

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа ядерных технологий
 Направление подготовки 03.03.02 «Физика»
 Отделение школы (НОЦ) Отделение экспериментальной физики

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Влияние водорода на релаксационные процессы в циркониевом сплаве Э110

УДК 669.296:669.788

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
150Б61	Лю Уян		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Ларионов Виталий Васильевич	д.ф.-м.н. профессор.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Киселева Елена Станиславовна	к.ф.-м.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Ирина Леонидовна Мезенцева	к.ф.-м.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Запланированные результаты обучения по программе

Код результата	Результат обучения (выпускник способен)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Общекультурные компетенции</i>		
P1	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)
P2	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>		
P3	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)
P4	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)
P5	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 style="text-align: center;"><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 style="text-align: center;"><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 style="text-align: center;"><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 style="text-align: center;"><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 науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа ядерных технологий
 Направление подготовки 03.03.02 «Физика»
 Отделение школы (НОЦ) Отделение экспериментальной физики

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ Лидер А.М.10.09.2019
 (Подпись)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы <small>(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)</small>
--

Студенту:

Группа	ФИО
150Б61	Лю Уян

Тема работы:

Влияние водорода на релаксационные процессы в циркониевом сплаве Э110	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <small>(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.).</small></p>	<p style="text-align: center;"> Экспериментальные исследования процессов миграции водорода в сплаве циркония Э110 методом термоэдс </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; – Подготовка образцов методом напыления; – Исследование слоистой среды Zr+TiN; – Измерение термоэдс соистых сред; – Расчет времени релаксации зарядов в циркониевой пластине с водородом; – Исследование миграции водорода по координате и во времени – Анализ полученных результатов; – Заключение.
--	--

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Социальная ответственность	Ирина Леонидовна Мезенцева
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Киселева Елена Станиславовна

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
---	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор	Ларионов Виталий Васильевич	д.ф.-м.н. профессор		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
150Б61	Лю Уян		

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

Студенту:

Группа	ФИО
150Б61	Лю Уян

Школа	Инженерная школа ядерных технологий	Отделение школы (НОЦ)	Отделение экспериментальной физики
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	03.03.02«Физика»

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска. Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>30% премии; 20% надбавки; 16% накладные расходы; 30% районный коэффициент.</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды – 30,2 %</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>Анализ и оценка конкурентоспособности НИ; SWOT-анализ.</i>
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>Формирование плана и графика разработки: - определение структуры работ; - определение трудоемкости работ; - разработка графика Гантта. Формирование бюджета затрат на научное исследование: - материальные затраты; - амортизационные отчисления; - заработная плата; - отчисления на социальные цели; - накладные расходы.</i>
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<i>Определение эффективности проекта (оценка результатов)</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. <i>Оценка конкурентоспособности НИ</i>
2. <i>Матрица SWOT</i>
3. <i>Диаграмма Гантта;</i>
4. <i>Основные показатели эффективности НИ</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОГСН ШБИП	Киселева Елена Станиславовна	К.Э.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
150Б61	Лю Уян		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
150Б61	Лю Уян

Школа	Инженерная школа ядерных технологий	Отделение (НОЦ)	Отделение экспериментальной физики
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	Физика (03.03.02)

Тема ВКР:

Влияние водорода на релаксационные процессы в циркониевом сплаве Э110

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<i>Прибор: измеритель термоздс; Рабочая зона: лаборатория; Материал: циркониевый сплав Э110 Область применения: Аэрокосмическая система</i>
--	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. 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; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p>По данной теме рассматриваются законодательный и нормативные документы: Документы по воздействию ПЭВМ: - СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организация работы; - ГОСТ Р 50948-01. Средства отображения информации индивидуального пользования. Общие эргономические требования и требования безопасности; - ГОСТ Р 50949-01. Средства отображения информации индивидуального пользования. Методы измерений и оценки эргономических параметров и параметров безопасности;</p>
<p>2. Производственная безопасность:</p> <p>2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов</p> <p>2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p>	<p>–Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека; –Превышение уровня шума; –Отсутствие или недостаток естественного света; –Пожаровзрыво опасность.</p>
<p>3. Экологическая безопасность:</p>	<p>Экологическая безопасность: – Влияние экспериментальных отходов на окружающую среду; – Предложим решение;</p>
<p>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p>	<p>Защита в чрезвычайных ситуациях: – Возникновение возгорания;</p>

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Ирина Леонидовна Мезенцева	к.ф.-м.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
150Б61	Лю Уян		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

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:	02.06.2020
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
29.11.2019	Аналитический обзор литературы	10
27.12.2019	Подготовка образцов титанового сплава Ti-6Al-4V с различными концентрациями водорода	15
28.02.2020	Исследование влияния ТВО на структуру материала.	20
30.04.2020	Исследование влияния ТВО на твердость, прочность и пластичность. Анализ и обобщение полученных результатов.	20
25.05.2020	Социальная ответственность	15
25.05.2020	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
25.05.2020	Заключение	5

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Попись	Дата
Доцент	Ларионов Виталий Васильевич	д.ф.-м.н. профессор		

СОГЛАСОВАНО:

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

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 80 страниц, 21 рисунок, 19 таблиц, 33 источника.

Ключевые слова: водород, циркониевый сплав Э110, термоэдс, неоднородное наводороживание, напыление TiN.

Цель работы является исследование миграции (переноса) водорода в циркониевом сплаве методом измерения термоэдс.

В работе исследован процесс диффузионного переноса водорода в циркониевой пластине напыленной пленкой TiN. Интегральный перенос изучен методом измерения термоэдс. Для этого разработана установка для исследования процесса миграции водорода в сплаве Э110. На основе уравнения Больцмана и данных по электросопротивлению наводороженного сплава Э110 исследована величина времени релаксации заряда в присутствии водорода. Проведено измерение термоэдс по координате и во времени. Показано, что по величине профиля изменения термоэдс по координате и во времени можно судить о миграционных процессах водорода в сплавах. Ширина профиля изменения термоэдс зависит от температуры изотермы. Поэтому комплекс изотерм существенно расширяет информационную базу метода исследования процессов миграции.

Степень внедрения: данные результаты апробированы на международных конференциях: Перспективы развития фундаментальных наук. – Томск, 2019 и 2020 г. <http://www.lib.tpu.ru/fulltext/c/2014/C21/C21>.

Область применения: в химической, авиационной, космической, машиностроительной, нефтегазодобывающей и других отраслях промышленности для неразрушающего контроля изделий.

Оглавление

Актуальность.....	13
ВВЕДЕНИЕ.....	14
1. Взаимодействие водорода с цирконием и сплавами на его основе. Применение метода термоэдс для исследования процесса взаимодействия водорода с цирконием.....	15
1.1. Взаимодействие водорода со сплавами на основе циркония.....	15
1.2. Влияние водорода на величину термоэдс циркония и циркониевых сплавов.....	15
1.3. Миграция водорода в циркониевых сплавах. Методы исследования миграции водорода в металлах.....	16
1.4. Способы гидрирования металлов (литературный обзор). Наводороживание напыленного образца.....	17
2. Разработка метода исследования миграции водорода в циркониевых сплавах методом напыления нитрида титана.....	18
2.1. Методы нанесения покрытий из нитрида титана.....	18
2.2. Электрофизические свойства покрытий на основе нитрида титана [18]..	19
2.3. Расчет времени релаксации при переносе зарядов в цирконии.....	20
2.3.1. Основные уравнения для расчета времени релаксации.....	20
2.3.2. Расчет времени релаксации заряда в наводороженном сплаве циркония.....	21
2.4. Связь теплофизических и электрических свойств гидрированного циркония.....	27
3. Исследование свойств циркония, покрытого нитридом титана, методом термоэдс.....	28
3.1. Термоэдс слоистых сред (особенности измерения термоэдс слоистых сред).....	28
3.2. Получение образцов циркония с неравномерным содержанием водорода начальный момент времени по разнице массы пластины до наводороживания	29
3.3. Исследование зависимости термоэдс от координаты термозонда на поверхности образца циркониевого сплава.....	30

3.4. Исследование зависимости термоэДС от времени.....	39
4. Расчет коэффициентов диффузии водорода в цирконии.....	44
4.1. Теоретическая модель определения коэффициента диффузии.....	44
4.2. Обсуждение графиков и результатов экспериментальных исследований миграции водорода в циркониевом сплаве.....	45
Заключение. Выводы.....	48
Список литературы.....	50
5. Финансовый менеджмент, ресурсосбережение и ресурсоэффективность.....	53
5.1 Анализ конкурентоспособности.....	53
5.2 SWOT – анализ.....	55
5.3 Планирование научно-технического исследования.....	57
5.4 Определение трудоемкости выполнения работ.....	58
5.5 Разработка графика проведения научного исследования.....	59
5.6 Определение бюджета проекта.....	62
5.7 Ресурсоэффективность.....	69
6. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	71
6.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	71
6.1.1. Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства.....	71
6.1.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.....	73
6.2 Производственная безопасность.....	73
6.2.1 Анализ выявленных вредных и опасных факторов.....	73
6.2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия.....	74
6.3 Экологическая безопасность.....	77
6.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	78

Актуальность

Циркониевые сплавы, которые мы исследуем, принадлежат к классу материалов, которые функционируют в критических условиях. К критическим условиям, в частности, относятся ядерные реакторы, в которых в качестве тепловыделяющих элементов (ТВЭЛов) для оболочек используют циркониевые сплавы. Таким образом, циркониевые сплавы работают в условиях нейтронного облучения, водородной атмосферы как снаружи самих сплавов, так и в форме водородной подсистемы внутри сплавов. Для широкого применения исследуемых явлений, в частности для контроля материалов, необходимо исследовать основные физические явления, которые лежат в основе разрабатываемых методов. Водородная подсистема в металлах обладает рядом свойств, которые можно использовать в различных целях. В частности много работ посвящено созданию альтернативных источников энергии на её основе. Однако наибольшее число работ принадлежит исследованиям образования гидридов.

Водород в металлах изучен посредством различных физических методов, например методом ядерно-магнитного резонанса, при облучении нейтронами, протонами и электронами, методом электронно-позитронной аннигиляции (ЭПА), теплопроводности и электропроводности, а также методом термоэдс и др. Многие из этих методов являются громоздкими, применяются в лабораторных условиях и малоприменимы для оперативного контроля в условиях непосредственной промышленной эксплуатации.

Как известно накопление водорода в металлах приводит к их охрупчиванию, разбуханию, что в конечном итоге может привести к аварийным ситуациям. В целом и при получении новых материалов и контроля используемых материалов необходимо иметь соответствующие методы. **Целью данной работы** является разработка способа создания неоднородно насыщенных водородом материалов и исследование процессов миграции водорода в них методом термоэдс. Этот метод позволяет использовать его в удаленном от объекта излучения варианте. Это является важным с позиции организации безопасной работы персонала, например атомных станций.

ВВЕДЕНИЕ

Физическое явление, вызванное движением носителей заряда под действием внешнего и внутреннего полей, называется динамическим явлением или явлением передачи. [1]. Они включают в себя электрическую проводимость, теплопроводность, диффузия, термоэлектрические явления (термоэдс)[2]. Наша задача исследовать перенос (миграцию) водорода в цирконии методом измерения термоэдс наводороженного циркония. Рассеяние проводящих электронов при взаимодействии с фононами является основным механизмом сопротивления металлов и полупроводников.[3]. Способность проводить эмиссию электронов и поглощать фононы заставляет электроны притягивать друг друга, что при низких температурах может вызвать переход многих металлов в сверхпроводящее состояние [4]. Излучение молекулярных фононов, возбуждающих атомы и органы, обеспечивает возможность безызлучательных электронных переходов. При нагревании металла происходит увеличение энергии активации электронов проводимости металла. Её величина существенно зависит от содержания водорода в металле. В нашем случае создаются условия неоднородного содержания водорода в образце. Измерение термоэдс в каждой точке образца и во времени позволяет имитировать и моделировать реальные процессы. Здесь возникает проблема расчета времени релаксации зарядов в металле и задача использования метода термоэдс для слоистой среды. Слоистая среда организована с помощью напыления на образец пленки TiN, которая препятствует проникновению водорода в образец. Для наводороживания мы оставляли часть образца циркониевого сплава не напыленной. Именно таким образом создавалось неоднородное распределение водорода в образце циркониевого сплава Э110. Кроме того, вследствие недостаточности данных в работе проводился расчет электропроводности сплава по имеющимся данным, касающимся теплопроводности образца. Эти данные позволяли дополнительно рассчитывать время релаксации наводороженных образцов по предлагаемой модели.

1. Взаимодействие водорода с цирконием и сплавами на его основе.

Применение метода термоэдс для исследования процесса взаимодействия водорода с цирконием

1.1. Взаимодействие водорода со сплавами на основе циркония

Водород вызывает охрупчивание металлов и сплавов в виде твердых растворов или гидридов металлов [5]. Водородное охрупчивание циркониевого сплава является одной из наиболее важных проблем при использовании легководных реакторов для регулирования безопасности атомных электростанций, поскольку это является основной причиной снижения механических характеристик оболочки твэлов.

Во время работы основные явления деградации водорода, участвующего в ЦЭК, включают: водородное охрупчивание (резкое снижение пластичности при гидрировании), образование объемных гидридов (таких как дефекты, такие как корона, пузыри и т. д.) И замедленное растрескивание гидридов (в то время как Индуцированный постепенный постепенный рост трещины) Влияние напряжения и водорода) [6].

Во время работы циркониевой оболочки количество водорода увеличивается, когда покрытие вступает в контакт с жидкой топливной средой. В агрессивных средах проникновение водорода на покрытие вызовет осаждение гидроксида в материале, что повлияет на механические свойства, ползучесть, радиационный рост, усталостные характеристики и другие изменения продуктов из циркония. Это также влияет на процесс коррозии и вызывает деформацию его циркониевых продуктов. [7].

