализ вредных и опасных факторов.....	62
5.2.1 Производственный шум.....	62
5.2.2 Освещение.....	63
5.2.3. Факторы пожарной и взрывоопасной природы.....	65
5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	66
5.4 Расчет воздухообмена в жилых и общественных помещениях.....	69
Список литературы.....	71

ВВЕДЕНИЕ

Неразрушающий контроль (НК) - это контроль основных рабочих характеристик и параметров объекта без прерывания рабочего процесса. К основным видам неразрушающего контроля относят: магнитный, акустический, капиллярный контроль, оптический, радиационный, радиоволновой, вихретоковый, тепловой и электрический [1]. Преимущества акустического контроля: экспрессность, возможность использования на различных материалах, не требуется доступа к обоим сторонам объекта контроля [2,3]. К недостаткам акустического контроля можно отнести необходимость хорошего контакта преобразователя с поверхностью, трудности при обнаружении дефектов, параллельных звуковому лучу, требуется специальный навык для правильной интерпретации данных индикации, оборудование требует регулярной настройки. В данной работе исследуется сплав циркония Э110. Цирконий обладает хорошей совместимостью с оксидным топливом, коррозионной стойкостью до определенных пределов в воде и водных растворах борной кислоты для использования в гидродинамических реакторах (ВВЭР) [4]. На ресурс работы изделий из циркониевых сплавов существенное влияние оказывает водород. Известно, что наводороживание сплавов на основе циркония зачастую приводит к деградации их физико-механических свойств, образованию дефектов внутри материала [4, 5]. В этой связи представляются актуальными работы, направленные на разработку и совершенствование методов контроля водородного охрупчивания циркониевых сплавов. Для методов контроля, которые используются в промышленности, одним из основных требований является сохранение целостности исследуемого объекта [2]. В этой связи применение неразрушающих методов контроля становится единственно возможным вариантом проведения контроля состояния металлических конструкций. Эти методы находятся в постоянном развитии, связанном, в том числе, с обновлением технической базы и применением современной компьютерной техники.

Цель работы:

изучение влияния водорода на параметры распространения продольной ультразвуковой волны в циркониевом сплаве Э110.

Задачи исследования:

Для достижения цели были решены следующие задачи:

1. Изучение свойств циркониевого сплава Э110 и его взаимодействие с водородом.

2. Измерены скорость и коэффициент затухания продольной ультразвуковой волны в исходных образцах из циркониевого сплава Э110.

3. Подготовлены образцы с различным содержанием водорода.

4. Измерены скорость и коэффициент затухания продольной ультразвуковой волны в наводороженных образцах из циркониевого сплава Э110.

Научная новизна: Было изучено влияние водорода на параметры распространения продольной ультразвуковой волны в циркониевом сплаве Э110, скорость и коэффициент затухания ультразвуковой волны определялись на частотах 5, 10 и 20 МГц.

1.1 Свойства и применение циркониевого сплава Э110

Сплавы на основе циркония являются конструкционным материалом важнейших элементов активных зон легководных энергетических реакторов как с теплоносителем — водой под давлением (ВВЭР, PWR), так и кипящих (РБМК, BWR). Исторически сложилось так, что базой российского реакторостроения стала система Zr—Nb (сплавы Э110, Э125), в то время как за рубежом получили распространение сплавы, основанные на легировании циркония оловом — циркалой (Zry-2 и Zry-4). Дело в том, что отечественная циркониевая промышленность начинала развиваться на хорошо очищенном от примесей йодидном цирконии, который сам по себе обладает высокой коррозионной стойкостью и поэтому не требует сложного легирования, а западная — базировалась на более загрязненном и поэтому менее коррозионно-стойком губчатом цирконии. В последнее время в России активно внедряется в промышленность "комбинированный" Zr—Nb—Sn—Fe сплав Э635. Символ "Э" указывает на использование смешанной электролитной и йодидной циркониевой шихты [14].

Из сплавов Э110 и Э635 выпускают, главным образом, оболочечные трубы и прутки для заглушек твэлов реакторов ВВЭР и РБМК, а также изделия, образующие каркас тепловыделяющих сборок: центральные трубы, направляющие каналы для поглощающих элементов, дистанцирующие решетки (ДР) [15]. Из сплава Э125 производят преимущественно трубы для технологических каналов реакторов типа РБМК, а также листы, прутки и трубы для различных узлов активных зон (чехлы ТВС ВВЭР, подвески и др.). В настоящее время в качестве материала ДР реакторов ВВЭР и РБМК рассматривают модификацию сплава Э110, дополнительно легированного кислородом (до 0,12—0,16 % (мас.)) — сплав Э110К. За рубежом для изготовления оболочек твэлов реакторов PWR и BWR используют, как правило, сплавы циркалой-4 и циркалой-2 соответственно. Основным материалом ДР и канальных труб BWR является сплав циркалой-4. Трубы

давления реакторов CANDU (Canadian Deuterium Uranium) с теплоносителем — тяжелой водой D₂O под давлением, выполняют из сплава Zr—2,5 % Nb [16].

Работоспособность конструктивных элементов активных зон легководных реакторов ограничивается коррозией сплавов, их радиационным ростом и ползучестью.

Циркониевые сплавы широко используются в современных тепловых нейтронных реакторах в качестве конструкционных материалов, в первую очередь из-за очень небольшой доли «паразитного» поглощения в ядре по сравнению с водными хладагентами и нержавеющей сталью [17]. Например, оценивается, что сечение стандартной энергии нейтронов улавливания излучения σ_c ядра циркония и стандартной энергии нейтронов легкого водорода и ядра железа является достаточным: $\sigma_c(\text{Zr}) = 0,185 \times 10^{-24} \text{ см}^2$, $\sigma_c(\text{H}) = 0,322 \times 10^{-24} \text{ см}^2$, $\sigma_c(\text{Fe}) = 2,550 \times 10^{-24} \text{ см}^2$. Кроме того, цирконий обладает достаточной технологичностью, хорошей совместимостью с оксидным топливом, коррозионной стойкостью до определенных пределов в воде и водных растворах борной кислоты, которая используется в водородных реакторах (ВВЭР) для компенсации чрезмерной реактивности. К недостаткам циркония относятся низкие прочностные свойства и термостойкость [18].

При разработке активной зоны внутреннего термореактора наиболее часто используемый рекристаллизованный сплав циркония и легирующая добавка: - сплав Н-1 (Э-110) содержится в% Nb-0,9 -1,1; Fe-0,015; Ni-0,003; Al равно 0,004; Ti = 0,003; C = 0,02; Si-0,004; O = 0,05; N равно 0,003; H составляет от 0,001 до 0,002. Распределение активной зоны поглощающего стержня и поглотителя горючего (СВП) системы распределения, контроля и защиты материала в конструктивном компоненте современного топливного компонента (ТВС) является основным компонентом, формирующим реактор ВВЭР- 1000 активной области.

Элементы активной зоны ядерного реактора и их материалы должны быть сконструированы таким образом, чтобы обеспечить надежную прочность в условиях эксплуатации (переменные термические напряжения, статические, динамические и вибрационные внешние нагрузки) в течение трех лет и более. Наиболее широко используемый сплав циркония, используемый при производстве топливных сборок. Например, детали DR сделаны из сплава E110 (Zr-1%Nb), что объясняется небольшим поперечным сечением, используемым для захвата нейтронов ниобием [19]. Кроме того, 1% ниобий стабилизирует коррозионную стойкость сплава, устраняя вредное воздействие небольших количеств примесей, эффективно уменьшая количество водорода, поглощаемого сплавом [20].

Поскольку образование водорода увеличивает риск образования взрывоопасной «взрывчатой смеси» с кислородом. Прочность реакции пренебрежимо мала в воде при температуре до 300 °С, и при температуре выше 1000 °С цирконий начинает взаимодействовать с паром. С точки зрения декомпрессии топливного элемента и термического взрыва реактора, взрывчатые свойства этого процесса паровой и циркониевой реакции и большое количество выделения тепла и водорода являются очень опасными. Таким образом, температуру сплава циркония 350 °С можно считать границей для обеспечения безопасных условий эксплуатации. Точность теплофизических расчетов в первую очередь зависит от надежности термодинамики и транспортных свойств материала. Долгое время можно использовать только характер рекристаллизованного циркония для расчета теплоты ядерных реакторов и устройств. Разработка базы данных Международного агентства по атомной энергии осуществлялась в сотрудничестве с Международным агентством по атомной энергии [21].

1.2 Влияние водорода на механические свойства Э110. Водородное охрупчивание

Водородная коррозия циркония и его сплавов происходит в воде и паре. Водород проникает в цирконий и этот процесс включает несколько стадий, как показано на рисунке 1.

- контакт молекулярного водорода до поверхности (1 на рис. 1);
- сорбция молекул водорода на поверхности (физическая и химическая адсорбции) и их диссоциация (2 на рисунке 1);
- диффузия в объем (3 на рисунке 1);
- формирование гидридов по достижении предела растворимости водорода в цирконии [6].

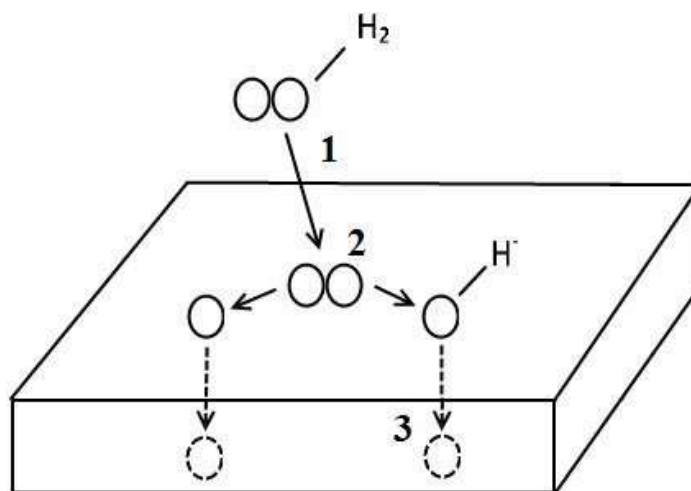


Рисунок 1 – Стадии проникновения водорода в цирконий

Молекулы газа могут адсорбироваться на поверхности путём физической и химической адсорбции. Физическая адсорбция основывается на взаимодействии Ван-дер-Ваальса между молекулярным водородом и атомами адсорбента. Для многих металлов энергия физической адсорбции близка к -5 кДж/моль Н (-0,05 эВ). Поскольку взаимодействие слабое, значительная физическая адсорбция имеет место только при низких температурах (< 273 К). Для многих металлов энергия химической адсорбции близка к -50 кДж/моль Н [7]. После диссоциации и преодоления энергетического барьера атомы водорода диффундируют в объем.

Водородное охрупчивание — процесс охрупчивания и разрушения некоторых металлов вследствие воздействия атомарного водорода. Наиболее подвержены водородному охрупчиванию высокопрочные стали, а также сплавы титана и никеля. Водород так же может попадать в расплавленный металл и оставаться в нём (в перенасыщенном состоянии) после затвердевания [8].

Диффузия водорода в твердый металл может происходить при повышенных температурах (тепловая обработка, сварка), при гальванизации, при коррозии и декапировании. Точный механизм водородного охрупчивания неизвестен, одними из объяснений может являться: рекомбинация атомарного водорода в молекулярный на дислокациях и нанопорах с сопровождающим этот процесс резким возрастанием давления и последующим зарождением трещин в металле; гидридообразование с выделением фазы с другой плотностью. Во многих случаях водородное охрупчивание — обратимый процесс, и если растрескивание ещё не началось, водород может быть удален из металла посредством отжига [9].