1.2. Влияние водорода на величину термоэдс циркония и циркониевых сплавов

Термоэлектродвижущая сила связана с двумя видами металлического контура, т.е. когда два металла находятся в контакте при разных температурах. В такой цепи будет возникать электрический ток или электродвижущая сила

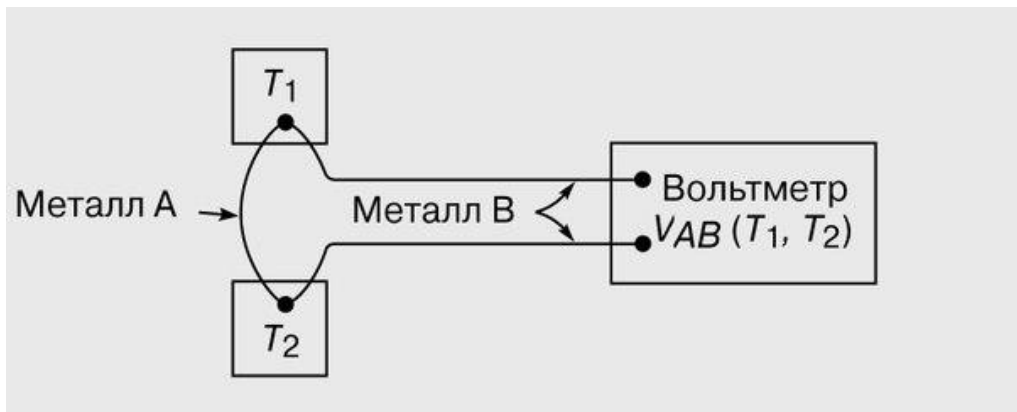


Рис. 1.1 Схема возникновения термоэдс при контакте двух металлов А и В

В нашем случае использовали зонд из золота. Зонд калибровали на стандартном металле из меди. Точность измерения составляла около 2 мкВ.

1.3. Миграция водорода в циркониевых сплавах. Методы исследования миграции водорода в металлах

В нормальных условиях основным типом движения атомов водорода в металлической решетке является перемещение из одного положения зазора в другое. Частота прыжков определяется температурой, изотопным составом и степенью заполнения междоузлия. Движущими силами для диффузии водорода являются концентрационные градиенты, механическое напряжение и наличие температуры [8].

1. Использование ядерно-физических методов для анализа систем металл-водород.

После анализа ядерно-физических методов для проведения комплексного исследования металл-водородных систем часто используют метод ядер отдачи и метод резерфордского обратного рассеяния. В настоящее время методы ядерного физического анализа успешно используются для изучения поведения водорода. Для их достижения используется единый пучок энергии для одновременной регистрации (отсюда и так называемый «мгновенный» метод анализа) и анализа энергии продукта ионов пучка, взаимодействующего с ядрами-мишенями, для облучения исследуемого образца. Неразрушающие методы ядерного анализа в виде функций возбуждения ядерных реакций делятся на две группы - резонансные методы и методы энергетического анализа, в

которых используется гладкая функция возбуждения выбранного процесса ядерного взаимодействия.[9].

2. Методы анализа дефектов структуры материала

Метод позитронной аннигиляции

Основываясь на известном физическом явлении тушения гамма-лучей при электрон-позитронной аннигиляции, в начале 1960-х годов был разработан метод исследования атомных дефектов в твердых телах для изучения динамики дефектов и их внешнего воздействия (положительный Установленной характеристикой электрона является его способность обнаруживать дефект, который уменьшается электронами, и объем электронов, захваченных дефектом дефекта, больше, чем у дефекта, на 6 порядков величины. [10].

3. Метод термоэдс. Метод использован для контроля дефектной структуры металлов в судостроительной, авиа- и космической промышленности. Хорошо зарекомендовал себя в качестве неразрушающего метода контроля металлов.

1.4. Способы гидрирования металлов (литературный обзор).

Наводороживание напыленного образца

Самым старым и наиболее изученным методом насыщения водородом является насыщение из газовой (водородной) атмосферы при повышенных давлении и температуре (метод Сиверста). Не менее известным методом является электролитическое насыщение металлов и полупроводников водородом.

Способ введения водорода из газоразрядной плазмы также известен. В последнее время метод ионной имплантации стал популярным, поскольку он позволяет вводить водород в металл на желаемой глубине. В комментариях достаточно подробно описана проблема имплантации ионов водорода. [11-15].

При взаимодействии нагретой металлической поверхности и водородсодержащей среды водород начинает поглощаться поверхностью, пока не будет установлена равновесная концентрация между поглощенным водородом и окружающей атмосферой. Равновесная концентрация зависит от давления водорода в реакционной камере(закон Сивертса).

В работе для наводороживания использован метод Сивертса[16,17]

Для исследования были подготовлены плоские образцы из циркониевого сплава Э110 (Zr1Nb, массовая доля Nb 1%, остальное Zr 98.8 % и примеси кислорода, азота, марганца, алюминия менее 0.005 масс % каждый) размерами 100×20×2 мм. Образцы были вырезаны из листов из циркониевого сплава путем искровой резки. Поверхность образца механически полируется для удаления поверхностных загрязнений. Снятие поверхностного напряжения и устранение дефектов осуществляют путем отжига в вакууме при температуре 580 °С в течение 180 минут. Нанесение покрытий на циркониевый сплав Zr1Nb проводилось на установке «Радуга спектр», разработанной в Томском политехническом университете.

2. Разработка метода исследования миграции водорода в циркониевых сплавах методом напыления нитрида титана

2.1. Методы нанесения покрытий из нитрида титана

Магнетронное распыление: тип диодного катодного распыления. Испарение распыленного вещества вызвано ионами рабочего газа, бомбардирующими мишень, рабочие ионы образуются в плазме аномального тлеющего разряда. На рисунке показана простейшая схема магнетронного распыления. 2.1.

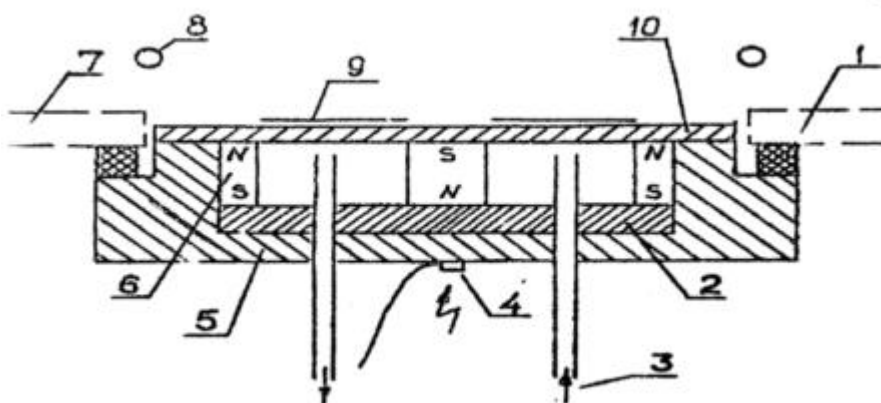


Рис.2.1 – Схема пленарной магнетронной системы: 1 – прокладки; 2 – основание; 3 – водяной канал; 4, 5 – корпус; 6 – постоянные магниты; 7 – вакуумная камера; 8 – анод; 9 – зона эрозии; 10 – катод - мишень

Постоянный магнит расположен прямо под мишенью, создавая магнитное поле почти параллельно поверхности катода. Неправильный газ воспламеняется между анодом и катодом. В результате электроны выбиваются катодом, захватываются магнитным полем и спирально перемещаются в поле силы Лоренца. Электроны, захваченные магнитным полем, проводят дополнительную ионизацию атомов инертного газа, тем самым увеличивая интенсивность ионной бомбардировки на поверхности катода, что приводит к увеличению скорости распыления.

2.2. Электрофизические свойства покрытий на основе нитрида титана [18]

Пленки из нитрида титана (TiN) с поликристаллическими структурами (111), (200) и (220) могут быть получены путем магнетронного распыления титановых мишеней в азотных и аргоновых средах, твердость 9,7-22,6 ГПа, упругая 153,2-395,7 ГПа

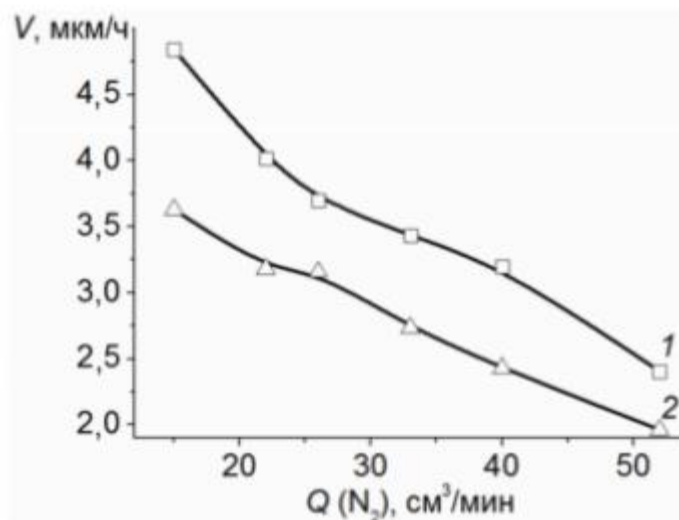


Рис.2.2 Влияние скорости потока азота на производительность процесса нанесения пленок TiN при различных d 1-100мм; 2-50мм

Таблица 1. Физические свойства TiN

Свойства	TiN
Удельное сопротивление, (мкОм·см)	40

Коэффициент теплового расширения, (К ⁻¹)	9,35·10 ⁻⁶
Параметры ячейки, (нм)	$a = 0,4235$ (ГЦК)
Модуль упругости, (ГПа)	251
Плотность, (г/см ³)	5,44

Толщина пленок покрытия составляла от 400 нм до 2 мкм. Покрытие циркониевого сплава пленкой TiN при магнетронном напылении толщиной 400-500 нм не влияет на величину термоэдс, равно значению для собственно циркониевого сплава, определяется только свойствами сплава и концентрацией водорода в сплаве циркония Zr1Nb. С увеличением толщины покрытия более 2 мкм величина термоэдс становится равной ее значению для чистого материала TiN без водорода. Это позволяет проводить измерения в слоистой среде, которую представляет изготавливаемый нами образец.

2.3. Расчет времени релаксации при переносе зарядов в цирконии

2.3.1. Основные уравнения для расчета времени релаксации

В состоянии термодинамического равновесия система водород-металл описывается функцией равновесного распределения $f_0(\vec{r}, \vec{k})$, где \vec{r} и \vec{k} , радиус-вектором и волновым вектором частиц, таких как протоны или электроны. Под действием внешнего электрического поля, генерируемого во время контакта и во время нагрева, функция распределения $f(\vec{r}, \vec{k}, t)$, изменяется, и состояние описывается неравновесной функцией распределения в зависимости от времени t . Выразим время релаксации τ . Время релаксации можно оценить по известной системе уравнений [19].

Под действием внешнего электрического поля, генерируемого во время контакта и во время нагрева, функция распределения изменяется, и состояние описывается неравновесной функцией распределения в зависимости от времени t . Выразим время релаксации τ . Время релаксации можно оценить по известной системе уравнений

В этом случае использовано динамическое уравнение Больцмана

$$(\bar{v}, \nabla_r f) + \frac{1}{\hbar_0} (\bar{F}, \nabla_k f) = \frac{f - f_0}{\tau}, \quad (1)$$

где \bar{F} - сила из-за наличия внешнего макроскопического зрения, $\bar{v} = (1/\hbar)\nabla_k E$. Обычно $E(\bar{k})$ – функция, описывающая состояние структуры энергетических зон кристалла металла с водородом, \bar{v} – скорость частицы (протона или электрона). Если вы также знаете природу внешней силы и $E(\bar{k})$, решение уравнения (1) позволяет нам найти стационарную неравновесную функцию распределения

Плотность тока из-за внешних воздействий (таких как нагрев или электрические поля)

$$\bar{j} = \frac{q}{4\pi} \int_{v_1} \bar{v} f(\bar{r}, \bar{k}) d\tau \quad (2)$$

В то же время интегрированы в районе Бриллюэна. Плотность потока энергии записывается так же:

$$\bar{W} = \frac{1}{4\pi} \int_{v_1} E \bar{v} f(\bar{r}, \bar{k}) d\tau \quad (3)$$

Поскольку в гидриде металла существуют различные типы частиц (протоны и электроны), необходимо суммировать ток и ток, генерируемые каждым типом частицы. Следовательно, уравнения (2) и (3) могут быть использованы для описания всех динамических явлений.

На данном этапе исследования наша задача состоит в тщательном изучении времени релаксации τ наводороженного циркония. Время релаксации позволяет примерно оценить частоту соударений электронов с решеткой металла.

2.3.2. Расчет времени релаксации заряда в наводороженном сплаве циркония

$$\text{div} \bar{j} = -\frac{\partial \rho}{\partial t} - \text{это закон сохранения заряда в дифференциальной форме} \quad (4)$$

$$\text{div} \bar{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0} - \text{это закон Гаусса} \quad (5)$$

$$\vec{j} = \sigma \vec{E} - \text{это закон Ома в дифференциальной форме (6)}$$

где \vec{j} - это вектор плотности тока (потока зарядов из наводороженной области образца циркония в ненаводороженную), \vec{E} - вектор напряженности электрического поля, которое создано зарядами (протонами), т.е. водородом, ρ - плотность зарядов (надо подумать, как определять) в наводороженной части циркония, σ - электропроводность циркония (справочное значение), ϵ_0 - диэлектрическая постоянная, t - время.[20-22]

С помощью уравнений (4), (5) и (6), мы можем описать уравнение:

$$\rho = C_1 e^{-\frac{\sigma}{\epsilon_0} t} \quad (7)$$

Пусть $\rho = e \rho_0$

То мы можем получить $t = \frac{\epsilon_0}{\sigma} \quad (8)$

В таблице 2-4 приведены расчеты по полученному уравнению (8) по известным литературным данным.

Таблица 2. Расчет времени релаксации для наводороженного циркония при различных концентрациях водорода для $T = 300 \text{ K}$ (по данным работы [23]).

№ п/п	$\sigma \times 10^{-6}$, Ом.м	Время, мкс	$\Omega \times 10^5$, с-1	C (H)
1.	1.45	6.1	1.6	1.664
2.	1.32	6.7	1.5	1.717
3.	1.33	6.66	1.5	1.749
4	1.36	6.48	1.54	1.76
5	1.50	5.92	1.7	1.77
6.	1.66	5.33	1.88	1.88
7.	1.83	4.8	2.07	1.95
8.	2.02	4.38	2.29	2.01

9.	2.60	3.4	2.94	2.05
10.	4.05	2.19	4.58	2.11
11.	2.35	3.77	2.65	0

Таблица 3. Расчет времени релаксации для наводороженного циркония при различных концентрациях водорода для $T = 77 \text{ K}$

№ п/п	Электропроводность 10^{-6} , Ом.м	Время, мкс	$\omega \cdot 10^5$, с $^{-1}$	C(H)
1.	2.03	4.35	2.3	1.664
2.	1.76	5.02	1.99	1.717
3.	1.76	5.01	1.99	1.749
4.	1.96	4.52	2.21	1.76
5.	2.11	4.19	2.39	1.77
6.	2.58	3.42	2.92	1.876
7.	3.01	2.94	3.4	1.95
8.	3.62	2.44	4.09	2.01
9.	5.18	1.71	5.85	2.05
10.	1.28	0.69	1.4	2.11
11.	1.60	0.54	1.86	0

Данные таблицы 3 свидетельствуют об изменении времени релаксации при низких температурах более чем в 10 раз по сравнению с комнатной температурой (табл. 2).