Водород, диффундирующий в кристаллической решетке металла, может взаимодействовать с различного рода дефектами, заключающимися в реальных твердых телах. Наводораживание металлов находится в тесной связи деформации ее решетки, поднятии дислокационной сети, зарождение точечных дефектов. Влияние водорода определяется деформацией, приводящей к уменьшению или увеличению объема коллекторов, и ввиду этого изменяющую способность к поглощению металлов. При этом микрополости и блистеры имеют наибольшее влияние на захват водорода. Водород, либо в твердом растворе или в виде гидрида металла возбуждает охрупчивание металлов и сплавов. Водородное охрупчивание циркониевых сплавов является важным вопросом в регулировании безопасности атомных станций, использующих легководные реакторы, поскольку это является главной причиной механической деградации оболочки ТВЭЛ [10]. К главным деградирующим явлениям с участием водорода, возникшим в ТВЭЛ при

эксплуатации, относятся: водородное охрупчивание (быстрое уменьшение пластичности при гидрировании), образование множественных гидридов (дефектов типа солнечная корона, блистеров) и замедленное гидридное растрескивание (постепенное ступенчатое подрастание трещин, обусловленное одновременным действием напряжения и водорода). В процессе эксплуатации циркониевой оболочки, увеличивается количество водорода в месте, где происходит соприкосновение покрытия и жидкой среды топлива. В агрессивных средах проникновение водорода приводит к осаждению гидридов в материале, что отражается на перемены механических свойств изделий из циркония, ползучести, радиационного роста, характеристик усталости и т.д. [11]. Так же может оказывать отражение на коррозионные процессы и быть причиной деформационных изменений в изделиях из циркония. Источниками водорода для гидрирования служат реакция оксидирования наружной поверхности оболочки при контакте с теплоносителем (водой — в случае реакторов типа ВВЭР, или водяным паром — в случае реакторов типа РБМК) или взаимодействие влаги из топлива с внутренней поверхностью оболочки. Кроме того, это может быть водород, формирующийся при радиолизе теплоносителя (воды). При таком положении формируются свободные радикалы под действием облучения. Гидридные выделения понижают способность материала к пластической деформации и уменьшают его трещиностойкость. Степень снижения пластичности гидрированного сплава вследствие концентрации водорода, температуры, размеров, морфологии гидридов и их ориентации по отношению к действующим напряжениям. При этом факторы температуры и ориентации чаще всего являются неизменными [12]. Наибольшее охрупчивание возбуждают пластинчатые выделения, ориентированные перпендикулярно к направлению действующих напряжений. Гидриды вызывают микротрещины на границе раздела. Обычно, разрушение сплава, подвергнутого гидрированию проходит в три этапа: 1. Образование трещин в хрупкой фазе –

гидридах; 2. Разрушение гидридов и выход трещин в матрицу; 3. Распространение трещин в матрице.

Поглощение водорода сплавами циркония и выделение в них гидридов приводит к изменению исходных механических характеристик. Как правило, это изменение сказывается в основном на потере пластичности и охрупчивании металла, вызванном выделением хрупких гидридов в пластичной матрице [13].

1.3 Ультразвуковые методы неразрушающего контроля

Ультразвук — звуковые волны, имеющие частоту выше воспринимаемых человеческим ухом, обычно, под ультразвуком понимают частоты выше 20 000 герц.

Одной из основных особенностей ультразвука является его ослабление. Затухание ультразвука является уменьшением амплитуды, и поэтому интенсивность распространения акустической волны уменьшается. Ультразвук ослабляется по целому ряду причин. Основные из них:

- Из-за формы источника и размера волны амплитуда волны уменьшается с расстоянием от источника;
- Рассеяние ультразвуковых волн, вызванное неравномерностью среды, благодаря чему поток энергии в исходном направлении распространения уменьшается;
- Ультразвуковое поглощение, акустическая энергия необратимо преобразуется в другие формы, особенно тепло.

Свойства ультразвука неотличимы от волн слышимого диапазона и следует тем же физическим законам. Ультразвук обладает определенными характеристиками, которые определяют его научно-техническое применение.

Основные моменты заключаются в следующем:

- Низкая длина волны. Для самого низкого диапазона ультразвука длина волны не превышает нескольких сантиметров в большинстве сред.
- Небольшой период колебаний, который позволяет испускать УЗ излучение в виде импульса.

- Возможность получения высоких значений интенсивности колебаний при малых амплитудах, поскольку энергия колебаний пропорциональна квадрату частоты. Это позволяет создавать ультразвуковые лучи и поля с высоким уровнем энергии без необходимости в мощном оборудовании.
- Ультразвуковые поля развивают значительный акустический поток, поэтому воздействие ультразвука на окружающую среду создает особые физические, химические, биологические и медицинские эффекты, такие как кавитация, капиллярные эффекты, дисперсия, эмульгирование, дезактивация, дезинфекция, местное нагревание и многие другие.

Поперечная волна — волна, распространяющаяся в направлении, перпендикулярном к плоскости, в которой происходят колебания частиц среды. И для продольной волны, распространение волны вдоль смещения частиц среды.

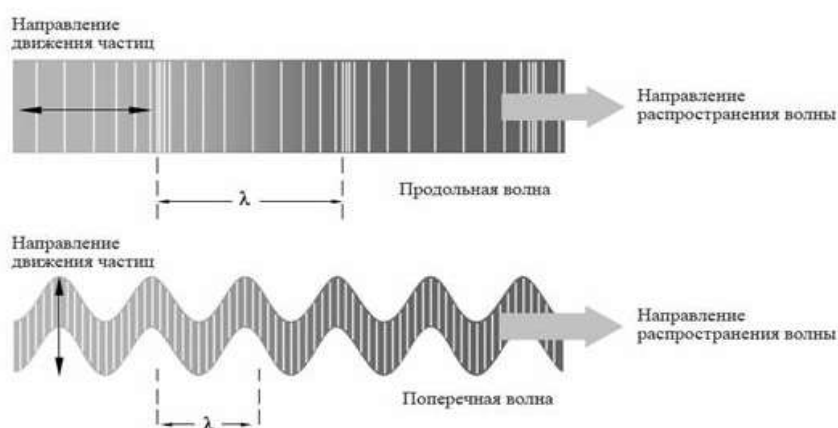


Рисунок 2 – Поперечная и продольная волна

Неразрушающие методы контроля

Неразрушающий контроль (NDT) - это контроль над надежностью основных рабочих характеристик и параметров объекта или его различных компонентов / узлов и не требующий разрушения объектов контроля [22].

Есть также понятие разрушающего контроля, например, краш-тест автомобиля.

Основными методами неразрушающего контроля являются:

- Магнитный—на основе анализа взаимодействия магнитного поля с

контролируемым объектом;

- Электрический—основывается на параметрах электрического поля, которые фиксируют взаимодействие с контролируемым объектом или параметры, генерируемые в объекте управления из-за внешнего воздействия[23];
- Вихретоковый—взаимодействие между электромагнитным полем на основе вихретокового датчика и электромагнитного поля вихревых токов в объекте управления;
- Радиоволновой—взаимодействие с контролируемыми объектами на основе регистрации изменений параметров электромагнитных волн в радиодиапазоне [24];
- Тепловой—на основании изменения температурного или температурного поля контролируемого объекта, вызванного дефектом;
- Оптический—регистрация параметров оптического излучения на основе взаимодействия с контролируемыми объектами;
- Радиационный—регистрация и анализ проникающей ионизирующей радиации на основе взаимодействия с контролируемыми субъектами. Термин "Излучение" может быть заменен словами, которые представляют конкретные типы ионизирующего излучения, такие как рентгеновские лучи, нейтроны [25].

Неразрушающий контроль также известен как оценка надежности, неразрушающими методами или путем тестирования без разрушения продукта. НК является особенно важным в создании и эксплуатации важных продуктов, компонентов и конструкций [26].

Цель использования неразрушающего контроля в промышленности - надежное обнаружение опасных дефектов. Поэтому выбор конкретных методов НК зависит от эффективности выявления таких дефектов. На практике ультразвуковые испытания стали наиболее распространенными, поскольку они обладают высокой чувствительностью, мобильностью и экологичностью, хорошей способностью для обнаружения опасных дефектов и объективным

определением результатов контроля [27].

Ультразвуковой контроль

Звуковые волны не изменяют траектории в однородных материалах. Отражение звуковых волн обусловлено разделением среды с различным удельным импедансом. Чем больше акустический импеданс, тем большая часть акустических волн отражается от поверхности.

Разрешение акустических измерений, то есть способность обнаруживать небольшие дефекты, отличающиеся друг от друга, определяется длиной звуковых волн, а длина звуковых волн зависит от частоты введенных акустических колебаний. Чем выше частота, тем меньше длина волны. Эффект связан с тем, что, когда препятствие меньше четверти длины волны, почти нет отражения колебаний, и дифракция доминирует. Таким образом, в целом частота ультразвука, применяемого в неразрушающем контроле, имеет тенденцию к увеличению [29]. С другой стороны, по мере увеличения частоты колебаний, ее затухание быстро возрастает, тем самым уменьшая возможную область контроля. Фактический компромисс составляет от 0,5 до 10 МГц [30].

Есть несколько способов возбудить ультразвук в объекте исследования. Наиболее распространенным является использование пьезоэлектрических эффектов. В этом случае ультразвуковая волна передается через преобразователь, который преобразует электрические колебания в акустические волны за счет обратного пьезоэлектрического эффекта [31]. Через контролируемую среду сигнал пьезоэлектрической пластины, попавшей в преобразователь, снова электрически из-за прямого пьезоэлектрического эффекта, который регистрируется измерительной схемой. Согласно конструкции и соединению, пьезоэлектрический преобразователь может играть не только роль ультразвукового генератора, но может играть и роль приемника, или одновременно выполнять обе функции [32].

Используются также методы электромагнитной акустики (ЭМА), основанные на применении сильных магнитных полей металлов. Эффективность этого метода намного ниже, чем пьезоэлектрический КПД, но

датчики этого типа могут работать через воздушный зазор и не предъявляют особых требований к качеству поверхности [33].

Неразрушающий контроль существующих акустических методов подразделяется на активные и пассивные две группы.

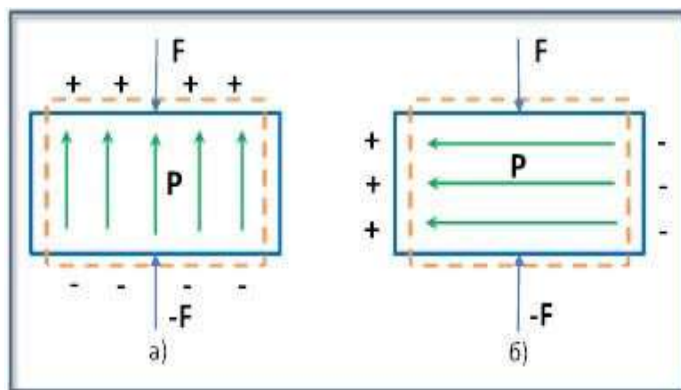


Рисунок 3 – Пьезоэлектрический эффект

Основные принципы ультразвукового тестирования:

Существует много типов ультразвуковых дефектоскопов, но фактически в процессе контроля наиболее часто применяется ультразвуковой дефектоскоп с импульсным отражением для контроля однородных материалов. Наличие дефектов приведет к тому, что материал не будет монолитным, и дефект будет выявлен ультразвуком, чей импеданс будет отличаться от основного материала объекта контроля. Известно, что ультразвук на границе двух материалов с различным акустическим импедансом будет отражаться обратно. На регистрации этих отражений основан принцип работы импульсного ультразвукового дефектоскопа [34].

В настоящее время большая часть портативных импульсных ультразвуковых дефектоскопов в качестве результата контроля реализуют режим сканирования А, так называемый А-скан, на котором абсцисса дисплея представляет собой ультразвуковую волну (или эхо-сигнал) в тестируемом материале в течение времени распространения или расстояния распространения, по оси ординат амплитуда отраженного ультразвукового сигнала. Глубина и форма отраженных волн отличаются из-за различных дефектов, отличающихся размером и ориентацией [35].



Рисунок 4 – Ультразвуковой дефектоскоп

Преимущества ультразвукового контроля:

- Применяется для металлических, неметаллических и композиционных материалов;
- Проникающая способность может быть в больших пределах толщины образца. Например, для металлических материалов, можно контролировать толщину 1 ~ 2 мм для тонкостенных труб и пластин, и можно контролировать толщину до нескольких метров для стальных отливок;
- Точность обнаружения дефектов;
- Высокая чувствительность, может обнаружить очень маленькие дефекты;
- Дешевое, быстродействующее, и компактное оборудование, безвредное для здоровья и окружающей среды.

Ограничения ультразвукового контроля:

- Дефекты образца для точного качественного количественного анализа все еще нуждаются в углубленном изучении;
- Трудности при ультразвуковом исследовании образцов сложной формы или неправильной формы;
- Положение, ориентация и форма дефекта оказывают некоторое влияние на результат контроля.
- Свойства контролируемого материала, размер зерна и т. д. оказывают большее влияние на результат контроля;

- Результаты широко используемого ручного метода отражения импульсов А-типа не интуитивны, и результаты испытаний прямо не засвидетельствованы [36].

Оборудование ультразвукового неразрушающего контроля

Для анализа свойств материалов могут использоваться различные ультразвуковые приборы. Скорость ультразвука можно измерять простыми ручными ультразвуковыми толщиномерами. Изменения скорости ультразвука, степень его ослабления или рассеяния могут быть измерены современными цифровыми дефектоскопами. Генераторы импульсов/приемники с соответствующим дополнительным оборудованием, а также системы формирования акустических изображений с соответствующим программным обеспечением могут быть использованы для определения всех этих свойств и проведения спектрального анализа (частотной составляющей) УЗ сигналов.

Применение ультразвукового неразрушающего контроля:

Ниже приводится обзор некоторых свойств материала, используемых для анализа и записи аналитических результатов, которые могут быть определены ультразвуком.

- Модуль упругости: модуль Юнга и модуль сдвига однородного недиспергируемого материала могут быть рассчитаны на основе измерения продольной и поперечной скорости ультразвука (и плотности материала). Использование волноводов обычно обеспечивает контроль объекта измерения при высоких температурах.
- Содержание шаровидного графита в чугуне: Как концентрация включений графита в чугуне, так и их форма могут быть определены на основании измерений скорости ультразвука.
- Скорость в эпоксидной смоле и бетоне: скорость ультразвука в этих материалах зависит от отверждения; Поэтому измерения скорости ультразвука могут быть связаны со степенью отверждения. Конкретный

контроль обычно требует доступа к обеим сторонам контролируемого объекта для работы в звуковом режиме.

- Концентрация жидкости: Соотношение смешивания двух жидкостей с различными скоростями ультразвука может быть связано со скоростью ультразвука в растворе при данной температуре.
- Плотность суспензии: коэффициент смешения жидкости/твердого вещества (например, бурового раствора и пульпы) при заданной температуре может быть связан с скоростью ультразвука и/или степенью его ослабления.
- Плотность керамики. Неравномерность непрокаленных и прокаленных керамических плотностей можно контролировать, измеряя скорость ультразвука.
- Продовольствие. Существует множество методов контроля, включая возраст яйца и картофеля, созревание плодов, содержание жира в мясе и процентное содержание твердых веществ в молоке. В общем, все эти средства контроля являются неразрушающими и экологически чистыми.
- Полимеризация полимеров. В пластмассах и других полимерах изменения в молекулярной структуре, такие как длина и ориентация полимерных цепей, часто приводят к соответствующему изменению скорости распада и затухания ультразвука.
- Размер и распределение частиц и пористости: изменения размера частиц или их распределения в твердых или жидких средах, а пористость влияет на амплитуду и частоту рассеянного ультразвука.
- Размер зерна в металлах: изменения размера зерна или ориентации металлов, таких как сталь, чугун и титан, вызывают изменения в амплитуде, направлении и / или частоте компонентов ультразвука.
- Анизотропия в твердых телах. Анизотропия может быть установлена и измерена с помощью изменения скорости ультразвука, рассеяния и / или затухания УЗ сигнала.

- Глубина упрочнения поверхности стали: Обратное рассеяние для высокочастотных поперечных ультразвуковых волн можно использовать для измерения глубины упрочнения поверхности стали.
- Измерение температуры. Измерение ультразвуковой температуры используется для измерения очень высоких температур (выше 3000 °С) путем контроля изменений скорости ультразвука в тестируемом объекте.

2. Подготовка образцов из сплава Э110 с различным содержанием водорода

2.1 Наводороживание по методу Сивертса

Насыщение образцов водородом методом Сивертса (из газовой атмосферы при повышенных температуре и давлении) осуществлялось на установке PCI «GasReactionController», схема установки представлена. Согласно этому методу, образец помещается в рабочую камеру 5 или 8 и устанавливается в печь 7, после чего происходит вакуумная откачка камеры насосом 9 до $\sim 10^{-3}$ торр. При достижении указанного вакуума, вакуумная откачка останавливается, и рабочий объем заполняется чистым водородом, с последующим нагревом рабочей камеры, что приводящий к увеличению давления водорода. При нормальных условиях насыщение водородом в такой установке практически не происходит. Повышение температуры вплоть до точки плавления при атмосферном давлении сравнительно мало повышает растворимость водорода, а вот при одновременном повышении обоих этих факторов концентрация водорода, внедренного в металл из газовой фазы, может стать весьма высокой.

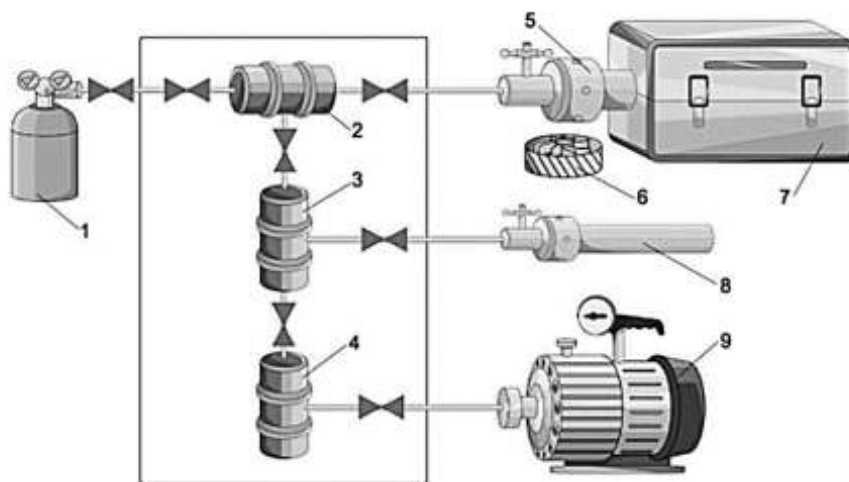


Рисунок 5 – Схема автоматизированного комплекса «GasReactionController»

1 – баллон с водородом; 2, 3, 4 – каналы подачи/откачки водорода; 5 – большая камера (175 см³); 6 – вентилятор; 7 – печь; 8 – малая камера; 9 – вакуумный насос

Комплекс «GasReactionController» позволяет определять массовое содержание водорода в рабочей камере во время насыщения с помощью

датчиков давления, т.е. получать данные по сорбции-десорбции газов.

Эксперименты по адсорбции и десорбции водорода осуществляются в следующем порядке: взвешивается образец из циркониевого сплава Э110, масса и плотность регистрируются в программном обеспечении комплекса, образец помещается в камеру. Далее камера соединяется с вакуумной системой и откачивается. Выполняется линейное нагревание до температуры 450 °С. Затем в камеру вводится водород давлением до 2 атм. Начальное давление водорода в камере определяет конечную концентрацию водорода в образце. По завершении процесса сорбции, водород откачивается из камеры и затем камера охлаждается до комнатной температуры.

2.2 Методы измерения концентрации водорода в образцах из металлов и сплавов

Анализатор LECO RHEN 602 использовали для расплавления в автономной электродной печи в атмосфере инертного газа для определения абсолютного содержания водорода в образце.

Образцы, используемые для анализа, механически вырезали из центра образца и взвешивали, а масса образца не превышала 0,15 г. В качестве газа-носителя использовался аргон со специальной чистотой ТУ 2114-002-05758954-2007. Аргон из цилиндра подается в установленную систему фильтрации. Затем газ-носитель пропускают через нагретый медный фильтр и реагенты: гидроксид натрия и перхлорат магния, удаляя кислород, углекислый газ и влагу, соответственно. Затем газ-носитель течет в печь через опорную часть теплопроводящей батареи и непрерывно протекает через графитовый тигель.

После того, как графитовый тигель дегазировали путем импульсного нагрева, образец помещали в него с помощью загрузочного устройства. Тигель и образец повторно нагреваются, что приводит к выбросу адсорбированного газа в поток транспортного газа. Поток газа не только через систему, но и через молекулярный фильтр, так что только молекулы водорода, высвобождаемые в газ-носитель, поступают в измерительную секцию блока термоэлектрической

проводимости. Содержание водорода в образце определяется изменением теплопроводности газа-носителя в ячейке теплопроводности. Анализатор откалиброван в соответствии со стандартным образцом.

Испытательный анализатор полностью соответствует титановому и титановому сплавам ГОСТ 24956-81 «Определение водорода».

Интегральное содержание водорода (в ppm) в образцах контролировали массовым методом по соотношению:

$$n = \frac{m_{\text{обр}+H_2} - m_{\text{обр}}}{m_{\text{обр}}}$$

где $m_{\text{обр}}$ - масса исходного образца, $m_{\text{обр}+H_2}$ - масса наводороженного образца.

Используемые весы имеют погрешность измерения массы $\pm 0,1$ мг.

Таблица 1 – Подготовка наводороженных образцов

Образец	C _{H2} , ppm
R3+H	190
S3+H	260
R4+H	450
S4+H	470
R5+H	1170
S5+H	1040
R8+H	2400
S8+H	1900

3. Экспериментальная часть

3.1 Ультразвуковые измерения иммерсионным способом

Иммерсионный способ является способ, при котором зонд не имеет прямого контакт с поверхностью объекта контроля. Вода используется как проводник ультразвукового излучения.

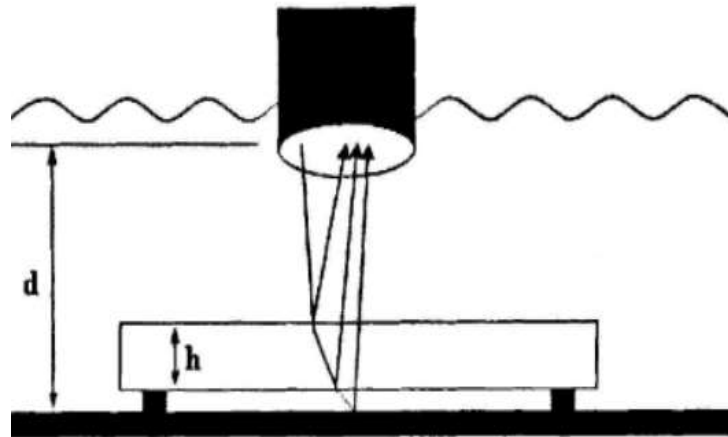


Рисунок 6 – Иммерсионный способ

Схема системы ультразвукового анализа твердого тела. Это схема можно получить данные опыта параметров распространения продольной ультразвуковой волны.



Рисунок 7 – Схема системы ультразвукового анализа твердого тела

3.1.1 Измерение скорости продольной волны в образцах методом TOF (Time Of Flight- времяпролетный метод)

Метод TOF использует отражение ультразвуковых волн от границ раздела для определения скорости звука, или размеров и положения дефектов в объекте контроля. Ультразвуковая волна распространяется по объекту контроля, когда встречается дефект, он вызывает отраженную волну и дифрагированную волны. Датчик одновременно принимает отраженные волны и дифрагированные волны. Путем измерения времени распространения отраженной или дифрагированной волны, можно определить размер и расположение дефекта, определить размер объекта контроля при известной скорости ультразвуковой волны, или определить скорость ультразвуковой волны при известных размерах объекта контроля.

В системе ультразвукового анализа твердого тела используются датчики с возбуждением продольной волны, потому что акустический контакт с объектом контроля обеспечивается с помощью иммерсионной жидкости – воды.

Обработка экспериментальных данных с определением времени пробега и коэффициента затухания ультразвука в образцах, проводилась в пакете программ MATLAB.

Определение скорости распространения продольной волны.

Скорость распространения волны V :

- время движения упругих импульсов от передатчика к продольной волне приемника;
- время прохождения импульса сдвига от передатчика к приемнику;
- время задержки импульса в устройстве и преобразователе, с.

Метод определения TOF использует отражение ультразвуковых волн от поверхностей образца. Датчик одновременно принимает волны, отраженные от верхней поверхности образца и эхо сигналы от нижней поверхности образца. Путем измерения времени распространения отраженной

волны, и зная толщину образца можно определить скорость ультразвука в образце.

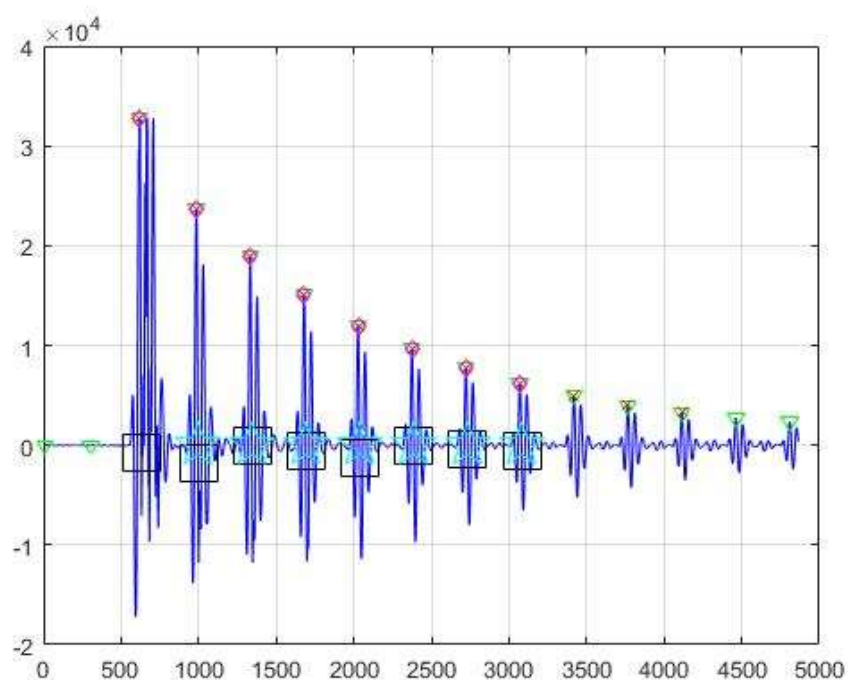


Рисунок 8 – Обработка сигнала методом TOF

Это график отображение обработки сигнала методом TOF. Оси ордината является амплитуда, оси абсцисса является время. Для данного сигнала параметр TOF определяется как среднее расстояние между 2, 3, 4 и 5 и последующими максимумами по оси X – с целью повышения точности определения времени пробега максимум сигнала отраженного от поверхности не учитывается.