Таблица 4. Расчет времени релаксации для наводороженного циркония при различных концентрациях водорода для $T = 42 \text{ K}$

№ п/п	Проводимость * 10^{-6} , Ом.м	Время, мкс	$\Omega \cdot 10^5$, с-1	C (H)
1.	2.25	3.94	2.54	1.664
2.	1.91	4.64	2.12	1.717
3.	1.89	4.68	2.14	1.749
4.	2.11	4.19	2.38	1.76
5.	2.28	3.88	2.58	1.77
6.	2.96	2.99	3.34	1.876
7.	3.46	2.56	3.9	1.95
8.	4.39	2.02	4.96	2.01
9.	6.06	1.46	6.85	2.05
10.	23.2	0.38	26.32	2.11
11.	49.2	0.18	55.56	0

Из приведенных выше трех таблиц видно, что время релаксации различно, когда температура и концентрация водорода различны. Мы определяем времена релаксации при трех разных температурах.

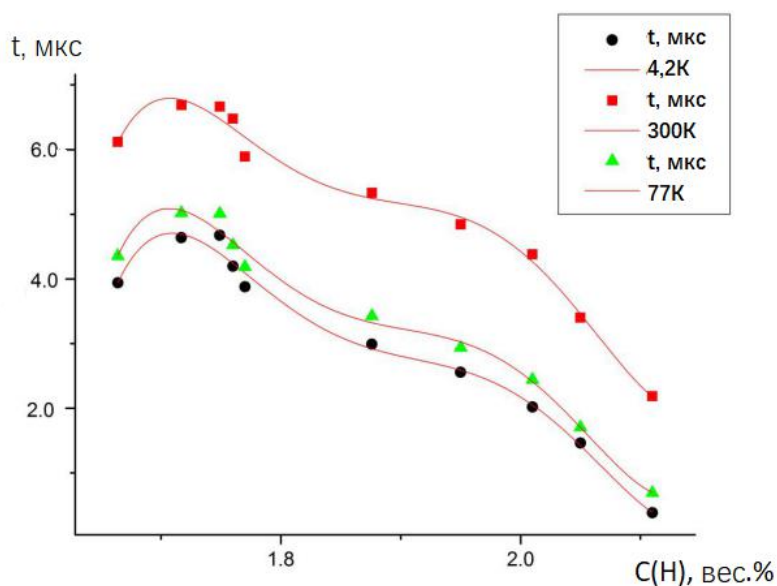


Рис. 2.3. Зависимость омического времени релаксации от концентрации водорода в цирконии при различных температурах (1- 4.2 К, 2 – 77 К, 3 – 300К, по данным [23])

Из рисунка 2.3 следует, что при той же концентрации водорода, чем выше температура, тем больше время релаксации. При той же температуре, чем выше концентрация водорода, тем меньше время релаксации.

Таблица 5. Зависимость удельного сопротивления наводороженного циркония от концентрации водорода при 300 К

№ п/п	Состав, ZrH	ρ , Ом.см* 10^6	%, весовые
1.	$ZrH_{1.54}$	69.1	1.688
2.	$ZrH_{1.59}$	75.6	1.743
3.	$ZrH_{1.62}$	75.3	1.776
4.	$ZrH_{1.63}$	73.2	1.786
5.	$ZrH_{1.64}$	66.6	1.798

6.	ZrH _{1.74}	60.2	1.907
7.	ZrH _{1.81}	54.7	1.984
8.	ZrH _{1.87}	49.5	2.050
9.	ZrH _{1.90}	38.4	2.083

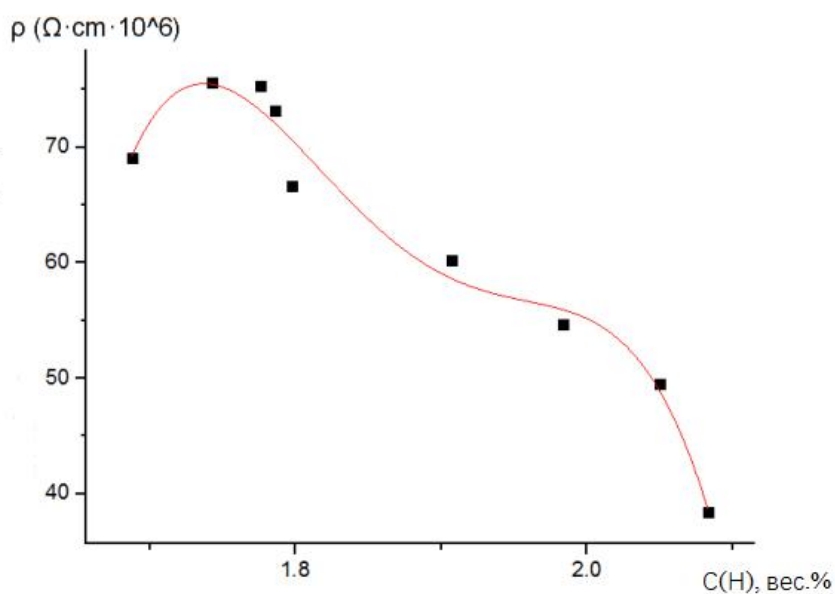


Рис. 2.4. Зависимость удельного сопротивления наводороженного циркония от концентрации водорода.

Из рисунка 2.4 следует что, чем выше концентрация водорода в пике, тем ниже проводимость сплава.

С помощью приведенных выше таблиц и рисунков мы можем сделать следующие выводы:

1. На основе анализа кинетического уравнения переноса Больцмана в качестве начального этапа исследования выделили расчет времени релаксации системы цирконий-водород.
2. Расчет времени релаксации основан на анализе сохранения заряда и корреляции между сопротивлением сплава циркония и концентрацией водорода.
3. Проведен анализ времени релаксации для различных концентраций водорода в циркониевом сплаве при различных температурах. Показано, что с

увеличением концентрации водорода в цирконии происходит уменьшение времени релаксации. Это связано с увеличением рассеяния зарядов (протонов и электронов) на дефектах, вызванных водородным насыщением.

4. Разработана схема наводороживания образцов циркония для исследования процесса миграции водорода.

2.4. Связь теплофизических и электрических свойств гидрированного циркония

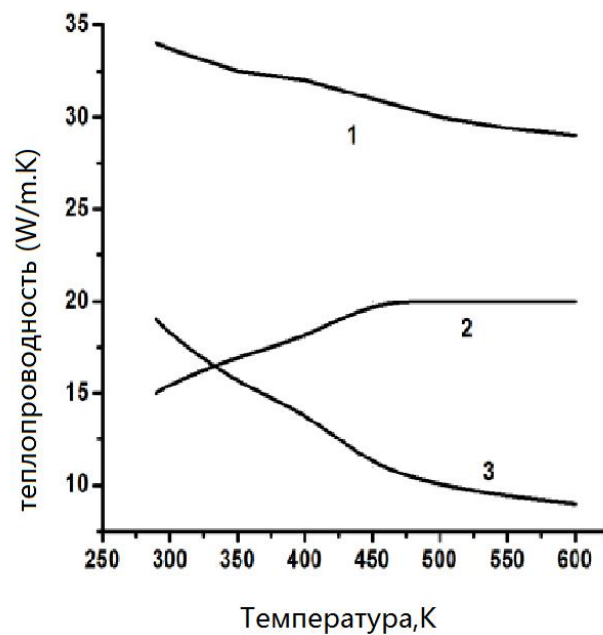


Рис. 2.5. Температурная зависимость теплопроводности для ϵ -ZrH_{1.84} (1- λ , 2 – λ_e , 3 – λ_p) (расчет)

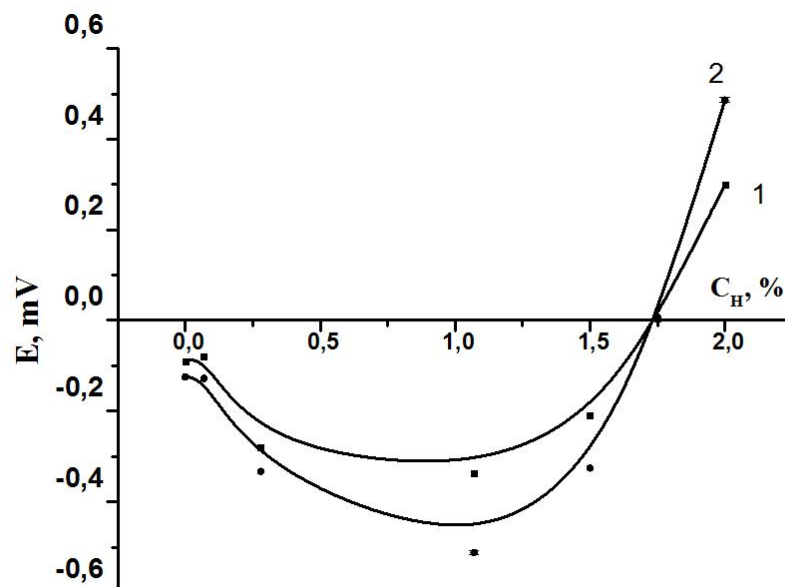


Рис. 2.6. Изотерма (1- $t = 50$ °C, 2 – $t = 60$ °C)

На рис. 2.6 приведена зависимость термоэдс от концентрации водорода в циркониевом сплаве. Как видно из рисунка возможна инверсия знака термоэдс. Известно, что зависимость удельной термоэдс E для металлов имеет довольно сложный характер и для переходных металлов, к которым относится исследуемый сплав циркония. В целом это необходимо учитывать при исследовании. В нашем случае использованы малые концентрации водорода в цирконии, поэтому инверсия величины термоэдс не наблюдалась. Полученные данные показывают различные вклады процесса рассеяния к проводимости циркониевого сплава, а следовательно, измеренный термоэдс.

Если изотермы используются при разных температурах, информационное значение измерения термоэлектрической мощности будет увеличиваться. На рисунке 1 показан пример. 2.6. Здесь изменения термоэлектрических знаков можно полностью отследить. Этот эффект зависит от двух причин: выбора материала зонда и концентрации водорода в сплаве. Последняя ситуация позволяет нам автоматизировать процесс контроля материала. Вон те. Можно определить критическое значение водорода в продукте и его соответствующее водородное охрупчивание. Оценочное значение влияния рассеяния проводящих электронов на дефектах на тепловую мощность можно определить по теплоемкости гидрида циркония. Также можно использовать коэффициент электронной теплоемкости $\gamma = 4,1 \cdot 10^{-3}$ Дж / моль / К для ϵ - $ZrH_{2.00}$ и закон Видемана – Франца [24].

3. Исследование свойств циркония, покрытого нитридом титана, методом термоэдс

3.1. Термоэдс слоистых сред (особенности измерения термоэдс слоистых сред)

Покрытие циркониевого сплава пленкой TiN при магнетронном напылении толщиной 400-500 нм не влияет на величину термоэдс, равно значению для собственно циркониевого сплава, определяется только свойствами сплава и концентрацией водорода в сплаве циркония $Zr1Nb$. С увеличением толщины

покрытия более 2 мкм величина термоэдс становится равной ее значению для TiN без водорода. По существу, изменение тепловой мощности происходит постепенно и увеличивается с увеличением толщины покрытия. Мы установили, что при данной величине толщины покрытия слоистая среда играет роль ограничителя для проникновения в сплав водорода и существенно не влияет на значение термоэдс в сравнительном анализе, в частности во временном масштабе. Таким образом данные измерения носят относительный характер и могут служить выявлению имеющихся тенденций в переносе водорода в цирконии.

3.2. Получение образцов циркония с неравномерным содержанием водорода начальный момент времени по разнице массы пластины до наводороживания

Использованы образцы следующих параметров. Длина образца составляла 100 мм, ширина 20 мм, толщина – 2 мм. Масса до наводороживания $m_1 = 26,5401g$, Масса после наводороживания $m_2 = 26,5809g$, Содержание водорода $\text{масса}\% = (m_2 - m_1) / m_1 = 0,15 \text{ масс.}\%$

На рисунках приведена модельная схемы потоков водорода для неоднородно наводороженной пластины циркония для различных способов покрытия пластины нитридом титана, который играет защитную роль.



Поток водорода из наводороженной области

Рис. 3.1. Схема процесса миграции (переноса) водорода в пластинке из циркониевого сплава: Н – ионы водорода, ρ – плотность (количество водорода на единицу объема)

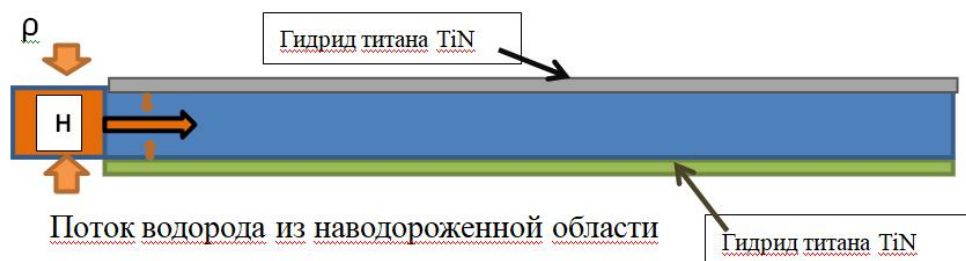


Рис. 3.2. Схема процесса миграции (переноса) водорода в пластинке из циркониевого сплава: Н – ионы водорода, ρ – плотность (количество водорода на единицу объема) при двустороннем наводороживании части пластины

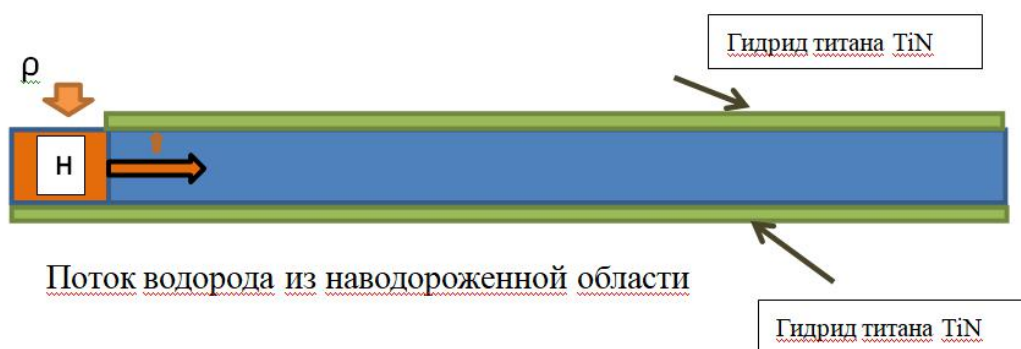


Рис. 3.3. Схема процесса миграции (переноса) водорода в пластинке из циркониевого сплава: Н – ионы водорода, ρ – плотность (количество водорода на единицу объема) при одностороннем наводороживании части пластины
Использование азиды титана TiN , напыленного на образец циркониевого сплава, позволяет насыщать водородом небольшую часть циркониевой пластины. После наводороживания процесс миграции водорода исследуется методом термоэдс[25].