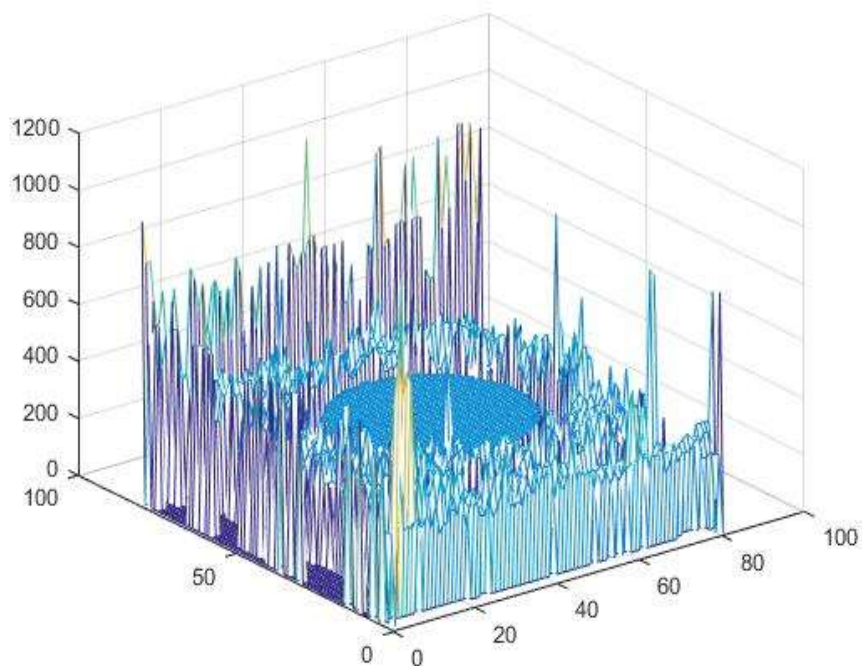


Рисунок 9 – Распределение значения скорости ультразвука по образцу циркония

График на рисунке 9 отображает распределение значения параметра TOF (или скорости ультразвука) по образцу циркония, на оси Z откладывается значение времени пролета в относительных единицах (одна единица соответствует 2,5 нс), по осям X и Y отложены координаты сетки контроля. По графическим и численным данным видно, что время пролета незначительно меняется для разных точек измерения.

3.1.2 Измерение коэффициента затухания продольной волны импульсным методом (DECAУ)

Импульсный метод (измерение коэффициента затухания - Decau): использует отражение ультразвуковых волн от поверхностей образца. Путем измерения коэффициент затухания распространения отраженной волны, и зная толщину образца можно определить скорость затухания амплитуд эхо-сигналов.

Коэффициент затухания — это ослабление ультразвукового сигнала на единицу длины пути этого сигнала (дБ/см, Нп/мм). Коэффициент затухания увеличивается с увеличением частоты. Ультразвуковое затухание в материале зависит от коэффициента затухания и расстояния, пройденного

ультразвуковым сигналом. При введении УЗ сигнала в образец материала на экране дефектоскопа можно наблюдать серию затухающих эхо-сигналов. Первое эхо от нижней части образца, отразите с нижней поверхности образца и дважды пропустите толщину образца ($2r$, где r - толщина образца). Второй эхо-сигнал - результат последовательного отражения части энергии импульса от границ материал-преобразователь и материал-воздух (путь - $4r$), путь третьего - $6r$ и т.д. Затухание амплитуды эхо-сигнала будет в основном зависеть от коэффициента затухания и толщины образца. Разность между соотношениями амплитуд двух соседних сигналов является мерой коэффициента затухания ультразвукового сигнала $dB = 20\lg\left(\frac{A_1}{A_2}\right)$.

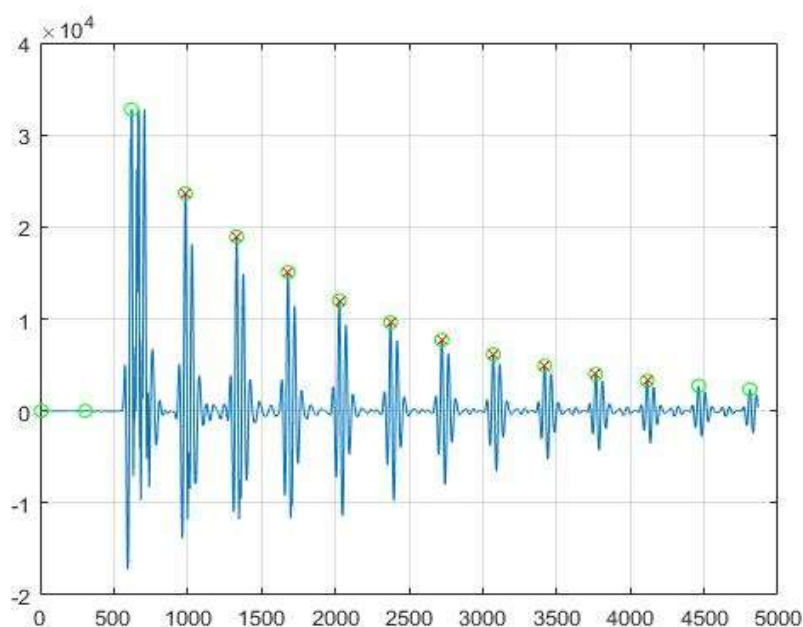


Рисунок 10 – График УЗ сигнала в одной точке

Это график - УЗ сигнала в одной точке. Оси ордината является амплитуда, оси абсцисса является время. На этом изображении показан спад амплитуды эхо-импульсов ультразвуковой волны. Первый импульс это отраженный сигнал от верхней поверхности объекта контроля. Вторые и последующие импульсы - это отражения от нижней поверхности объекта контроля (донные сигналы).

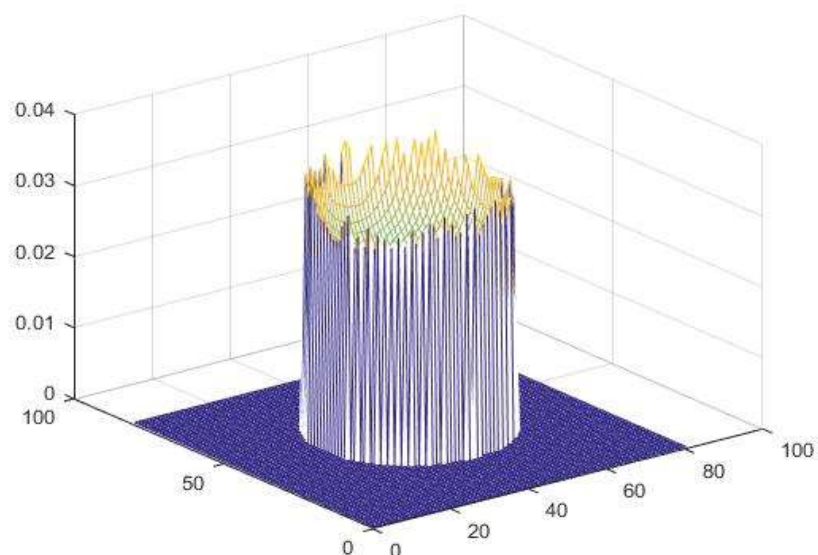


Рисунок 11 – Распределение значения коэффициента затухания по образцу циркония

Это график - Распределение значения коэффициента затухания по образцу. На этом рисунке видно, коэффициент затухания сильно меняется для разных точек измерения, что особенно видно для краев образца.

Таблица 2 – Параметры образцов, 5 МГц

	C_H2	TOF	Decay		C_H2	TOF	Decay	dTOF	ddecay	dV, %
R3	0	345,99	0,0205	R3+H	190	345,68	0,0222	-0,31	0,0017	-0,0071
S3	0	347,36	0,0204	S3+H	260	347,13	0,022	-0,23	0,0016	-0,0054
R4	0	346,87	0,0206	R4+H	450	346,44	0,0229	-0,43	0,0023	-0,0097
S4	0	346,54	0,0209	S4+H	470	345,83	0,0227	-0,71	0,0018	-0,0158
R5	0	347,29	0,0209	R5+H	1170	346,41	0,0212	-0,88	0,0003	-0,0195
S5	0	347,29	0,0216	S5+H	1040	346,32	0,0218	-0,97	0,0002	-0,0214
R8	0	346,61	0,0192	R8+H	2400	344,39	0,0212	-2,22	0,002	-0,0484
S8	0	346,81	0,0206	S8+H	1900	344,68	0,0186	-2,13	-0,002	-0,0465

Таблица 3 – Параметры образцов, 10 МГц

	C_H2	TOF	Decay		C_H2	TOF	Decay	dTOF	ddecay	dV, %
R3	0	346,82	0,021	R3+H	190	346,29	0,0227	-0,53	0,0017	-0,0119
S3	0	347,82	0,0203	S3+H	260	347,62	0,0226	-0,2	0,0023	-0,0047
R4	0	347,44	0,02	R4+H	450	347,18	0,0225	-0,26	0,0025	-0,0060
S4	0	347,41	0,02	S4+H	470	346,49	0,0233	-0,92	0,0033	-0,0203
R5	0	347,63	0,0209	R5+H	1170	347,42	0,0215	-0,21	0,0006	-0,005
S5	0	347,5	0,0194	S5+H	1040	347,25	0,0225	-0,25	0,0031	-0,0058
R8	0	347,06	0,0196	R8+H	2400	345,27	0,0218	-1,79	0,0022	-0,0391
S8	0	347,27	0,0207	S8+H	1900	345,81	0,0211	-1,46	0,0004	-0,03205

Таблица 4 – Параметры образцов, 20 МГц

	C_H2	TOF	Decay		C_H2	TOF	Decay	dTOF	ddecay	dV, %
R3	0	346,05	0,029	R3+H	190	346,139	0,0329	0,089	0,0039	0,001299
S3	0	347,07	0,0292	S3+H	260	347,55	0,0324	0,48	0,0032	0,009758
R4	0	347,27	0,0246	R4+H	450	346,3	0,0338	-0,97	0,0092	-0,02153
S4	0	345,86	0,0296	S4+H	470	345,69	0,0329	-0,17	0,0033	-0,00432
R5	0	346,54	0,0302	R5+H	1170	346,4	0,0306	-0,14	0,0004	-0,00368
S5	0	347,2	0,028	S5+H	1040	345,62	0,0284	-1,58	0,0004	-0,03481
R8	0	346,58	0,029	R8+H	2400	344,29	0,0297	-2,29	0,0007	-0,05019
S8	0	346,61	0,0287	S8+H	1900	344,3	0,0288	-2,31	0,0001	-0,05062

В таблицах 2 - 4 приведены значения параметров распространения ультразвуковой продольной волны в исходных образцах из циркониевого сплава Э110, и в наводороженных образцах с различной концентрацией водорода, измеренные для частот 5, 10 и 20 МГц. Значения рассчитывались как усредненные по площади образца, представлены параметры продольной ультразвуковой волны: время пробега в относительных единицах (TOF), коэффициент затухания (Decay). Далее были определены для каждого образца разница значений, до и после наводороживания, времени пробега (dTOF) и коэффициента затухания (dDecay). Так же в таблицах представлено рассчитанное в процентах изменение скорости продольной волны в образцах после наводороживания.

В графическом виде данные представлены на рисунках 12 – 17.

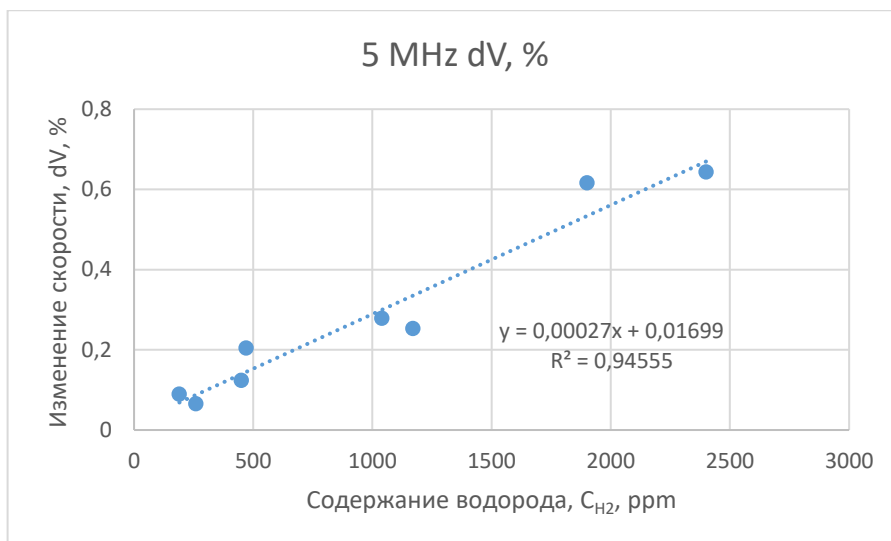


Рисунок 12 – Изменение скорости в зависимости от концентрации H₂, 5МГц

На этом графике представлено изменение скорости в зависимости от концентрации водорода, для частоты ультразвука 5МГц. Оси ордината является изменение скорости, оси абсцисса является концентрация водорода. На этом рисунке видно, с увеличением концентрации, скорость увеличивается по сравнению с исходными образцами.

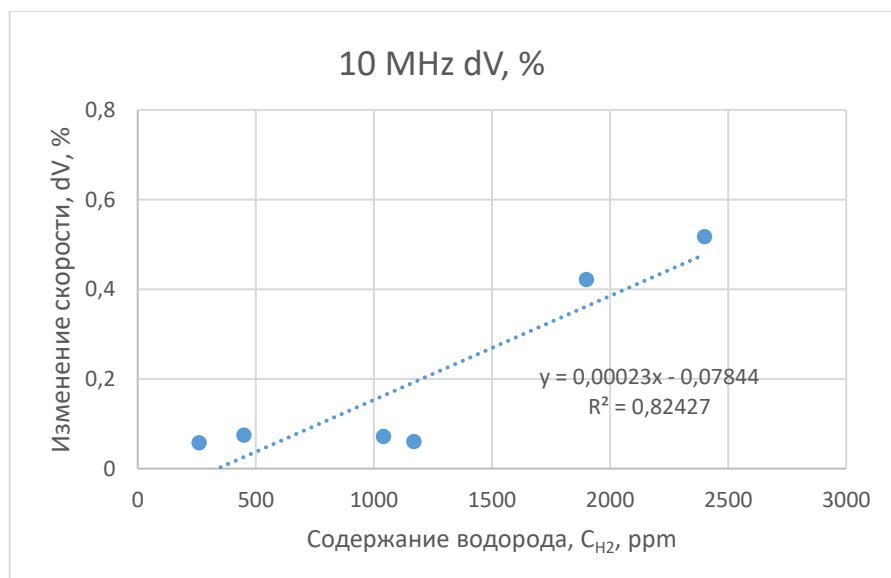


Рисунок 13 – Изменение скорости в зависимости от концентрации H₂, 10МГц

На этом графике представлено изменение скорости в зависимости от концентрации водорода, для частоты ультразвука 10МГц.

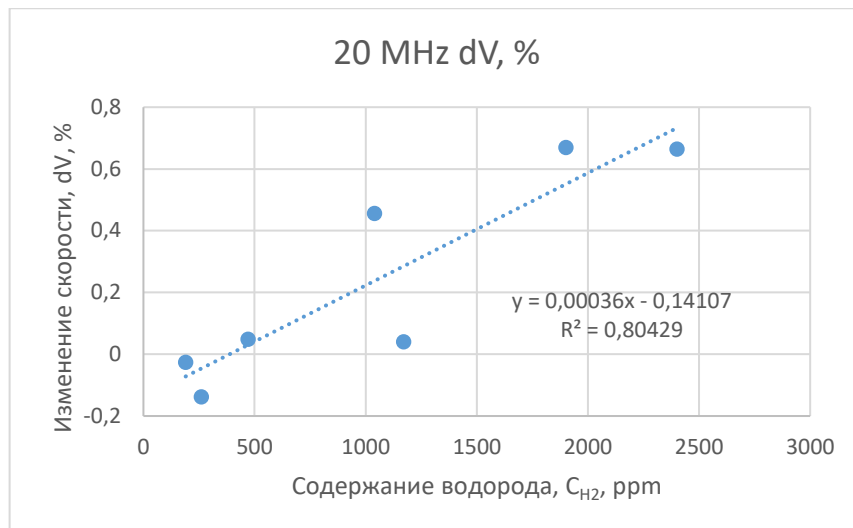


Рисунок 14 – Изменение скорости в зависимости от концентрации H_2 , 20МГц

На этом графике представлено изменение скорости в зависимости от концентрации водорода, для частоты ультразвука 20МГц. Для всех частот наблюдается увеличение скорости ультразвука при увеличении содержания водорода. При этом экспериментальные результаты хорошо описываются линейной зависимостью. Наибольшая чувствительность изменения скорости к содержанию водорода наблюдается для ультразвука с частотой 5 МГц, наименьшая – для ультразвука с частотой 10 МГц.

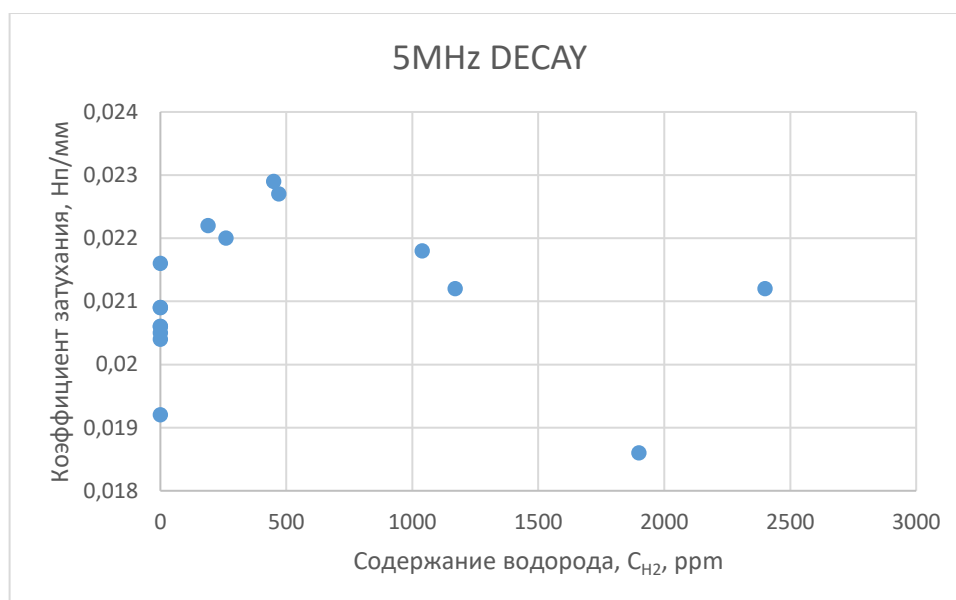


Рисунок 15 – Коэффициент затухания в зависимости от концентрации H_2 , 5МГц

На этом графике представлено изменение коэффициент затухания в зависимости от концентрации водорода, для частоты ультразвука 5МГц. Оси ординат является коэффициент затухания, оси абсцисса является концентрация водорода.

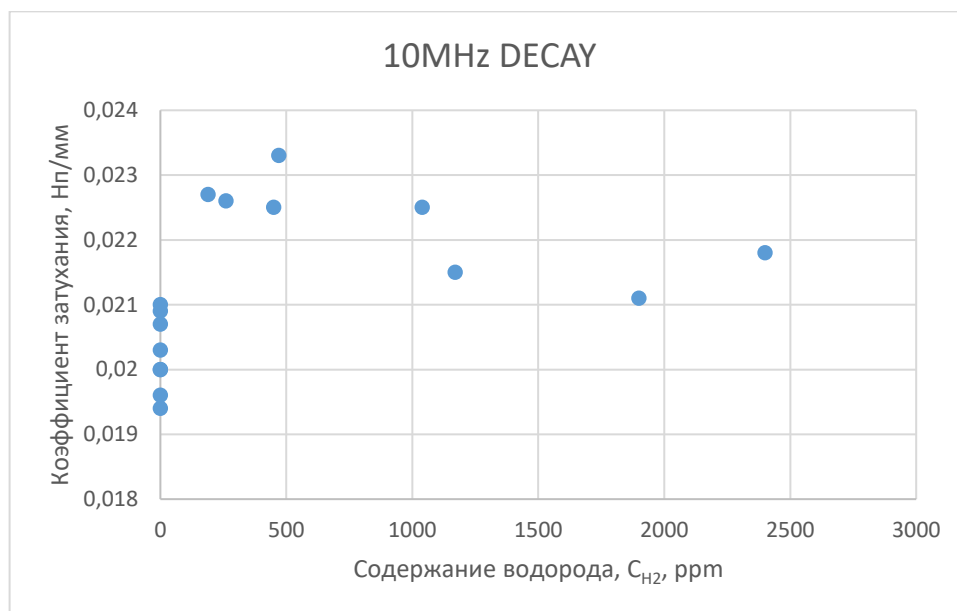


Рисунок 16 – Коэффициент затухания в зависимости от концентрации H_2 , 10МГц

На этом графике представлено изменение коэффициента затухания в зависимости от концентрации водорода, для частоты ультразвука 10МГц.

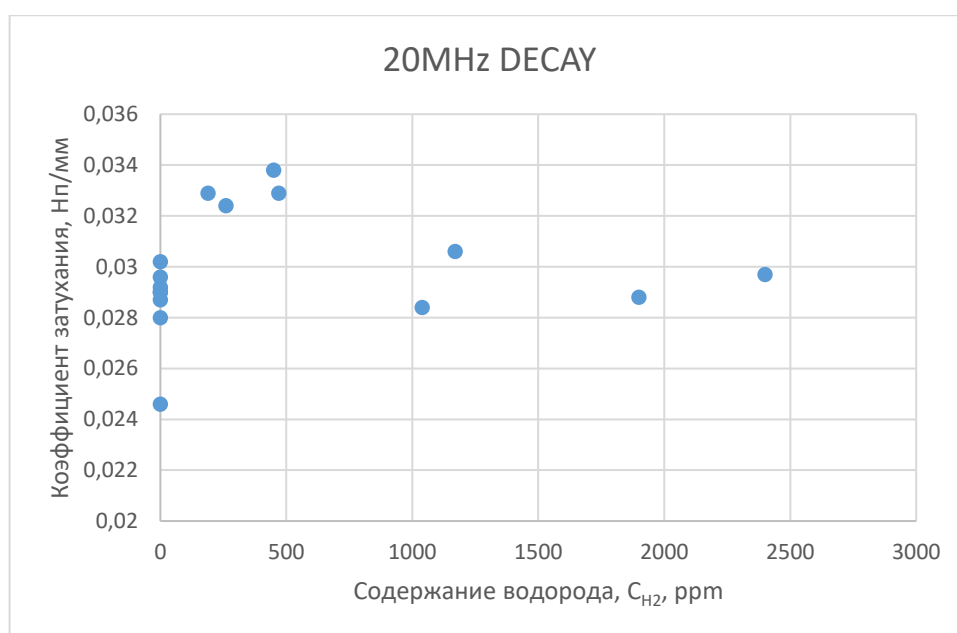


Рисунок 17 – Коэффициент затухания декау в зависимости от концентрации H_2 , 20МГц

На этом графике представлено изменение коэффициента затухания в зависимости от концентрации водорода, для частоты ультразвука 20 МГц.

Значения коэффициента затухания близки для частот ультразвука 5 МГц и 10 МГц. Для частоты 20 МГц наблюдается более высокое значение коэффициента затухания.

Видно, что с увеличением концентрации водорода до значения около 500 ppm, коэффициент затухания увеличивается, по сравнению с исходными образцами, для всех трех частот исследования. Начиная с концентрации водорода в образцах от 500 ppm и до концентрации 1000 ppm, коэффициент затухания уменьшается до величин, близких к исходным образцам. Далее, при концентрациях водорода более 1000 ppm коэффициент затухания практически не изменяется для всех частот. Сложная зависимость коэффициента затухания от содержания водорода отражает изменение состояния образцов из циркониевого сплава Э110 в процессе наводороживания.

Заключение

В работе представлено исследование влияния водорода на параметры распространения продольной ультразвуковой волны в циркониевом сплаве Э110.

1. Были определены параметры распространения продольных ультразвуковых волн для исходных образцов из сплава Э110.