3.3. Исследование зависимости термоэдс от координаты термозонда на поверхности образца циркониевого сплава

Процесс измерения проведен следующим образом. Зонд калибровали на пластинке из меди и сравнивали полученные значения с табличными. Все измерения проведенные в течение 2-х лет сведены в таблицы 6-12.

Таблица 6. Термоэдс при разных температурах для времени диффузии 2 часа (показаны координаты зонда от $X=1$ до $X=5$ см)

	X=1	X=1	X=3	X=3	X=5	X=5
T (K)	Es (нагр)	Es (охл)	Es (нагр)	Es (охл)	Es (нагр)	Es (охл)
293	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,008
298	0,014	0,011	0,008	0,008	0,012	0,015
303	0,036	0,026	0,028	0,020	0,027	0,030
308	0,054	0,038	0,050	0,035	0,040	0,043
313	0,065	0,060	0,060	0,044	0,050	0,044
318	0,090	0,080	0,070	0,056	0,065	0,046
323	0,110	0,110	0,087	0,072	0,076	0,062
328	0,128	0,127	0,098	0,086	0,088	0,079
333	0,145	0,145	0,108	0,102	0,098	0,083
338	0,160	0,167	0,124	0,120	0,113	0,096
343	0,173	0,180	0,135	0,134	0,123	0,110
348	0,190	0,198	0,143	0,140	0,134	0,116
353	0,204	0,215	0,149	0,144	0,138	0,128
358	0,217	0,223	0,155	0,148	0,143	0,133
363	0,229	0,229	0,160	0,160	0,148	0,148

Таблица 7. Термоэдс при разных температурах для времени диффузии 2 часа (показаны координаты зонда от X=7 и X=9 см)

	X=7	X=7	X=9	X=9
T (K)	Es (нагр)	Es (охл)	Es (нагр)	Es (охл)
293	0,008	0,008	0,006	0,008
298	0,005	0,010	0,018	0,010
303	0,019	0,018	0,034	0,030
308	0,030	0,025	0,047	0,040

313	0,040	0,044	0,066	0,050
318	0,047	0,040	0,088	0,054
323	0,056	0,048	0,106	0,068
328	0,065	0,054	0,120	0,096
333	0,072	0,070	0,134	0,110
338	0,079	0,080	0,155	0,128
343	0,087	0,081	0,165	0,138
348	0,096	0,086	0,177	0,155
353	0,102	0,094	0,185	0,170
358	0,108	0,101	0,196	0,185
363	0,113	0,113	0,207	0,207

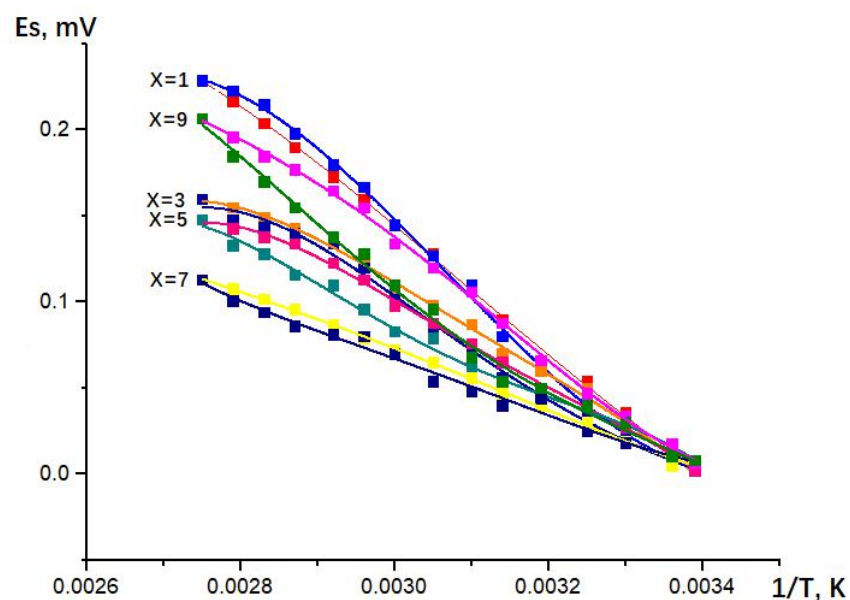


Рис. 3.4. Зависимость термоэдс от обратной температуры $1/T$ для времени диффузии 2 часа (показаны координаты зонда от $X=1$ до $X=9$ см)

Таблица 8. Термоэдс при разных температурах для времени диффузии 140 часов (показаны координаты зонда от $X=1$ до $X=5$ см)

	X=1	X=1	X=3	X=3	X=5	X=5
T (K)	Es (нагр)	Es (охл)	Es (нагр)	Es (охл)	Es (нагр)	Es (охл)
293	0,003	0,003	0,003		0,004	0,004
298	0,016	0,015	0,008	0,006	0,008	0,006
303	0,038	0,033	0,023	0,017	0,018	0,014
308	0,048	0,040	0,041	0,030	0,031	0,023
313	0,075	0,056	0,052	0,044	0,038	0,031
318	0,090	0,073	0,061	0,050	0,044	0,038
323	0,100	0,093	0,075	0,060	0,050	0,043
328	0,113	0,108	0,090	0,074	0,056	0,048
333	0,128	0,130	0,100	0,082	0,067	0,056
338	0,142	0,143	0,110	0,100	0,078	0,070
343	0,176	0,160	0,118	0,116	0,087	0,075
348	0,181	0,198	0,133	0,124	0,092	0,084
353	0,186	0,200	0,140	0,129	0,097	0,087
358	0,189	0,203	0,146	0,135	0,100	0,093
363	0,222	0,222	0,153	0,153	0,105	0,105

Таблица 9. Термоэдс при разных температурах для времени диффузии 140 часов (показаны координаты зонда от X=7 и X=9 см)

	X=7	X=7	X=9	X=9
T (K)	Es (нагр)	Es (охл)	Es (нагр)	Es (охл)
293	0,004	0,004	0,002	0,002
298	0,012	0,010	0,015	0,013
303	0,022	0,014	0,031	0,018
308	0,033	0,021	0,045	0,031
313	0,045	0,031	0,060	0,041

318	0,053	0,038	0,070	0,050
323	0,060	0,046	0,084	0,062
328	0,066	0,056	0,094	0,082
333	0,075	0,073	0,104	0,095
338	0,086	0,082	0,121	0,112
343	0,098	0,092	0,136	0,123
348	0,108	0,102	0,148	0,135
353	0,118	0,112	0,161	0,149
358	0,124	0,120	0,171	0,166
363	0,132	0,132	0,185	0,185

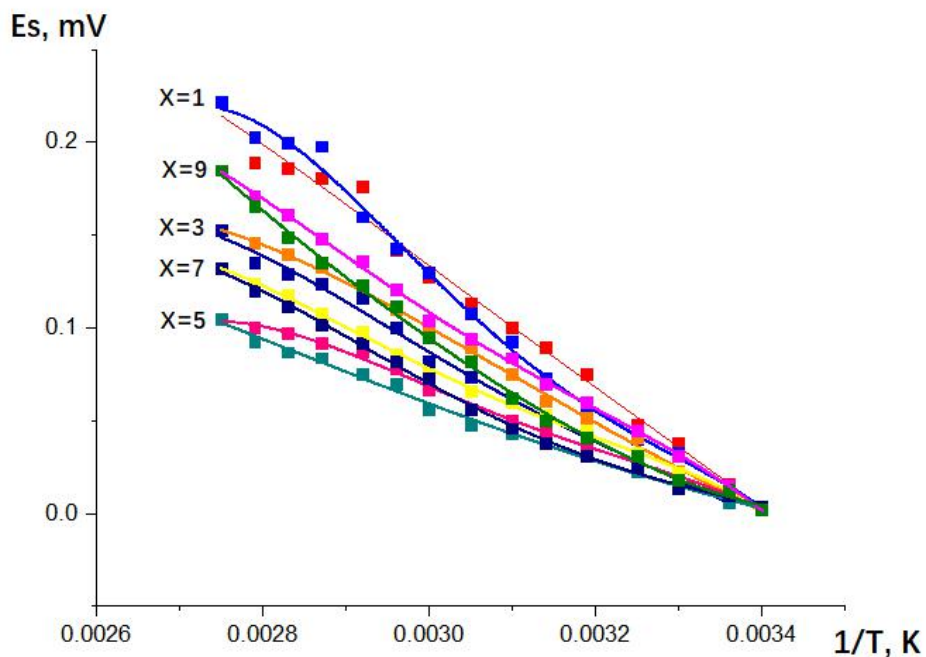


Рис. 3.5. Зависимость термоэдс от обратной температуры $1/T$ для времени диффузии 140 часов (показаны координаты зонда от $X=1$ до $X=9$ см)

Таблица 10. Термоэдс при разных температурах для времени диффузии 320 часов (показаны координаты зонда от $X=1$ до $X=5$ см)

	X=1	X=1	X=3	X=3	X=5	X=5
T	Es	Es	Es	Es	Es	Es

(К)	(нагр)	(охл)	(нагр)	(охл)	(нагр)	(охл)
293	0,003	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004
298	0,028	0,020	0,012	0,012	0,012	0,012
303	0,052	0,036	0,032	0,030	0,028	0,023
308	0,077	0,060	0,050	0,040	0,040	0,036
313	0,102	0,078	0,070	0,050	0,062	0,042
318	0,120	0,093	0,086	0,061	0,078	0,056
323	0,134	0,119	0,100	0,076	0,088	0,068
328	0,165	0,148	0,116	0,090	0,097	0,080
333	0,181	0,171	0,130	0,110	0,110	0,089
338	0,196	0,193	0,142	0,126	0,126	0,101
343	0,220	0,220	0,153	0,140	0,138	0,120
348	0,244	0,244	0,168	0,168	0,146	0,142
353	0,260	0,256	0,177	0,177	0,156	0,148
358	0,273	0,264	0,187	0,183	0,163	0,157
363	0,285	0,283	0,196	0,196	0,170	0,170

Таблица 11. Термоэдс при разных температурах для времени диффузии 320 часов (показаны координаты зонда от $X=7$ см и $X=9$ см)

	$X=7$	$X=7$	$X=9$	$X=9$
T (К)	E_s (нагр)	E_s (охл)	E_s (нагр)	E_s (охл)
293	0,004		0,004	0,004
298	0,007	0,006	0,018	0,018
303	0,020	0,016	0,038	0,023
308	0,031	0,020	0,058	0,032

313	0,040	0,030	0,073	0,053
318	0,048	0,040	0,100	0,073
323	0,055	0,048	0,118	0,085
328	0,061	0,055	0,134	0,100
333	0,073	0,058	0,148	0,130
338	0,083	0,063	0,163	0,146
343	0,091	0,072	0,182	0,160
348	0,097	0,080	0,202	0,167
353	0,102	0,093	0,218	0,191
358	0,108	0,103	0,228	0,210
363	0,112	0,110	0,240	0,240

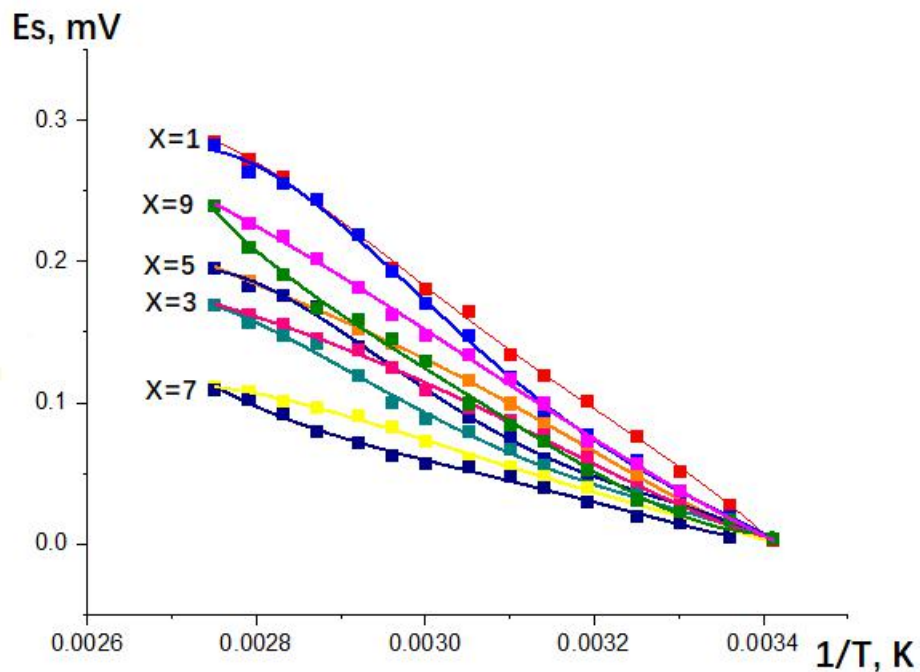


Рис.3.6. Зависимость термоэдс от обратной температуры $1/T$ для времени диффузии 320 часов (показаны координаты зонда от $X=1$ до $X=9$ см)

Таблица12. Термоэдс при разных температурах для времени диффузии 6000 часов.(показаны координаты зонда от $X=1$ до $X=5$ см)