Для 5 МГц средняя скорость продольной волны = 4613,0 м/с.
среднее значение коэффициента затухания = 0,021 Нп/мм

Для 10 МГц средняя скорость продольной волны = 4606,1 м/с.
среднее значение коэффициента затухания = 0,020 Нп/мм

Для 20 МГц средняя скорость продольной волны = 4615,6 м/с.
среднее значение коэффициента затухания = 0,029 Нп/мм

2. Было проведено наводороживание образцов из сплава Э110, до различных концентраций от 150 ppm до 2400 ppm.

3. Были определены параметры распространения продольных ультразвуковых волн для наводороженных образцов из сплава Э110 и установлена зависимость параметров распространения УЗ волны от содержания водорода.

4. С увеличением содержания водорода значение скорости продольной волны линейно увеличивается, значение коэффициента затухания изменяется сложным образом: сначала увеличивается, до концентрации водорода 500 ppm, далее уменьшается, до концентрации водорода 1000 ppm, и далее, с ростом содержания водорода в образцах - не меняется. Сложная зависимость коэффициента затухания от содержания водорода отражает изменение состояния образцов из циркониевого сплава Э110 в процессе наводороживания.

4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.

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

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Циркониевый сплав широко используется в современных тепловых нейтронных реакторах в качестве конструкционных материалов, потому что это сплав есть высокая термостойкость, коррозионная стойкость, радиационная стойкость, сечение поглощения нейтронов низкое.

4.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Для достижения этой цели необходимо проанализировать конкурентные технические решения. Для этого мы составим таблицу, на основе которой мы дадим оценку конкурентоспособности этой части.

Таблица 5

Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Повышение производительности труда пользователя	0,01	2	2	1	0,02	0,02	0,01
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,05	5	2	4	0,25	0,1	0,2
3. Помехоустойчивость	0	1	1	1	0	0	0
4. Энергоэкономичность	0,1	5	3	2	0,5	0,3	0,2

5. Надежность	0,2	5	3	2	1	0,6	0,4
6. Уровень шума	0	1	1	1	0	0	0
7. Безопасность	0,25	4	2	2	1	0,5	0,5
8. Потребность в ресурсах памяти	0	1	1	1	0	0	0
9. Функциональная мощность(предоставляемые возможности)	0,01	4	2	4	0,04	0,02	0,04
10. Простота эксплуатации	0,01	4	2	3	0,04	0,02	0,03
11. Качество интеллектуального интерфейса	0	1	1	1	0	0	0
12. Возможность подключения в сеть ЭВМ	0	1	1	1	0	0	0
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,05	2	2	2	0,1	0,1	0,1
2. Уровень проникновения на рынок	0,01	2	2	1	0,02	0,02	0,01
3. Цена	0,1	3	1	2	0,3	0,1	0,2
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,15	4	3	1	0,6	0,45	0,15
5. Послепродажное обслуживание	0,01	3	2	1	0,03	0,02	0,01
6. Финансирование научной разработки	0,01	1	1	1	0,01	0,01	0,01
7. Срок выхода на рынок	0,01	3	2	1	0,03	0,02	0,01

8. Наличие сертификации разработки	0,03	5	4	2	0,15	0,12	0,06
Итого	1	57	38	34	4,09	2,4	1,93

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum V_i \cdot B_i$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента; V_i – вес показателя (в долях единицы); B_i – балл i -го показателя.

Разработка:

$$K = \sum V_i \cdot B_i = 57 \cdot 4,09 = 233,13$$

Конкуренты:

$$K1 = \sum V_i \cdot B_i = 38 \cdot 2,4 = 91,2$$

$$K2 = \sum V_i \cdot B_i = 34 \cdot 1,93 = 65,62$$

Проведя анализ выяснили, что деталь конкурентоспособна. Есть высокий безопасность и надежность. Предполагаемый срок эксплуатации длительный.

4.1.3 Технология QuaD

Технология QuaD является гибким инструментом для измерения характеристик, характеризующих качество новой разработки и ее перспектив на рынке, и позволяет вам принять решение о целесообразности инвестирования денег в исследовательский проект.

Показатели для оценки качества и перспектив новой разработки отбираются на основе выбранного объекта исследования с учетом его технико-экономических характеристик развития, создания и коммерциализации.

В соответствии с технологией QuaD каждый индикатор оценивается экспертно по одноточечной шкале, где 1 - самая слабая позиция, а 100 - самая сильная. Весовые показатели, определяемые экспертным путем, должны составлять всего 1.

Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение (3/4)	Средневзвешенное значение (5x2)
1	2	3	4	5	
Показатели оценки качества разработки					
1. Энергоэффективность	0,1	90	100	0,9	0,09
2. Помехоустойчивость	0	10	100	0,1	0
3. Надежность	0,2	90	100	0,9	0,18
4. Унифицированность	0,02	80	100	0,8	0,016
5. Уровень материалоемкости разработки	0,15	70	100	0,7	0,105
6. Уровень шума	0	10	100	0,1	0
7. Безопасность	0,25	90	100	0,9	0,225
8. Потребность в ресурсах памяти	0	1	100	0,01	0
9. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,01	80	100	0,8	0,008
10. Простота эксплуатации	0,01	80	100	0,8	0,008
11. Качество интеллектуального интерфейса	0	1	100	0,01	0
12. Ремонтопригодность	0,05	50	100	0,5	0,025
Показатели оценки коммерческого потенциала разработки					
13. Конкурентоспособность продукта	0,05	80	100	0,8	0,04

14. Уровень проникновения на рынок	0,01	20	100	0,2	0,002
15. Перспективность рынка	0,01	80	100	0,8	0,008
16. Цена	0,1	70	100	0,7	0,07
17. Послепродажное обслуживание	0,01	70	100	0,7	0,007
18. Финансовая эффективность научной разработки	0,01	1	100	0,01	0,0001
19. Срок выхода на рынок	0,01	70	100	0,7	0,007
20. Финансовая эффективность научной разработки	0,01	1	100	0,01	0,0001
Итого	1	1044		10,44	0,7912

Оценка качества и перспективности по технологии QuaD определяется по формуле:

$$P_{cp} = \sum B_i \cdot B_i = 1044 \cdot 0,7912 = 826,0128$$

где P_{cp} – средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки; B_i – вес показателя (в долях единицы); B_i – средневзвешенное значение i -го показателя.

Разработка считается перспективной, если средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки более 80, в нашем случае 480, это говорит о безоговорочной перспективности разработки.

4.1.4 SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Матрица SWOT

	<p>Сильные стороны научно исследовательского проекта:</p> <p>С1. Безопасность проведения исследований.</p> <p>С2. Длительный предполагаемый срок эксплуатации.</p> <p>С3. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями.</p> <p>С4. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии.</p>	<p>Слабые стороны научно исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Охрупчивание приводит к ухудшению эксплуатационных свойств изделий</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Сотрудничество с зарубежными профессорами в этой области;</p> <p>В2. Повышение стоимости конкурентных разработок.</p>	<p>Создать партнерские отношения с рядом ведущих предприятий для совместного исследования в области обработки металлов давлением</p>	<p>Сотрудничество с зарубежными профессорами и повышение квалификации персонала.</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Развитая конкуренция технологий производства.</p> <p>У2. Ограничения на экспорт технологии.</p> <p>У3. Введения дополнительных государственных требований к сертификации продукции.</p>	<p>Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями повлечет изменение спецификаций и стандартов на поставку экспериментальных металлических образцов запрещенного типа.</p>	<p>Расширение области применения за счет развития новых технологий.</p>

Сильные стороны проекта					
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4
	B1	0	+	+	-
	B2	-	+	+	-

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие сильных сторон и возможности: B1B2C2C3.

4.2 Планирование научно-исследовательских работ

4.2.1. Структура работ в рамках научного исследования

Достижение и выполнение конкретной цели при выполнении научных исследований в итоговой квалификационной работе, необходимо формируя рабочую группу. Для каждого запланированного вида работ устанавливается соответствующая позиция исполнителей. В таблице 5 список этапов и работ в рамках научных исследования в окончательной работе.

Таблица 9

Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ работы	Содержание работы	Должность исполнителя
Разработка задания на НИР	1	Составление и утверждение задания НИР	Руководитель, студент-дипломник
Проведение НИР			
Выбор направления исследования	2	Изучение поставленной задачи и поиск материалов по теме	Студент-дипломник
	3	Выбор методов исследования	Студент-дипломник, руководитель
	4	Календарное планирование работ	Руководитель, Консультант, студент-дипломник

Теоретические и экспериментальные исследования	5	Разработка приборов для исследования	Руководитель, консультант, студент-дипломник
	6	Проведение экспериментов	Студент-дипломник
Обобщение и оценка результатов	7	Анализ полученных результатов, выводы	Студент-дипломник, руководитель
	8	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, консультант, студент-дипломник
Оформление отчета по НИР	9	Составление пояснительной записки	Студент-дипломник
Защита отчета	10	Защита ВКР	Студент-дипломник

4.2.2. Определение трудоемкости выполнения работ

Для оценки трудоёмкости выполнения научного исследования выпускной квалификационной работы используют экспертный путь, определяемый человеко-днями. Для определения ожидаемого значения трудоемкости используют следующее соотношение:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}$$

где $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.; $t_{\min i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы чел.-дн.; $t_{\max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, чел.-дн.

Рассчитав ожидаемую трудоемкость работ, определим продолжительность каждой работы в рабочих днях T_r , учитывая

параллельность выполнения работ несколькими исполнителями, по следующему соотношения:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.; $Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

4.2.3.Разработка графика проведения научного исследования

Для проведения научного исследования, представленного в выпускной квалификационной работе, выбирают специальную узко направленную научную тему. Для этого строится специальный ленточный график проведения научных работ в форме диаграммы Ганта. Для построения графика необходимо перевести рабочие дни в календарные дни, для чего воспользуемся следующим соотношением:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал}$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях; T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях; $k_{кал}$ – коэффициент календарности, определяющийся выражением.

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}}$$

где $T_{кал}$ – количество календарных дней в году; $T_{вых}$ – количество выходных дней в году; $T_{пр}$ – количество праздничных дней в году.

Таблица 10

Временные показатели проведения научного исследования

	Исполнители	Продолжительность работ
--	-------------	-------------------------

№ ра б.		t_{min} ,	t_{max} ,	$t_{ож}$	T_p	T_k	$У_i$, %	Γ_i , %	
		чел-дн	чел-дн	чел-дн	раб. дн	кал.дн			
1	Руководитель	4	8	5,6	5,6	7	9,33	9,33	
2	Студент-дипломник Руководитель	15	18	16,2	8,1	10	13,33	22,6	
3	Руководитель	4	9	6	6	7	9,33	32	
4	Руководитель	4	8	5,6	5,6	7	9,33	41,3	
5	Руководитель, Консультант, Студент-дипломник	8	15	10,8	5,4	7	9,33	50,6	
6	Студент-дипломник	7	9	7,8	7,8	9	12	62,6	
7	Студент-дипломник,	7	12	9	4	11	14,6	77,33	
8	Консультант, Студент-дипломник	6	9	3,6	1,3	4	5,3	82,6	
9	Студент-дипломник Руководитель	4	10	6,4	2,1	3	4	86,6	
10	Студент-дипломник	7	11	8,6	8,6	10	13,3	100,00	
Итого						Руководитель	41		
						Студент	54		
						Консультант	11		

На основе табл. 6 строится календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта на основе табл. 7 с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования. При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Таблица 11

Календарный план-график проведения НИОКР по теме

Этапы	Вид работы	Исполнители	t	Фев	Ма	А	Мая	И
			к	р аль	р т	пр ель		ю нь
1	Составление и утверждение задания НИР	руководитель	7	█				
2	Поиск и изучение материала по теме	руководитель, инженер	10	█ █	█			
3	Выбор моделей и способов анализа	руководитель	7		█ █			
4	Календарное планирование работ	руководитель	7			█ █		
5	Изучение литературы по теме	руководитель, инженер	7			█ █		
6	Поиск методов решения	инженер	9			█ █ █		
7	Систематизация и оформление информации	руководитель, инженер	11			█ █ █		
8		руководитель,	4				█ █	

	Измерение и получение цифры	инженер																		
9	Анализ полученных результатов	руководитель, инженер	3																	
10	Составление пояснительной записки	инженер	10																	

	Инженер
	Руководитель

4.2.4. Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

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

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

Таблица 12

Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество			Цена за ед., руб.			Затраты на материалы, (Зм), руб.		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
Сплавы	Шт.		20			500			10000	

Бумага	Лис.			100			2			200
Тетрадь	Шт.		1			50			50	
Ручка	Шт.		2			50			100	
шлифовальной бумаги	Шт.		10			100			1000	
алмазных паст	Шт.	1			200			200		
Итого								200	11150	200

Таблица 13

Баланс рабочего времени

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

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{TC} \cdot (1 + k_{np} + k_d) \cdot k_p$$

где Z_{TC} – заработная плата по тарифной ставке, руб.; k_{np} – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от Z_{TC}); k_d – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15-20 % от Z_{TC}); k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Расчёт основной заработной платы

Исполнители	Зтс, руб	к _{ПР}	к _д	к _р	З _м , руб	З _{дн} , руб.	З _{осн.} , руб.
Руководитель	33664	0,3	0,4	1,3	74397,44	3082,60	40073,80
Инженер	9893	0,3	0,4	1,3	21863,53	905,90	8153,10

4.2.5 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:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}$$

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:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}$$

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

$$Z_{\text{доп}} = 0,15 \times 40073,80 = 6011,07$$

4.2.6 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:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}})$$

где $k_{\text{внеб}}$ – 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 15

Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб	Дополнительная заработная плата(12% от основной), руб
Руководитель проекта	40073,80	6011,07
Инженер	8153,10	1222,97
Коэффициент отчислений	0,302	
Итого	13069,48	

Вывод:

Поскольку с каждым годом существует большое количество конкурентоспособных предприятий, необходимо создавать продукты, соответствующие стандартам и требованиям потребителей, а также соответствовать стандартам качества. Для этого выполняется ряд процедур, на основе которых раскрывается эффективность исследования развития. Будет ли это востребовано на рынке, проверяется возможность использования сырья и дорогостоящего оборудования.

В ходе работы они оценили коммерческий потенциал и перспективы проведения научных исследований с точки зрения эффективности использования ресурсов и ресурсосбережения.

Мы проанализировали конкурентоспособные технические решения. Мы составили таблицу «Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений». Они узнали, что разработка является конкурентоспособной и многообещающей. Они составляли SWOT-матрицу, описывали сильные и слабые стороны развития. Представлял четыре варианта решения технической проблемы. Определены возможные альтернативы научным исследованиям. В таблице «Список этапов, работ и распространения исполнителей» оговаривались основные этапы и указывались содержание работы на каждом этапе. Определили сложность работы. Мы разработали график проведения научного исследования, в котором была показана трудоемкость работы исполнителей, на основе которой был составлен календарь. Рассчитана материальная стоимость ИППП, рассчитана стоимость специального оборудования для научных (экспериментальных) работ. Затем мы рассчитали базовую заработную плату, составили таблицу «Баланс рабочего времени», также рассчитали сумму, которая должна быть переведена в внебюджетные фонды, платеж составит 13069,48 рубля.

5. Социальная ответственность

Исследование влияния водорода на параметры распространения продольной ультразвуковой волны в циркониевом сплаве Э110. Основная задача в этой работе – сравнительное исследование параметров распространения продольной ультразвуковой волны в образцах из сплава Э110 с различным содержанием водорода. Поэтому, принимая во внимание безопасность и здоровье на рабочем месте путем гидрирования, контролируя реакцию газа, используя особое значение в этом исследовании. Контроль реакционного газа используется для исследования в секции сорбции / десорбции водорода из металлических и неметаллических материалов, используемых при диффузии водорода путем тепловой диффузии.

5.1 Техногенная безопасность

Настройки контроллера газовой реакции выполняются путем применения переменного напряжения 220 В, экспериментального исследования в газовой атмосфере (гелий, водород). Во время работы газового контрольного реактора завода вредное воздействие таких факторов, как:

- микроклимат,
- электромагнитные поля,
- шум

Кроме того, возможные последствия следующих угроз безопасности:

- пороговое напряжение;
- воздействие высоких температур;
- техническое обслуживание газовых баллонов (водород, гелий), которых работать под давлением.

Влияние электрического напряжения на человека связано с протекающим через него током. Прохождение тока может вызвать раздражение и повреждение различных органов человека. Пороговый ток без отключения составляет 50 Гц (6-16 мА). Защита от воздействия электрических токов осуществляется посредством организационных, технических и профилактических мер.

Если воздействие тепла на организм человека, принимая во внимание, что важно отметить, что он запрещает открывать крышку нагретой печи, прикасаться к камере и носить одежду, чтобы избежать термических ожогов при работе с установкой, в которую образец размещен.

Если есть утечка газа из цилиндра, это может привести к пожару. Утечки перед использованием проверки целостности газовых баллонов, которые являются прочными крепежными деталями, не содержат газа. Клапан и поток должны быть правильно проверены, необходимо проверить манометр, а отрегулированная коробка передач имеет газ в цилиндре.

Если компьютерная нагрузка не оказывает вредного воздействия на организм человека на зрение, лицевые кожные заболевания, неврологические и психические расстройства и. Допустимое электрическое поле составляет 25 В / м (5 Гц - 2 кГц) и 2,5 В / м (от 2 до 400 кГц). Для защиты от электромагнитных полей используются различные фильтры. Ориентационные световые линии должны находиться на северо-востоке или на севере. Искусственные источники света: люминесцентные виды LB и DRL. Оптимальный параметр микроклимата. Если он работает с шумом ПК, этого не может быть, значение для этих типов операций не будет превышать.

5.2 Анализ вредных и опасных факторов

5.2.1 Производственный шум

Вентиляция производственных помещений предназначена для уменьшить запыленность, дым и чистый воздух от вредных выбросы продукции, а также безопасность оборудования. Она служит одним из основных средств улучшения условий труда, производительности и предотвращения заболевания. Система вентиляции обеспечивает снижение воздух помещения пыли, газов до концентрации, не превышающей ПДК. Вентилируйте помещение, открыв вентиляционную панель. Сушильный помещения в холодный период года допускаются не более одного раза в час, в то же время вам необходимо обеспечить, чтобы в помещении не было понижения температуры помещения ниже приемлемого. Воздушный обмен в

комнате может быть значительно уменьшена, если вы поймаете вредные вещества на своих местах распределения, не допуская их распространения в помещениях. Для этого используйте впускную и вытяжную вентиляцию. Обменный курс не является ниже 3.

Максимально допустимый уровень шума (RC) - это уровень фактора, которые ежедневно (кроме выходных) работают, но не более 40 часов в неделю в течение всего рабочего периода, не должно вызывать болезни или отклонения в состоянии здоровья, выявленные современными методами исследования в процессе работы или в отдаленные времена жизни этого и будущих поколений. Соответствие дистанционному шуму не исключает нарушения здоровья у лиц с гиперчувствительностью.

Допустимый уровень шума ограничен ГОСТ 12.1.003-83 и СанПиН 2.2.4/2.1.8.10-32-2002. Максимальный уровень звука постоянного шума на рабочих местах не должен превышать 80 дБА. В нашем случае этот параметр соответствовал значению 75 дБА. При значениях выше допустимого уровня необходимо предусмотреть СКЗ и СИЗ.

СКЗ

- Устранение причин шума или его значительное ослабление в источнике образования;
- изоляция источников шума от окружающей среды посредством звуко- и вибрационной изоляции, звуко- и вибрационная абсорбция;
- использование инструментов, которые уменьшают шум и вибрацию на распределение;

СИЗ

- использование спецодежды, специальной обуви и средств защиты тела слух: наушники, затычки для ушей, антифоны.

5.2.2 Освещение

Рациональное освещение рабочего места помогает предотвратить травмы и многие профессиональные заболевания. Правильно организованное освещение создает благоприятные условия труда, повышает эффективность и

повышает производительность труда. Освещение на рабочем месте должно быть таким, чтобы люди могли работать без стресса. Существует три типа освещения: натуральный, искусственный, комбинированный.

Для промышленной системы освещения должны соответствовать следующим требованиям:

- соответствующий тип освещения работы;
- яркость рабочей поверхности и окружающего пространства в равномерном распределении;
- оптимальная направленность излучаемых осветительных систем светового потока;
- долговечность, эффективность, электрическую и пожаробезопасность, эстетику, комфорт и простоту использования.

В промышленных и публично-административных помещениях при использовании документов в первый раз допускается использование комбинированной системы освещения (общее освещение дополнительно устанавливается с использованием местных осветительных приборов, предназначенных для освещения местоположения документов).

Визуальная работа программиста характеризуется как работа с очень высокой степенью точности. Это требует освещения 300 - 500 люкс. Разрешается устанавливать местные осветительные приборы для освещения документов, но при условии, что они не выдают бликов на поверхности экрана, освещенности экрана и не увеличиваются более чем на 300 люкс. Локальные огни должны иметь полупрозрачный отражатель, имеющий защитный угол не менее 40 градусов.

Так как источник света предпочтительно используется с искусственным освещением и флуоресцентным LV. Освещение должно выполняться в виде непрерывных или прерывистых линий светильников, расположенных на стороне рабочей станции, параллельно линии визирования пользователя в линейной компоновке персональных компьютеров (ПК).

Когда компьютеры расположены на периферии комнаты, светлые трубы должны быть размещены на столе в непосредственной близости от переднего края, а оператор сталкивается.

Чтобы обеспечить нормализованные значения яркости для курильщиков, контроллер газового отклика должен очищать лампы не реже двух раз в год и своевременно заменять сожженные лампы аналогичными.

5.2.3. Факторы пожарной и взрывоопасной природы

В соответствии с нормами пожарной безопасности, в зависимости от характеристик веществ, используемых в производстве и их количествах, пожароопасность и взрывоопасность помещений разделены на категории А, Б, В1-В4, Г, Д и зданий - в категориях А, Б, В, Г и Д. Категории пожарной и взрывоопасности помещений и здания определяются для наиболее неблагоприятных по отношению к огню или взрыва периода, основанного на типе транспортных средств и помещений горючие вещества и материалы, их количество и огнезащитные свойства, особенности технологических процессов. Лабораторные помещения в соответствии со степенью пожароопасности относятся к категория А, т.е. помещения, в которых расположены горючие газы, воспламеняющиеся жидкости.

Если есть неисправность газоанализатора RHEN-602 вы должны выполнить следующие действия:

- выйти из программы;
- выключить компьютер;
- отсоединить газоанализатор RHEN-602 от сети;
- сообщить об этом начальнику;

В случае утечки газа из цилиндра немедленно прекратите

подачу газа из цилиндра и сообщите о чрезвычайной ситуации непосредственный начальник. Если есть пожар, немедленно остановите работу, закройте газовый баллон, отключите электрооборудование, позвоните в пожарную службу по телефону 01 или 010, случилось с главой

подразделения и приступило к тушению пожара основные средства пожаротушения.

Для локализации или устранения воспламенения на начальном этапе. Используются первичные средства пожаротушения. Огнетушители обычно используются до прибытия пожарной команды. Огнетушители водяной пены (ОХВП-10) используются для тушения огонь без электричества. Двуокись углерода (ОУ-2) и порошковые огнетушители предназначены для тушения электрических установок, которые находятся под напряжением до 1000 В. Кроме того, порошок используется для тушения документов.

Для тушения токоведущих деталей и электроустановок переносной порошковый огнетушитель, например ОП-5.

В общественных зданиях и помещениях на каждом этаже разместить как минимум два переносных огнетушителя. Огнетушители следует размещать в известных местах вблизи выходов из высота не более 1,35 м. Размещение первичных средств пожаротушения в коридоры, переходы не должны препятствовать безопасной эвакуации людей.

5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Проведение всех видов инструктажа должно проводиться в Книге инструкций с предписанной схемой с обязательными подписями лица, которое получило и выполнило инструкцию с указанием даты инструкции, имени и номера инструкций для типов работы, для которых дается инструкция.

В случае пожара немедленно прекратите работу, закройте газовый баллон, отсоедините электрооборудование, вызовите пожарный отдел на 01 или 010, сообщите об этом инциденту менеджеру агрегата и начните тушить пожар первичным огнетушителем. Если работник получает травму от электрического тока, как можно скорее, с решением электричества, проверьте состояние жертвы и позвоните скорая помощь, при необходимости. Прежде чем придет скорая помощь, предоставьте жертве необходимую скорую помощь или, при необходимости, организуйте доставку жертвы в ближайшее

медицинское учреждение, сообщите начальнику структурного подразделения об инциденте.

Еще одна возможная чрезвычайная ситуация, которая может находиться в помещении с установкой контроллера газовой реакции - произошел пожар.

Предотвращение пожаров основано на устранении благоприятных условий для воспламенения. В рамках четырех проблем устранена пожарная безопасность: предотвращение пожаров и пожаров, локализация пожаров, защита людей и имущества, борьба с пожарами. Предотвращение пожара достигается за счет исключения воспламеняющихся объектов и источников воспламенения, а также для поддержания окружающей среды в условиях, предотвращающих пожар.

В современном компьютере элементы электронных схем расположены в очень высокой плотности. Рядом друг с другом они подключены к проводам, кабелям коммутирующих электронных компонентов чипа. Когда через них протекает электрический ток, выделяется определенное количество тепла, что может привести к повышению температуры до 80-100 °С. В этом случае можно расплавить изоляцию и, как следствие, короткое замыкание, что сопровождается искрообразованием и приводит к неприемлемым перегрузкам чип-элементов. Чтобы удалить избыток тепла в компьютере, используйте внутренние вентиляторы.