	X=1	X=1	X=3	X=3	X=5	X=5
--	-----	-----	-----	-----	-----	-----

T (K)	Es (нагр)	Es (охл)	Es (нагр)	Es (охл)	Es (нагр)	Es (охл)
295	0,002	0,008	0,002	0,008	0,006	0,009
298	0,022	0,018	0,02	0,023	0,019	0,023
303	0,050	0,035	0,032	0,048	0,036	0,036
308	0,084	0,054	0,050	0,065	0,053	0,040
313	0,115	0,070	0,060	0,068	0,066	0,054
318	0,138	0,084	0,068	0,070	0,082	0,072
323	0,155	0,113	0,078	0,072	0,096	0,086
328	0,179	0,142	0,090	0,084	0,109	0,109
333	0,2	0,161	0,100	0,094	0,122	0,126
338	0,22	0,195	0,110	0,104	0,135	0,133
343	0,247	0,247	0,116	0,116	0,146	0,146

Таблица13. Термоэдс при разных температурах для времени диффузии 6000 часов(показаны координаты зонда от X=7 и X=9см)

	X=7	X=7	X=9	X=9
T (K)	Es (нагр)	Es (охл)	Es (нагр)	Es (охл)
295	0,003	0,003	0,007	0,011
298	0,013	0,013	0,030	0,034
303	0,021	0,020	0,062	0,042
308	0,030	0,030	0,085	0,060
313	0,040	0,036	0,105	0,080
318	0,050	0,042	0,118	0,110

323	0,058	0,056	0,145	0,135
328	0,062	0,067	0,163	0,156
333	0,072	0,072	0,176	0,170
338	0,082	0,078	0,200	0,192
343	0,085	0,085	0,214	0,200

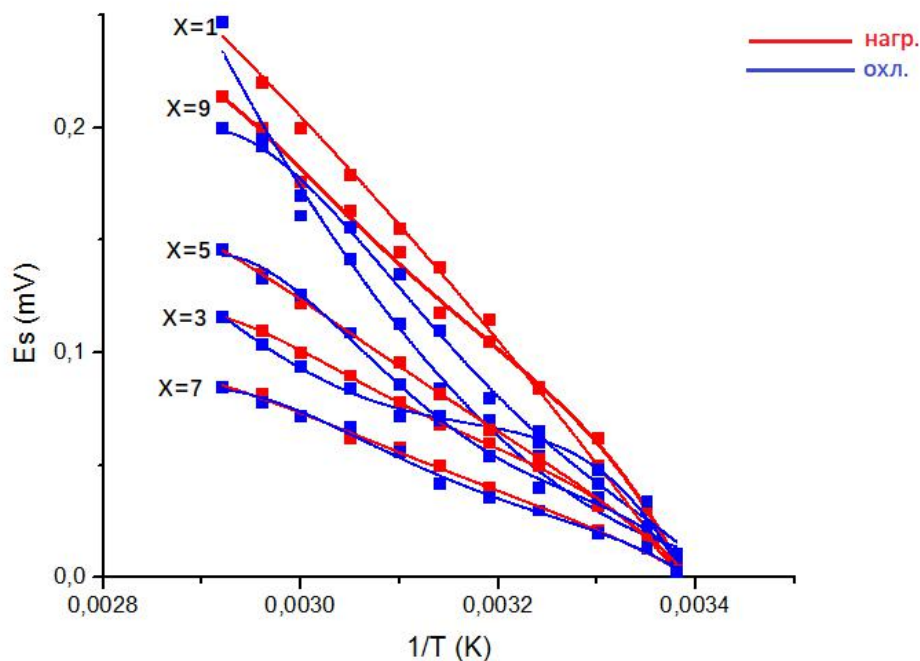


Рис.3.7 Зависимость термоэдс от обратной температуры $1/T$ для времени диффузии 6000 часов (показаны координаты зонда от $X=1$ до $X=9$ см)

Цифры у кривых соответствуют координате зонда в см. Как видно по углу наклона кривых наибольшее значение энергии активации соответствует наводороженной части образца. В то же время наблюдается инверсия ее величины для разных координат положения зонда. Например, наименьшая энергия активации соответствует координате $X=7$ см. В то же время для координаты $X=3$ см можно выделить две области для низких температур зонда и для повышенных. С увеличением температуры уменьшается энергия активации проводимости электронов металла. Возможно, это связано с уменьшением теплоотдачи образца.

В диапазоне температур, в котором проводимость изменяется по закону активации, экспериментальная температурная зависимость термоэлектрической мощности в таких системах выражается следующим выражением[26]:

$$E = -\frac{k_B}{e} \left(\frac{E_s}{kT} + A \right) \quad (9)$$

где e - модуль электрического заряда, k_B — постоянная Больцмана A -кинетический коэффициент, не зависящий от температуры, E_s – энергия активации проводимости электронов материала. Он может быть использован для анализа содержания водорода в сплавах, также как и процесс миграции водорода в сплаве.

Тангенс угла наклона $\Delta E/\Delta(1/T)$ касательных к кривым (рис. 3.4 - 3.7) определяет величину E_s эффективной энергии активации электронов материала (формула (9)).

Изменение термоэдс происходит в диапазоне до 0.33 мВ. Изменение тангенса угла наклона составляет до 3 раз в зависимости от времени процесса миграции. Величина E_s эффективной энергии активации электронов изменяется от 0.12 мВ/К до 0.34мВ/К. Это свидетельствует о перераспределении зарядовой плотности по мере процесса миграции водорода в циркониевом сплаве.

3.4. Исследование зависимости термоэдс от времени

Мы измерили термоэдс в различных координатах образца при одинаковой температуре и построили следующие графики.

Таблица 14. Зависимость термоэдс от координаты термозонда (время диффузии составляет 2 часа)

	T=308K	T=318K	T=328K	T=338K	T=338K
X(см)	Es(mV)	Es(mV)	Es(mV)	Es(mV)	Es(mV)
1	0,054	0,09	0,128	0,16	0,19

3	0,005	0,04	0,098	0,124	0,143
5	0,04	0,065	0,0,88	0,113	0,134
7	0,03	0,047	0,065	0,079	0,096
9	0,047	0,088	0,12	0,155	0,177

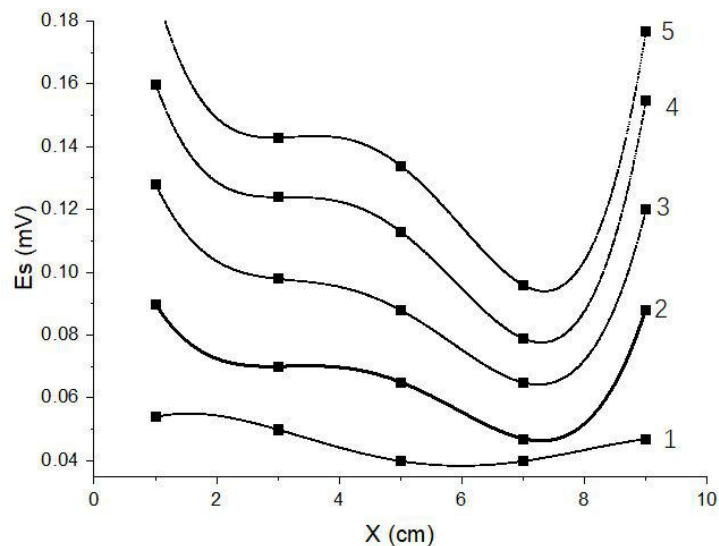


Рис. 3.8. Зависимость термоэдс от координаты термозонда на поверхности образца (время диффузии 2 часа), где 1 - $T = 308 \text{ K}$, 2 - $T = 318 \text{ K}$, 3 - $T = 328 \text{ K}$, 4 - $T = 338 \text{ K}$, 5 - $T = 348 \text{ K}$.

Таблица 15. Зависимость термоэдс от координаты термозонда(время диффузии составляет 140 часов)

	$T=308\text{k}$	$T=318\text{K}$	$T=328\text{K}$	$T=338\text{K}$	$T=348\text{K}$
$X(\text{cm})$	$E_s(\text{mV})$	$E_s(\text{mV})$	$E_s(\text{mV})$	$E_s(\text{mV})$	$E_s(\text{mV})$
1	0,048	0,09	0,113	0,142	0,181
3	0,041	0,06	0,09	0,11	0,133
5	0,031	0,044	0,056	0,078	0,092
7	0,033	0,053	0,066	0,086	0,108
9	0,045	0,07	0,94	0,121	0,148

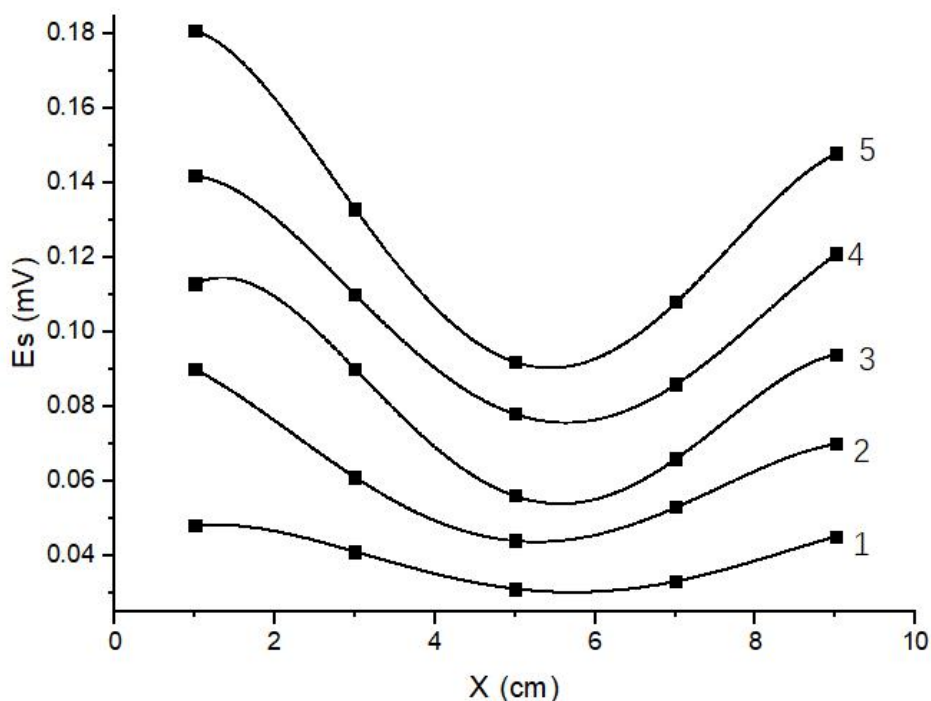


Рис. 3.9. Зависимость термоэдс от координаты термозонда на поверхности образца (время диффузии 140 часов), где 1 - $T = 308 \text{ K}$, 2 - $T = 318 \text{ K}$, 3 - $T = 328 \text{ K}$, 4 - $T = 338 \text{ K}$, 5 - $T = 348 \text{ K}$

Таблица 16. Зависимость термоэдс от координаты термозонда (время диффузии составляет 208 часов)

	$T=308\text{k}$	$T=318\text{K}$	$T=328\text{K}$	$T=338\text{K}$	$T=348\text{K}$
X(см)	Es(mV)	Es(mV)	Es(mV)	Es(mV)	Es(mV)
1	0,052	0,081	0,102	0,137	0,158
3	0,05	0,065	0,09	0,104	0,127
5	0,047	0,068	0,098	0,124	0,156
7	0,028	0,045	0,061	0,078	0,088
9	0,055	0,085	0,108	0,144	0,172

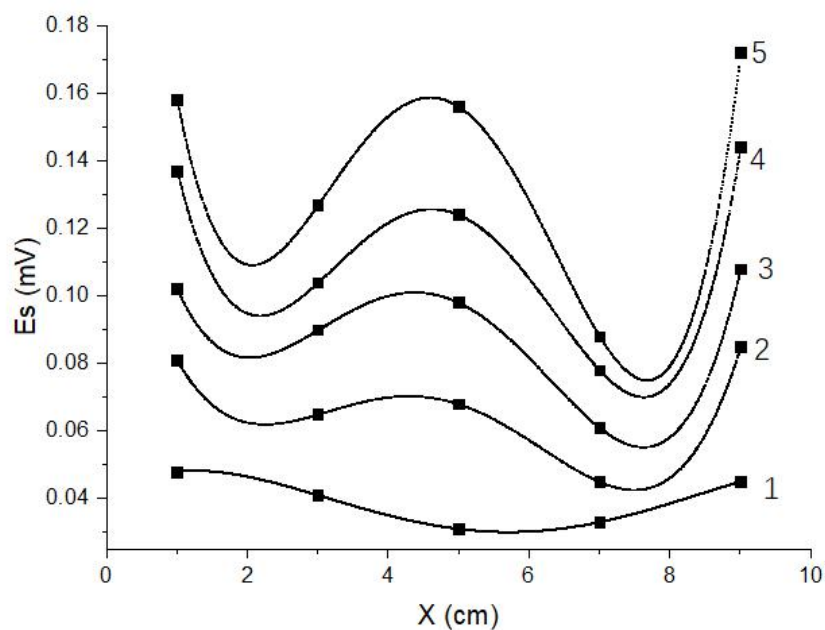


Рис. 3.10. Зависимость термоэдс от координаты термозонда на поверхности образца (время диффузии 208 часов), где 1 - $T = 308 \text{ K}$, 2 - $T = 318 \text{ K}$, 3 - $T = 328 \text{ K}$, 4 - $T = 338 \text{ K}$, 5 - $T = 348 \text{ K}$

Таблица 17. Зависимость термоэдс от координаты термозонда (время диффузии составляет 320 часов)

	$T=308\text{k}$	$T=318\text{K}$	$T=328\text{K}$	$T=338\text{K}$	$T=348\text{K}$
$X(\text{cm})$	$E_s(\text{mV})$	$E_s(\text{mV})$	$E_s(\text{mV})$	$E_s(\text{mV})$	$E_s(\text{mV})$
1	0,77	0,12	0,165	0,196	0,244
3	005	0,086	0,116	0,142	0,168
5	0,04	0,078	0,097	0,126	0,146
7	0,031	0,048	0,061	0,083	0,097
9	0,058	0,1	0,134	0,163	0,202

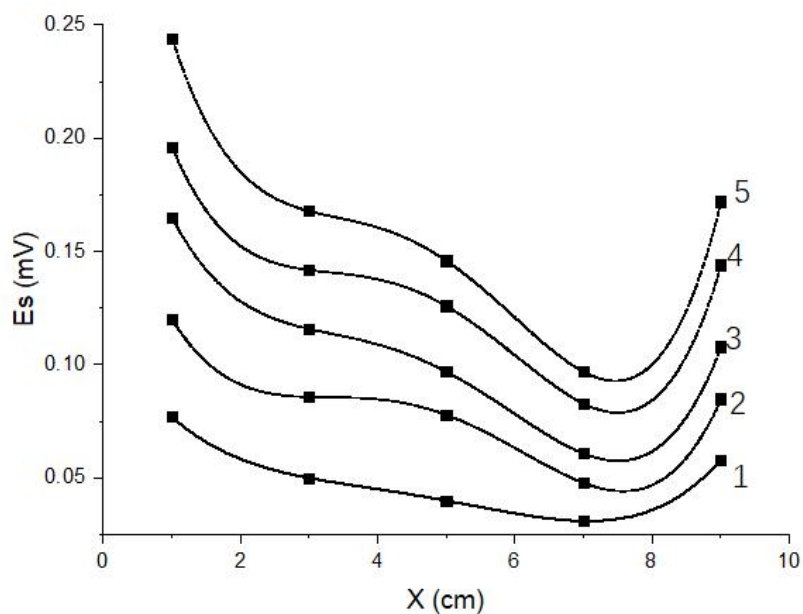


Рис. 3.11. Зависимость термоэдс от координаты термозонда на поверхности образца (время диффузии 320 часов), где 1 - $T = 308$ К, 2 - $T = 318$ К, 3 - $T = 328$ К, 4 - $T = 338$ К, 5 - $T = 348$ К

Таблица 18. Зависимость термоэдс от координаты термозонда (время диффузии составляет 6000 часов)

	$T=303K$	$T=313K$	$T=323K$	$T=333K$	$T=343K$
$X(см)$	$E_s(mV)$	$E_s(mV)$	$E_s(mV)$	$E_s(mV)$	$E_s(mV)$
1	0,05	0,115	0,155	0,2	0,247
3	0,032	0,06	0,078	0,1	0,116
5	0,036	0,066	0,096	0,122	0,146
7	0,021	0,04	0,058	0,072	0,085
9	0,062	0,105	0,145	0,176	0,214

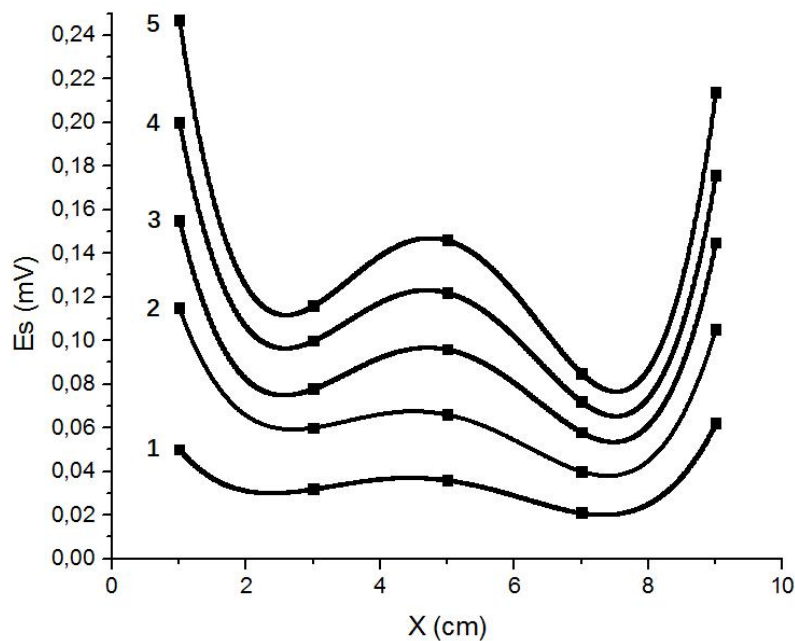


Рис. 3.12. Зависимость термоэдс от координаты термозонда на поверхности образца (время диффузии 140 часов), где 1 - $T = 303 \text{ K}$, 2 - $T = 313 \text{ K}$, 3 - $T = 323 \text{ K}$, 4 - $T = 333 \text{ K}$, 5 - $T = 343 \text{ K}$

Крайние точки ($X=1\text{cm}$ и $X=9 \text{ cm}$) имеют почти одинаковые значения. Это говорит о том, что водород (протоны) распределился по краям образца. Возможно имеет место протонная проводимость.

4. Расчет коэффициентов диффузии водорода в цирконии

4.1. Теоретическая модель определения коэффициента диффузии

Из термодинамического соотношения необратимого процесса видно, что при наличии градиента концентрации водорода на образце может наблюдаться так называемая диффузионная электродвижущая сила, пропорциональная градиенту. Его значение можно определить по следующей формуле[27-31]

$$\Delta\varphi_E = -\rho Z^* e D \Delta N_h \quad (10)$$

где D - коэффициент диффузии водорода в металле, Z^* - эффективный заряд атомов водорода, e - заряд электрона, $\Delta\varphi_E$ - разность потенциалов, ρ - удельное электросопротивление, ΔN_H - перепад концентрации атомов водорода между точками измерения термоэдс. Из уравнения (11) следует величина коэффициента диффузии водорода в гидриде:

$$D = \frac{\Delta\varphi_E}{\rho Z^* e \Delta N_H} \quad (11)$$

Расчет коэффициентов диффузии по уравнению (11) дает следующие значения $D =$, которые примерно соответствуют литературным данным

Таблица 19. Значения коэффициента диффузии водорода в α -цирконии по методу химического травления [32]

D.10 ⁹ , см ² /с				
№ п/п	Диффузия из тонкого слоя	Диффузия из среды	Тип циркония	Температура, К
1.	18-19	15.5-17	α -цирконий	323-343
2.	9.3-10.3	37-49	α -цирконий	313-323

Из других литературных данных [33] значение коэффициента диффузии равно $(8.2-11.9) \cdot 10^{-9}$ см²/с.

Значение коэффициента диффузии водорода в нашем случае равно $D = 10.18 \cdot 10^{-9}$ см²/с.

Таким образом эта величина соответствует литературным данным, но получена методом неразрушающего контроля и пригодна для использования анализ полупромышленного масштаба. В то время как значения, приведенные в таблице 19, получены методом химического послойного травления образцов, т.е. применимы для лабораторных условий.

4.2. Обсуждение графиков и результатов экспериментальных исследований миграции водорода в циркониевом сплаве

Обычно учитывается энергетическая и температурная зависимость времени релаксации $\tau(E, T)$ и закон Видемана – Франца для оценки электропроводности наводороженного циркония

$$\lambda_e^{ZrHx} = L_e^{ZrHx} \cdot \sigma_{ZrHx} \cdot T \quad (12)$$

где σ_{ZrH_x} и $L_e^{\text{ZrH}_x}$ – электропроводность и коэффициент Лоренца электронной проводимости $\epsilon\text{-ZrH}_x$. Величина $L_e^{\text{ZrH}^{(D)x}}$ равная $(\pi^2 / 3) (k_B / e) = 2.245 \times 10^{-8}$ [W · Ω / K²] и не зависит от температуры и концентрации водорода, k_B и e – постоянная Больцмана и элементарный электрический заряд. Электропроводность $\epsilon\text{-ZrH}_x$ можно вычислить с помощью фононной проводимости ($\lambda_p^{\text{ZrH}_x}$) путем вычитания $\lambda_e^{\text{ZrH}_x}$ из λ^{ZrH_x} . Зависимости представлены на рис. 4.1 и 4.2, из которых следует, что фононы и электроны играют большую роль в электропроводности при температурах около 300 и 600 К соответственно.

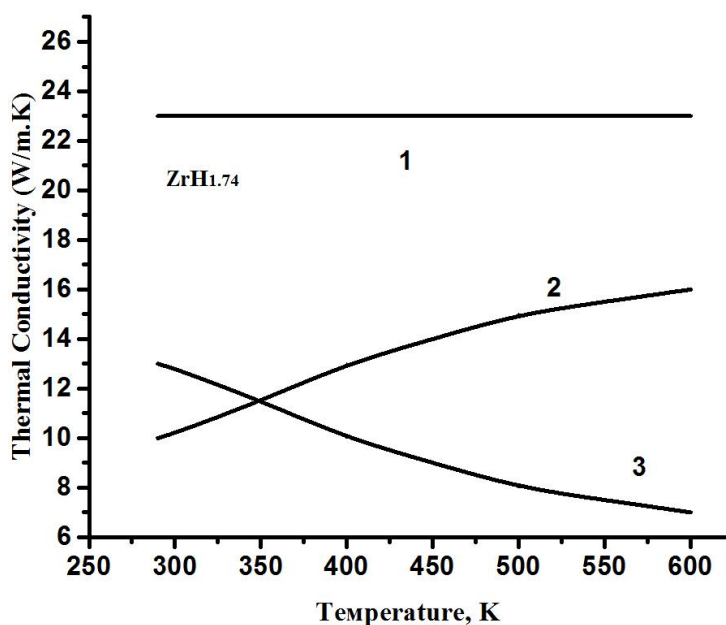


Рис. 4,1. Температурная зависимость теплопроводности для $\epsilon\text{-ZrH}_{1.74}$ (1- λ , 2 – λ_e , 3 – λ_p)

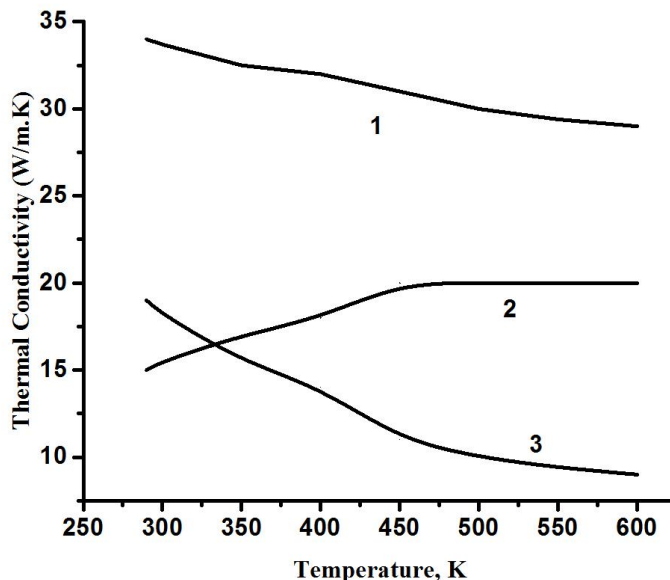


Рис. 4,2. Температурная зависимость теплопроводности для $\epsilon\text{-ZrH}_{1.84}$ (1- λ , 2 – λ_e , 3 – λ_p) (расчет)

Полученные данные показывают различные вклады процесса рассеяния в проводимость циркониевого сплава, а следовательно, и в измеренную термоэлектрическую мощность.

Заключение. Выводы

1. На основе анализа кинетического уравнения переноса Больцмана в качестве начального этапа исследования выделили расчет времени релаксации зарядов в системе цирконий-водород.
2. Расчет времени релаксации основан на анализе сохранения заряда и корреляции между сопротивлением сплава циркония и концентрацией водорода.
3. Проведен анализ времени релаксации для различных концентраций водорода в циркониевом сплаве при различных температурах. Показано, что с увеличением концентрации водорода в цирконии происходит уменьшение времени релаксации. Это связано с увеличением рассеяния зарядов (протонов и электронов) на дефектах, вызванных водородным насыщением.
4. Время релаксации электрического заряда, рассчитанное по электро- и теплопроводности наводороженного металла, позволяет применять метод измерения для фиксации более коротких промежутков времени изменения концентрации водорода в металле.
5. Проведен литературный обзор по методам наводороживания циркония. Проведен литературный обзор по методам определения процессов переноса водорода в металлах. Разработана установка для исследования процесса миграции водорода в сплаве циркония при его насыщении водородом. Предложена схема подготовки неоднородного наводороживания образца из циркония Э110 методом напыления задерживающего слоя для проникновения водорода.
6. Установлено, что равные (одинаковые) значения термоэдс на концах пластины из циркония, насыщенной водородом, могут свидетельствовать о протонном механизме переноса заряда при наводороживании. Результаты показывают, что процесс миграции водорода в титановом спле можно судить по термоэлектрическим координатам и изменению времени.
7. Показана возможность осуществления контроля процесса наводороживания в системе слоистая среда Zr-TiN.
8. Изменение термоэдс во времени и координате свидетельствует об изменении концентрации водорода в сплаве циркония Э110.

9. Предложенный метод исследования процесса переноса водорода в сплаве циркония носит универсальный характер и может быть использован для исследования свойств различных металлов.

10. Значения энергии активации проводимости и ширина петли температурного гистерезиса являются эффективными параметрами контроля наводороженности исследуемого материала.

11. Величина E_s эффективной энергии активации электронов изменяется от 0.12 мВ/К до 0.34 мВ/К. Это свидетельствует о перераспределении зарядовой плотности по мере процесса миграции водорода в циркониевом сплаве.

Список литературы

1. Zuev Y.M., Chang W., Kim P. Thermoelectric and magnetothermoelectric transport measurements of graphene // *Physical review letters*. – 2009. – Vol. 102 (9). – P. 096807.
2. Sankeshwar, N. S., Kubakaddi, S. S., & Mulimani, B. G. Thermoelectric Power in Graphene // *Advances in Graphene Science*. – 2013. – P.217-271.
3. Большая Советская энциклопедия. 3-е изд.–М.: Советская энциклопедия,1969-1978. – bsc. (дата обращения: 02.08.2010).
4. Займан Дж., Электроны и фононы, пер. с англ., М., 1962; Косевич А. М., Основы механики кристаллической решетки, М., 1972;
5. Рейсленд Дж., Физика фононов, пер. с англ., М., 1975.
6. Черняева Т.П., Остапов А.В. Водород в цирконии // *Вопросы атомной науки и техники*. – 2013. - №5. –С.16-32.
7. Иванова С.В. Воздействие водорода на циркониевые сплавы для реакторов на тепловых нейтронах: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук : спец. 01.04.07 , Москва,
8. Калинин Б.А., Шмаков А.А.. Поведение водорода в реакторных сплавах циркония // *Материаловедение*. – 2005. - №10. – С.50-56
9. Агеев В.Н., Берман И.Н., Бурмистров О.П. и др. Взаимодействие водорода с металлами / под ред. А.П. Захарова. – М.: Наука, 1987. – 296 с.
10. Cohen B.L., Fink C.L., Degnan J.H. *J.App. Phys.* 1972, V.43.N1.P.19-25
11. Андриевский Р.А. *Материаловедение гидридов*. М: Металлургия, 1986. – 128 с
12. Черданцев Ю.П., Чернов И.П., Тюрин Ю.И.. *Методы исследования систем металл-водород: учебное пособие*. – Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – 286 с.
13. Реми Г. *Курс неорганической химии*. М: Мир, – 1972. Т. 1(2). – 824 с. 116
14. Мартыненко Ю.В. Взаимодействие плазмы с поверхностями // *Итоги науки и техники. Сер. Физика плазмы*, 1982. – Т. 3. – С. 119 – 175.
15. Мартыненко Ю.В., Рязанов А.И., Фирсов О.Б., Явлинский Ю.Н. Взаимодействие атомных частиц с твердым телом // *Вопросы теории физики плазмы*. 1983. – Вып. 42. – С. 205 – 266.