Напряжение в электроустановках обеспечивается кабельными линиями, что также представляет особую опасность пожара. Характеристики процесс промышленных зданий и помещений пожароопасных, на которых решение.

Считается, что возникновение пожара в помещении определяется следующими факторами:

- Легко воспламеняющиеся элементы: файл, дверь, стол и т. Д.;
- Кислород в качестве окислителя присутствует в процессе горения. Огонь может произойти из-за следующих факторов:

- Электрическая проводка неисправностей, розетки и переключатели могут привести к повреждению изоляции или короткому замыканию;
- Изменение электроприборов;
- Электрическое нагревательное устройство используется в помещении с открытым нагревательным элементом;
- Молния ударила по зданию;
- Высокое обращение с огнем и несоблюдение мер пожарной безопасности.

Согласно классификации пожарного риска (РРВ-03), в зависимости от характеристик производства веществ и их количеств, это число делится на несколько категорий А, В, С, D. Это число относится к категории В, поскольку горючие веществ и материалов в твердом состоянии без выброса пыли.

Для тушения пожара использовались пожарные палки, внутренние противопожарные водопроводные трубы, огнетушители и сухой песок.

Вода используется для тушения пожаров в помещениях программистов только в случае опасности повреждения или полного отказа от дорогостоящих оборудование. В этом случае, если это возможно, необходимо защитить компьютеры от влаги.

Огнетушители широко используются для тушения пожаров на начальных этапах. Поэтому в отделах с ПК используются огнетушители с диоксидом углерода, преимущество которых - высокая эффективность пожаротушения и безопасность электронного оборудования.

Благодаря диэлектрическим свойствам двуокиси углерода эти огнетушители могут использоваться, даже если электрическая установка не может быть немедленно отключена.

Для предотвращения пожара проводятся специальные семинары с работниками здания, где вы изучите основы обучения пожарной безопасности и работе с первичными системами пожаротушения.

На рисунке 1 показан план эвакуации.

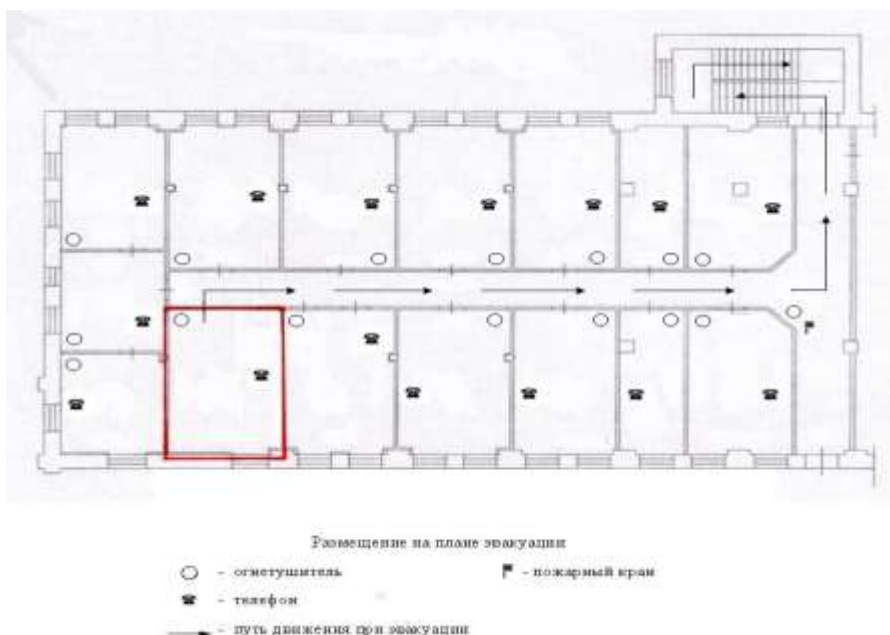


Рисунок 18. План эвакуации

5.4 Расчет воздухообмена в жилых и общественных помещениях

В жилых и общественных зданиях выдыхается постоянный выброс вредного углекислого газа людям (CO_2). Определение требуемого воздуха высвобождается из количества двуокиси углерода человека и их допустимых концентраций.

Потребность в вентиляции в жилых зданиях и общественных местах определяется по формуле:

$$L = \frac{G}{xв - хн}$$

При работе на установке наводороживания проведения люди работают.

Выделяемое количество CO_2 одним человеком = 23 л/ч.

Допустимая концентрация вредности в воздухе рабочей зоны помещения (согласно ГОСТ 12.1.005-88) $xв=1$ л/м³.

Допустимая концентрация вредности в воздухе больших городов (ГН 2.1.6.1338-03) $xн=0,5$ л/м³.

Определим потребный воздухообмен для помещения по формуле:

$$L=23/(1-0,5)=46 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Вывод:

Газ был идентифицирован Контроллером газовой реакции, вредными и опасными факторами рабочей зоны при рассмотрении требований охраны труда и гигиены для выполнения гидрогенизационных работ с использованием установки, причин и средств чрезвычайной ситуации и поведения, наблюдаемых в них. Расчет воздуха был также подготовлен на территории рабочей зоны с установкой реакционного газового контроллера, в котором работает человек. Расчетный воздухообмен воздуха составляет 46 м^3 / ч.

Список литературы

1. Каневский И.Н. Неразрушающие методы контроля: учеб. пособие / И.Н. Каневский, Е.Н. Сальникова — Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2007.—243 с.
2. Капранов Б.И. Акустические методы контроля и диагностики. Часть 1: учебное пособие / Б.И. Капранов, М.М. Коротков; Томский политехнический университет—Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. —186 с.
3. Оглезнева Л.А. Акустические методы контроля и диагностики. Часть II: учебное пособие / Л.А. Оглезнева, А.Н. Калиниченко. — Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009.—292 с.
4. Займовский А.С. Циркониевые сплавы в атомной энергетике / А.С. Займовский, А.В. Никулина, Н.Г. Решетников. — Москва: Энергоатомиздат, 1981. — 232 с.
5. Колачев Б. А. Водородная хрупкость металлов / Б. А. Колачев. — Москва: Металлургия, 1985. — 217 с.
6. Черняева Т.П., Остапов А.В. Водород в цирконии. Часть 1 // Вопросы атомной науки и техники. – 2013. Т. 87. – №5. – С. 16 – 32.
7. A. Zuttel. Materials for hydrogen storage // Materials Today. 2003, vol. 6, №9, p. 24-33
8. Бабихина М. Н. Особенности накопления водорода в циркониевом сплаве Э110 при газофазном гидрировании / М. Н. Бабихина, В. Н. Кудияров, М. С. Сыртанов // Физико-технические проблемы в науке, промышленности и медицине: сборник тезисов докладов IX Международной научно-практической конференции, г. Томск, 21-22 сентября 2017 г. — Томск: Изд-во ТПУ, 2017. — [С. 30].
9. Неравновесные системы металл-водород. Ти- тан, нержавеющая сталь / М. Кренинг, Х. Ба- умбах, Ю.И. Тюрин и др.; Томск: Изд-во Том- ского университета, 2002.

- 10.Чернов И.П., Черданцев Ю.П., Тюрин Ю.И.Методы исследования систем металл-водород. М.: Энергоатомиздат, 2004.
- 11.Панин А. В., Захарова Е. В., Казачёнок М.С. Влияние ультразвуковой обработки и последующего термического отжига на механические свойства образцов титанового сплава BT5-1 // Современные проблемы машиностроения и приборостроения: 1 Международная конференция, Томск, 24-28 сентября 2002 г.: Сборник трудов. – Томск, 2003. – С. 30-32.
- 12.Чернов, И. П. Методы исследования систем металл-водород / И.П. Чернов, Ю.П. Черданцев, Ю.И. Тюрин. – М.: Энергоатомиздат, 2004. - 270 с.
- 13.Данилов, В.Н. О некоторых особенностях сигнала прямого линейного преобразователя с фазированной решеткой в режиме излучения. – Дефектоскопия. – 2010 – № 10.– С. 59–74.
- 14.Bernus L. von, Bulavinov A., Dalichow M., Joneit D., Kröning M., Reddy K.M.: Sampling Phased Array: A New Technique for Signal Processing and Ultrasonic Imaging, In: Insight. Volume 48 (2006), Issue 9, P. 545-549.
- 15.Поляков, В.Н. Катастрофы трубопроводов большого диаметра. Роль полей водорода. // Проблемы прочности. 1995. – №1. – С.137–146.
- 16.Гадельшин, М.Ш. Водородное пластифицирование титановых сплавов / Гадельшин М.Ш., Анисимова Л.И., Бойцова Е.С. // Альтернативная энергетика и экология. 2004. Т.17, № 9. С. 26-29.
- 17.ГОСТ 19807-91 Титан и сплавы титановые деформируемые. Марки.
- 18.Гармата, В.А. Металлургия титана / В.А. Гармата, Б.С. Гуляницкий, В.Ю. Крамник. – М.: Metallurgy, 1967. – 643 С.
- 19.Меркулова, Г.А. Металловедение и термическая обработка цветных сплавов: учеб. пособие/ Г.А. Меркулова. – Красноярск: Сиб.федер.ун-т, 2008. – 312 С.
- 20.Давыденко, Л.В. и др. О возможности применения титановых сплавов в автомобилестроении// Автомобильная промышленность. – 2010. – №10. – С. 41-43.

21. Ильин, А.А. Титановые сплавы. Состав, структура, свойства. / А.А. Ильин, Б.А. Колачев, И.С. Польшкин – М.: ВИЛС-МАТИ, 2009. – 520 с.
22. Колачев, Б.А. Титановые сплавы разных стран. / Б.А. Колачев, И.С. Польшкин, В.Д. Талалаев – М.: ВИЛС, 2000. – 316 С.
23. Колачев, Б.А. Metallovedenie i termicheskaya obrabotka cvetnykh metallorv i splavov / Б.А. Колачев, В.И. Елагин, В.А. Ливанов. – М.: МИСИС, 2005 – 432 С.
24. Колачев, Б.А. Механические свойства титана и его сплавов. / Б.А. Колачев, В.А. Ливанов, А.А. Буханова – М.: Metallurgiya, 1974. - 544 С.
25. Белов, С.П. Титановые сплавы. Metallovedenie титана и его сплавов./ С.П. Белов [и др.]; под ред. Б.А. Колачева, С.Г. Глазунова. – М.: Metallurgiya, 1992. – 352 С.
26. Лучинский, Г.П. Химия титана. – М.: Химия, 1971. - 471 С.
27. Корнилов, И.И. Титан. Источники, составы, свойства, металлохимия и применение. – М.: Наука, 1975. - 310 с.
28. Кренинг, М. Неравновесные системы металл-водород. Титан, нержавеющая сталь. / М. Кренинг [и др.]. – Томск: Изд-во Том.ун-та, 2002. - 350 С.
29. Мороз, Л.С. Титан и его сплавы. Т.1: Технически чистый титан / Л.С. Мороз [и др.]; под ред. Л. С. Мороз. – Л.: Судпромгиз, 1960. - 516 С.
30. Титан и его сплавы: Сб. статей / И.П. Бардин, А.В. Ревякин. – М.: Изд-во АН СССР, 1959. - С. 92.
31. Исакович, М. А. Общая акустика. – М.: Наука, 1973. – 502 С.
32. Гельд, П.В. Водород и физические свойства металлов и сплавов: Гидриды переходных металлов / П.В. Гельд, Р.А. Рябов, Л.П. Мохрачева. – М.: Наука, 1985. - 232 С.
33. Колачев, Б.А. Водородная хрупкость цветных металлов. – М.: Metallurgiya, 1966. - 239 С.
34. Ливанов, В.А. Водород в титане. / В.А. Ливанов, А.А. Буханова, Б.А. Колачев – М.: Metallurgiya, 1962. - 245 С.

- 35.Шоршоров, М.Х. Сварка титана и его сплавов. / М.Х.Шоршоров, Г.В.Назаров. – М.: Машгиз, 1959. - 136 С.
- 36.Молчанова, Е.К. Атлас диаграмм состояния титановых сплавов. – М.: Машиностроение, 1964. - 392 С.
- 37.Назаров, В.В. Экспериментальное исследование влияния водорода на ползучесть титановых сплавов // Физика прочности и пластичности материалов: сб. тез. XVIII Международной конференции. – Самара: Самарский гос. тех. ун-т, 2012. - С. 141.
- 38.Goltsov, V.A. History, ideology and prospects of the hydrogen treatment of materials – opening address // Intern. J. Hydrogen Energy. 1997. Vol. 22. P. 115-117.