16. Кудияров В.Н., Лидер А.М. physical and mathematical sciences изучение процессов сорбции и десорбции водорода при помощи автоматизированного комплекса Gas Reaction Controller LP №10, 2013 г. 3467с
17. Blach T.P., Grey E. MacA. Sieverts apparatus and methodology for accurate determination of hydrogen uptake by light-atom hosts // Journal of alloys and Compounds. – 2007. – V. 446-447. – P. 692 –697
18. Evard E.A., Gabis I.E. A. P. Voyt. Study of the kinetics of hydrogen sorption and desorption from titanium // Journal of Alloys and Compounds, 2005. – V. 404 – P. 335 – 338.
19. Zuev, Y. Thermoelectric and magnetothermoelectric transport measurements of graphene [Text] / Zuev Y.M., Chang W., Kim P. // Physical review letters. – 2009. – Vol. 102 (9). – P. 096807.
20. Рожнов А.Б., Белов В.А., Никулин С.А., Ханжин В.Г. Коррозионное растрескивание под напряжением циркониевых труб // Деформация и разрушение материалов. 2009. № 6. С. 44–48.
21. Никулин С.А., Рожнов А.Б., Бабукин А.В. и др. Структура и сопротивление разрушению циркониевых сплавов для атомной энергетики // Материаловедение и термическая обработка металлов. 2005. № 5. С. 8–17.
22. Займовский А.С., Никулина А.В., Решетников Н.Г. Циркониевые сплавы в ядерной энергетике. М: Энергоатомиздат, 1994. – 256 с.
23. William M. Mueller, James P. Blackledge, George G. Libowitz. Metal Hydrides. London-New York, 1968. С. 282, 309.
24. Akatsu, T., Kato T., Shinoda Y., F. Wakai. Thermal barrier coating made of porous zirconium oxide on a nickel-based single crystal superalloy formed by plasma electrolytic oxidation. Surface and Coating Technology. 2013. V. 223. P. 47-51.
25. J. J Kearns Diffusion coefficient of hydrogen in alpha zirconium, Zircaloy-2 and Zircaloy-4 Journal of Nuclear Materials Volume 43, Issue 3, June 1972, Pages 330-338.
26. Ларионов В.В., Лидер А.М. Влияние водорода на проводимость титана в условиях облучения электронами // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2014.– Т. 57.– № 11-2. – С. 124–128

27. Übeyli M., Acir A. Utilization of thorium in a high power density hybrid reactor with innovative coolants. *Energy Conversion and Management*. 2007. Vol. 48. no 2. P. 576–582.
28. Puls M.P. The Effect of Hydrogen and Hydrides on the Integrity of Zirconium Alloy Components. Springer-Verlag London. 2012: P. 1–5. DOI: 10.1007/978-1-4471-4195-2.
29. Захарова А.П. Взаимодействие водорода с металлами. М.: Наука. 1987. 296 с.
30. Kudiyarov V.N., Gulidova L.V., Pushilina N.S., Lider A.M. Application of automated complex Gas Reaction Controller for hydrogen storage materials investigation. *Adv. Mater. Res.* 2013. Vol. 740. P. 690–693.
31. Ларионов В.В., Лисичко Е.В., Лидер А.М. Исследование модификации свойств наводороженных металлов вихретоковым методом // Вестник Челябинского государственного педагогического университета. 2012. № 6. С. 268–276.
32. Барышева Т.В., Анисимова И.А., Гуськова Е.И., Ермолова М.И. Диффузия водорода в титановых и циркониевых сплавах . – ВИАМ/1977. – 197481.
33. Mallet M., Albrecht W. – *J. of the Electrochemical Society*. – 1957. – V. 104. – N 3.- P. 142

5. Финансовый менеджмент, ресурсосбережение и ресурсоэффективность

В процессе поиска источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов, оценка коммерческой ценности работы является необходимым условием. При этом разработчики должны представить настоящее состояние и перспективы проводимых ими научных исследований.

Помимо превышения технических параметров над предыдущими разработками необходимо понимать коммерческую привлекательность научного исследования.

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является проектирование и создание конкурента способных разработок, технологий, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- оценить коммерческий потенциал и перспективность проведения научных исследований;
- провести SWOT-анализ для выявления сильных и слабых сторон проекта;
- произвести планирование научно-исследовательских работ;
- определить бюджет научного проекта;
- определить ресурсоэффективность проекта.

На данный момент этот раздел считается один из значимых в современном проектировании каких либо отраслях, т.к. оборудование рассматривается не только исходя из их рабочих характеристик, но и по экономической оценки, выбирается наиболее выгодный вариант.

5.1 Анализ конкурентоспособности

Целесообразно проводить анализ конкурентных технических решений с помощью оценочной карты, которая приведена в таблице 3.1. Для этого необходимо отобрать не менее трех-четырех конкурентных товаров и разработок. Оценка будет происходить по 5-ти бальной шкале, где 5 – наиболее

сильная, а 1 – наиболее слабая позиция. Вес показателей в сумме должны составлять 1.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

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

Где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Таблица 5.1 – 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	0,05	4	4	4	0,2	0,2	0,2
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,1	4	4	4	0,4	0,4	0,4
3. Помехоустойчивость	0,05	5	5	4	0,25	0,25	0,2
4. Энергоэкономичность	0,05	5	4	5	0,25	0,2	0,25
5. Надежность	0,1	4	5	3	0,4	0,5	0,3
6. Уровень шума	0,05	4	3	4	0,2	0,15	0,2
7. Безопасность	0,1	4	5	5	0,4	0,5	0,5
8. Потребность в ресурсах памяти	0,05	5	2	5	0,25	0,1	0,25
9. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,05	5	4	3	0,25	0,2	0,15
10. Простота эксплуатации	0,05	3	4	5	0,15	0,2	0,25
11. Качество интеллектуального интерфейса	0	4	4	4	0	0	0
12. Ремонтопригодность	0,05	3	4	4	0,15	0,2	0,2
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0	4	5	4	0	0	0
2. Уровень проникновения на рынок	0	4	4	4	0	0	0
3. Цена	0,05	4	4	3	0,2	0,2	0,15
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	3	4	5	0,3	0,4	0,5
5. Послепродажное обслуживание	0	1	1	1	0	0	0
6. Финансирование научной разработки	0,1	5	3	3	0,5	0,3	0,3
7. Срок выхода на рынок	0	1	4	4	0	0	0
8. Наличие сертификации разработки	0,05	3	4	2	0,15	0,2	0,1

По результатам оценки качества и перспективности делается вывод об объемах инвестирования в текущую разработку и направлениях ее дальнейшего улучшения.

Итогом данного анализа, приведенного в оценочной карте сравнения конкурентных технических решений (разработок), следует, что исследование содержания водорода в титане электрическими методами превосходит своих конкурентов по многим критериям, в частности, как удобство в эксплуатации, энергоэкономичность, безопасность, простота эксплуатации и т.д. Экономические критерии оценки эффективности также превосходят своих конкурентов по многим факторам.

5.2 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. С помощью SWOT-анализа возможно определить внутренние сильные и слабые стороны проекта, что позволяет оптимальным образом оценить его преимущества и недостатки. Кроме того, по своей структуре, SWOT-анализ позволяет сформулировать внешние факторы, влияющие на развитие проекта.

Возможности представляют собой предпочтительные ситуации в настоящем и в будущем, возникающие в окружающей среде проекта. В противовес возможностям определяются угрозы, представляющие нежелательную ситуацию в окружающей среде проекта, способствующую его разрушению или препятствующую развитию.

Пересечения внутренних и внешних факторов позволяют определить основные исходы их сочетания, а также продемонстрировать корреляцию тех или иных внутренних факторов с различными условиями внешней, для проекта, среды. В таблице 5.2 представлены основные факторы, которые целесообразно учитывать в SWOT-анализе данного исследования:

Таблица 5.2 – Матрица SWOT-анализа

	<p align="center">Сильные стороны научно исследовательского проекта:</p> <p>C1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии.</p> <p>C2. Быстрый анализ полученных данных.</p> <p>C3. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями.</p> <p>C4. Легкий интерфейс управления.</p> <p>C5. Безопасность проведения исследований.</p>	<p align="center">Слабые стороны научно исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Проведение исследований исключительно при комнатной температуре.</p> <p>Сл2. Предварительная подготовка экспериментальных образцов перед исследованием.</p> <p>Сл3. Низкий уровень проникновения на рынок.</p> <p>Сл4. Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца.</p> <p>Сл5. Длительный срок поставок материалов (образцов) для проведения научного исследования.</p>
<p>Возможности:</p> <p>V1. Быстрая оценка защитных покрытий для дальнейшего исследования.</p> <p>V2. Решение фундаментальных задач исследования.</p> <p>V3. Появление дополнительного спроса на новый продукт.</p> <p>V4. Исследования коррозионных свойств металлов.</p> <p>V5. Повышение стоимости конкурентных разработок.</p>	<p>Заявленная повышенная экономичность, энергоэффективность и безопасность проекта способствует появлению дополнительного спроса на данный продукт. Также быстрый анализ полученных экспериментальных данных повлечет дополнительное решение фундаментальных задач исследования.</p>	<p>Проведение исследований исключительно при комнатных температурах способствует повышению стоимости конкурентных разработок.</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Несвоевременное финансирование научного исследования при дальнейшем развитии проекта.</p> <p>У2. Развитая конкуренция технологий производства.</p> <p>У3. Ограничения на экспорт технологии.</p> <p>У4. Введение дополнительных государственных требований к сертификации продукции.</p> <p>У5. Изменение спецификаций и стандартов на поставку экспериментальных металлических образцов запрещенного типа.</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>Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца будет являться неотъемлемым фактором, представляющим собой барьер для экспорта технологии. Также низкий уровень проникновения на рынок способствует несвоевременному финансированию научного исследования при дальнейшем развитии проекта.</p>

Из таблицы, Поле СИВ показывает, необходимо использовать заявленная экономичность и энергоэффективность технологии, чтобы получить отдачу от возможностей во внешней среде. Поле СЛВ показывает, за счет проведения

исследований исключительно при комнатных температурах, внешней среды организация сможет преодолеть имеющиеся слабости. Поле СИУ показывает, необходимо использовать более низкую стоимости производства по сравнению с другими технологиями организации для устранения угроз. Поле СЛУ показывает, необходимо избавиться от отсутствия оборудования для проведения испытания опытного образца, чтобы попытаться предотвратить нависшую угрозу.

5.3 Планирование научно-технического исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках технического проектирования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение диаграммы Гантта проведения проектирования системы электроснабжения монтажно-механических мастерских инструментального завода.

Номерам этапов соответствуют следующие виды выполняемых работ, представленные в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Распределение исполнителей и этапы выполняемых работ

Основные этапы	№	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Определение направления исследований	2	Изучение и подбор необходимых материалов	Инженер
	3	Определение направления исследований	Руководитель Инженер
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель
Теоретические расчеты	5	Разбор исходных данных	Инженер
	6	Выбор защит	
	7	Расчет уставок выбранных защит	
Оценка результатов	8	Оценка эффективности	Инженер

		результатов	
Координирование и контроль проекта	9	Консультирование исполнителя и контроль выполнения проекта	Руководитель
Подготовка технической документации и проектирование	10	Разработка принципиальной схемы	Инженер
Оформление комплекта документации по НИР	11	Формирование пояснительной записки	Инженер

5.4 Определение трудоемкости выполнения работ

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

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожи}$ используем следующую формулу:

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

Где $t_{ожи}$ – 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.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяем продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями:

$$T_{p_i} = \frac{t_{ожи}}{Ч_i},$$

Где T_{p_i} – продолжительность одной работы, раб.дн.;

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

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

Рассчитанная ожидаемая трудоемкость каждой из работ по проектированию приведена в таблице 3.4.

Постановка задачи	3	0	4	0	3,4	0	3,12	0	3,76	0
Разработка и утверждение технического задания (ТЗ)	1	1	2	1	1,4	1	1,76	0,44	2,12	0,53
Подбор и изучение материалов по тематике	2	1	4	1	2,8	1	3,48	0	4,19	0
Разработка календарного плана	1	1	2	1	1,8	1	1,54	0,66	1,86	0,8
Обсуждение литературы	1	2	2	3	1,4	2,3	1,05	3,48	1,27	4,2
Выбор структурной схемы устройства	2	1	2	2	2	1,4	3,12	1,87	3,76	2,25
Выбор принципиальной схемы устройства	3	2	3	4	3	2,8	5,32	4,25	6,41	5,12
Расчет принципиальной схемы устройства	0	8	0	10	0	8,8	0	8,07	0	9,72
Оформление расчетно-пояснительной записки	0	12	0	15	0	13,2	0	12,1	0	14,58
Оформление графического материала	1	4	2	5	1,4	4,4	0	5,32	0	6,41
Подведение итогов	1	4	2	5	1,4	4,4	1,06	5,32	1,28	6,41
Итого	15	36	23	47	18,6	40,3	20,45	41,51	24,65	50,02

На основании полученных данных из таблицы 5.4 построим график Гантта, представленный на таблица 5.5.

Таблица 5.5-Линейный график работ

Этап	НР	И	Март			Апрель		
			10	20	30	40	50	60
1	3,4	—	■					
2	1,4	1	■	■				
3	2,8	1		■				
4	1,8	1		■				
5	1,4	2,3		■	■			
6	2	1,4			■			
7	3	2,8			■	■		
8	—	8,8				■		
9	—	13,2					■	
10	1,4	4,4					■	
11	1,4	4,4						■

НР- ■

И- ■

Таким образом в ходе данного этапа работы были определены длительности и обозначены сроки выполнения всех запланированных видов работ. Был построен график Гантта, наглядно иллюстрирующий этапы выполнения проекта участниками. Итого, в календарных днях длительность работ руководителя проекта равняется 19 дней, а инженера 41дней.

5.6 Определение бюджета проекта

В процессе планирования бюджета проекта необходимо обеспечить полное и достоверное отражение всех видов расходов, которые связаны с его выполнением. Ниже представлена группировка затрат по статьям расходов, используемая при формировании бюджета проекта:

- материальные затраты проекта;
- амортизационные отчисления;
- основная заработная плата участников;
- дополнительная заработная плата участников;
- страховые отчисления;
- накладные расходы.

Расчет материальных затрат на разработку проекта

Стоимость материалов, используемых при разработке данного проекта, приведена в таблице 5.5.

Таблица 5.5 – материальные затраты на разработку проекта

Материал	Единица измерения	Цена за единицу, руб.	Количество	Сумма, руб.
Металлические материалы (Zr, Э110, TiN)	г	150	5	750
Водород	г	0,5	900	450
Раствор серной кислоты	л	100	1	100
Спирт	л	150	1	150
Перчатки	шт.	150	3	450
Шкурка	шт.	10	15	150
Бумага	шт.	200	0,4	80
Распечатка	шт.	200	2	400
Итого				2530

Допустим, что ТЗР составляют 5 % от отпускной цены материалов, тогда расходы на материалы с учетом ТЗР равны $S_{\text{мат}} = 2530 * 1,05 = 2656,5$ руб.

Амортизационные отчисления

В данный раздел входят затраты, которые связаны с приобретением специального оборудования, которое необходимо для работ по данной теме, а именно приборов, устройств и механизмов, контрольно-измерительной аппаратуры и т.д. Стоимость спецоборудования в ряде случаев берется по договорной цене или по действующим прейскурантам. Затраты, рассчитанные в данном разделе занесены в таблицу 5.6.

Таблица 5.6 –Амортизационные отчисления на оборудование и программные комплексы

Оборудование	Время работы $t_{\text{раб}}, \text{ч}$	Потребляемая Мощность $P_{\text{об}}, \text{кВт}$	Стоимость ед. оборудования, руб.	Амортизация, руб.
Персональный компьютер	900	0,9	34999	364,37
Устройство для зарядки водорода	144	1,2	3000000	4931,51
Итого				5295,88

Так как данное оборудование используется длительно, необходимо учесть стоимость амортизационных отчислений для данного оборудования:

$$A_i = \frac{S \cdot N}{H \cdot 365}$$

где: A_i – амортизационные отчисления;

S – стоимость оборудования и программного обеспечения;

N – количество дней использования в при проектировании;

H – предполагаемый срок службы оборудования и программного обеспечения.

Расчет показателей амортизации, результаты представлены в таблице 5.6

$$A_{ПК} = 34999 \cdot 38 / 10 \cdot 365 = 364,37$$

$$A_{утрой.} = \frac{3000000 \cdot 6}{10 \cdot 365} = 4931,51$$

Таким образом были определены амортизационные отчисления на разработку проекта, которые составили 5295,88 руб.

Основная заработная плата исполнителей темы

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, непосредственно участвующих в выполнении работ по проекту. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок.

Зарботная плата работников представляет собой сумму двух составляющих: основная и дополнительная заработная плата.

В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20–30 % от тарифа или оклада. Формула расчета заработной платы представлена ниже:

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп}$$

где: $З_{зп}$ – заработная плата;

$З_{осн}$ – основная заработная плата;

$З_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

Расчет основной заработной платы выполняем по формуле, представленной ниже:

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_p$$

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

T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дн.

Расчет среднедневной заработной платы выполняем по формуле:

$$Z_{\text{дн.}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}}$$

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

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

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени персонала, раб.Дн.

Таблица 5.7 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Исполнитель
Календарное число дней	366	
Количество нерабочих дней:		
- выходные и праздничные дни	66	
Потери рабочего времени:		
- отпуск, невыходы по болезни	52	
Действительный годовой фонд рабочего времени	248	

Зарплата работника за месяц рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{ТС}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}}$$

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

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

$k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок, равный 0,2;

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

1) Расчёт заработной платы

$$Z_{\text{м.рук}} = 35782 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 69774,9$$

$$Z_{\text{м.исп}} = 13250 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 25837,5$$

2) Расчет среднедневной заработной платы:

$$Z_{\text{дн.рук}} = \frac{69774,9 \cdot 10,4}{248} = 2926,04$$

$$Z_{\text{дн.исп}} = \frac{25837,5 \cdot 10,4}{248} = 1083,51$$

3) Расчет основной заработной платы:

$$Z_{\text{осн.рук}} = 2926,04 \cdot 19 = 55594,76$$

$$Z_{\text{осн.исп}} = 1083,51 \cdot 41 = 44423,91$$

Результат расчетов представлен в таблице 5.8.

Таблица 5.8 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$Z_{\text{ТС}}$, руб.	$k_{\text{пр}}$	$k_{\text{д}}$	$k_{\text{р}}$	$Z_{\text{М}}$, руб.	$Z_{\text{дн}}$, руб.	$T_{\text{р}}$, раб. дн.	$Z_{\text{осн}}$, руб.
Руководитель	35782	0,3	0,2	1,3	69774,9	2926,04	19	55594,76
Инженер	13250	0,3	0,2	1,3	25837,5	1083,51	41	44423,91
Затраты по основной заработной плате, руб.	100018,67							

Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций.

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

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

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

$$З_{Доп.рук} = K_{доп} \cdot З_{Оси} = 0,15 \cdot 55594,76 = 8339,21$$

$$З_{Доп.исп} = K_{доп} \cdot З_{Оси} = 0,15 \cdot 44423,91 = 6663,59$$

$$З_{Доп} = З_{Доп.рук} + З_{Доп.исп} = 8339,21 + 6663,59 = 15002,8$$

Отчисления во внебюджетные фонды

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.

Ставка отчислений во внебюджетные фонды для учреждений, осуществляющих научную и образовательную деятельность, на 2020 год составляет 30,2%.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{внеб.} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп})$$

где: $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

Расчет отчислений во внебюджетные фонды:

$$З_{внеб.рук} = 0,302 \cdot (55594,76 + 8339,21) = 19308,06$$

$$З_{внеб.исп} = 0,302 \cdot (44423,91 + 6663,91) = 15428,43$$

$$З_{внеб.} = З_{внеб.рук} + З_{внеб.исп} = 19308,06 + 15428,43 = 34736,49$$

Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты, не вошедшие в предыдущие статьи, такие как ксерокопирование и печать материалов исследования, размножение материалов, оплата электроэнергии, услуг связи, телеграфные, почтовые расходы и т.д.

Величина накладных расходов определяется по следующей формуле:

$$З_{накл} = (З_{аморт} + З_{осн} + З_{доп} + З_{внеб.}) \cdot k_{нр},$$

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

Величина коэффициента накладных расходов принимается равной 16%.

$$Z_{накл} = (2656,5 + 5295,88 + 100018,67 + 15002,8 + 34736,49) \cdot 0,16 = 25233,65$$

Формирование бюджета затрат проекта

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

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 3.9

Таблица 3.9 – Расчет бюджета затрат на разработку проекта

Наименование статьи	Сумма, руб.	%
1. Материальные затраты	2656,50	1,45
2. Амортизация оборудования и программных комплексов	5295,88	2,89
3. Затраты по основной заработной плате	100018,67	54,67
4. Затраты по дополнительной заработной плате	15002,8	8,2
5. Отчисления во внебюджетные фонды	34736,49	18,99
6. Накладные расходы	25233,65	13,79
Бюджет затрат проекта	182943,99	100

Таким образом были определены затраты на разработку проекта, сумма необходимая на его реализацию составляет 182943,99 рублей.

Основные расходы пришлись на статью затрат по заработной плате сотрудников – 54,67 % от общего бюджета проекта.

5.7 Ресурсоэффективность

С помощью интегрального критерия ресурсоэффективности определим ресурсоэффективность автоматизированной системы. Формула для его определения имеет следующий вид:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i,$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент проекта;

b_i – бальная оценка проекта, устанавливается экспериментальным путем по выбранной шкале оценивания.

Таблица 5.10 – Оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Бальная оценка разработки
1. Безопасность	0,25	5
2. Надежность	0,25	5
3. Удобство в эксплуатации	0,20	4
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,20	4
5. Ремонтопригодность	0,10	3
Итого:	1,00	4,4

Для разрабатываемого проекта интегральный показатель ресурсоэффективности:

$$I_{pi} = 0,25 \cdot 5 + 0,25 \cdot 5 + 0,20 \cdot 4 + 0,20 \cdot 4 + 0,10 \cdot 3 = 4,4.$$

Полученное значение интегрального показателя свидетельствует о достаточно хорошей эффективности реализации технического проекта.

Выводы по главе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. В ходе выполнения раздела «Финансовый менеджмент» был выполнен анализ конкурентоспособности. В ходе проведения данного анализа было выявлено, что СЛУ имеет преимущество над аналогами, в

связи с чем проектирование защиты с использованием шкафа данного типа является эффективным.

2. Проведён SWOT-анализ проекта, в ходе которого были выявлены потенциальные внутренние и внешние сильные и слабые стороны, возможности и угрозы. Из анализа выяснили, что потенциальных сильных сторон у проекта больше, чем слабостей, что свидетельствует об перспективности разработок проекта.

3. Также установлено, что в календарных днях длительность работ для руководителя составляет 19 дней, а для инженера – 41 дней. На основе временных показателей по каждой из произведенных работ был построен календарный план-график, по которому можно увидеть, что самая продолжительная по времени работа – это расчет уставок защит.

После формирования бюджета затрат на проектирование суммарные капиталовложения составили 182943,99 рублей.

Также были определены показатели ресурсоэффективности значения которых свидетельствуют о достаточно высокой эффективности реализации технического проекта.

6. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Введение

Известно, что водород в металлах является важной технической и научной проблемой, вызванной широким применением цирконии и его сплавов в различных отраслях промышленности и бытовых изделиях. Исследовательская работа по изучению свойств циркониевого сплава насыщенного водородом предполагает проведение работ на следующих установках: Сивертса по насыщению водородом, рентгеновский спектрометр, магнитный анализатор (ЗМА) и т.д. Основой работы, выделенной в отдельную главу выпускной квалификационной работы, является изучение влияния водорода на свойства циркониевого сплава. Поэтому рассмотрение безопасности и гигиены труда при осуществлении работ по наводороживанию с помощью установки Gas Reaction Controller особенно важно при проведении данного исследования. Установка Gas Reaction Controller используется на кафедре для исследования процессов сорбции/десорбции водорода металлическими материалами.

6.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

6.1.1. Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства

К работе на установке вихревого тока ЗМА допускаются лица не моложе 18 лет, не имеющие медицинские противопоказания, прошедшие обучение безопасности труда и инструктаж на рабочем месте.

К самостоятельной работе допускаются работники после специального обучения и проверки знаний норма и правил работы с электроустановками, правил безопасности работы с газовыми баллонами, приобретенных навыков и безопасных способов выполнения работы на установке вихревого тока ЗМА,

имеющие не менее II группы по электробезопасности и получившие допуск к работе с газовыми баллонами.

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

По данной теме рассматриваются законодательный и нормативные документы:

1. инструкция № 2-25 по охране труда при выполнении работ на установке Gas Reaction Controller;
2. инструкция № 2-14 по охране труда при работе с электрооборудованием напряжением до 1000 В;
3. инструкция № 2-07 по охране труда при работе с баллонами, работающими под давлением.

Документы по воздействию ПЭВМ:

1. инструкция № 2-08 по охране труда при работе с ПЭВМ и ВДТ;
2. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организация работы;
3. ГОСТ Р 50948-01. Средства отображения информации индивидуального пользования. Общие эргономические требования и требования безопасности;
4. ГОСТ Р 50949-01. Средства отображения информации индивидуального пользования. Методы измерений и оценки эргономических параметров и параметров безопасности;

Микроклимат:

1. ГОСТ 12.1.005 Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны;
2. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.

6.1.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Для обеспечения безопасности перед началом работы необходимо правильно надеть спецодежду, подготовить для работы необходимый инструмент и приспособления, приготовить рабочий стол. Также необходимо проверить отсутствие внешних повреждений электрооборудования, наличие и исправность контрольных, измерительных и сигнальных приборов, компьютера, тумблеров, переключателей и т.п. При выявлении неисправностей, не допускается проводить ремонт самостоятельно, необходимо доложить руководителю лаборатории. Наладка прибора и его ремонт осуществляется только сервис-инженерами.

Запрещается приступать к работе, если выявлены неисправности любого используемого оборудования, если персонал не прошел в установленном порядке обучение и проверку знаний безопасности труда.

Работа с стендом должна производиться в чистом помещении, свободном от пыли, паров, кислот и щелочей, агрессивных газов и других вредных примесей, вызывающий коррозию. Недопустимо наличие открытого огня около прибора.

6.2 Производственная безопасность

6.2.1 Анализ выявленных вредных и опасных факторов

Под опасным производственным фактором понимается фактор, воздействие которого на работника может привести к его травме (высота, огонь, электрический ток, движущиеся предметы, взрыв). Вредным производственным фактором является фактор, воздействие которого на работника может привести к его заболеванию (неблагоприятный микроклимат, повышенный уровень шума, вибрации, плохое освещение, неблагоприятный состав воздуха).

Согласно при работе с установкой для электроформования и ПЭВМ на сотрудников могут воздействовать опасные и вредные факторы, приведенные в таблице 6.1.

Таблица 6.1 — Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	изготовление	исследование	
1. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	+	+	+	-ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов; -ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности; -СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение.
2. Превышение уровня шума	+	+	-	Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*;
3. Отсутствие или недостаток естественного света	+	+	-	-ГОСТ 12.1.044-89 (ИСО 4589-84) ССБТ Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожаровзрывоопасность веществ и материалов.
4. Пожаровзрывоопасность	+	+	-	

На инженера, работающего с установкой для электроформования и ПЭВМ, воздействуют следующие факторы:

1. физические: температура и влажность воздуха, шум, статическое электричество, вредные химические вещества, освещённость. Воздействие электромагнитного излучения было сведено к минимуму, так как при работе на ПЭВМ использовался жидкокристаллический монитор;

2. психофизиологические: физические перегрузки (статические, динамические), нервно-психические перегрузки (умственное перенапряжение, монотонность труда, эмоциональные перегрузки).

6.2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия

Рациональное освещение рабочего места позволяет предупредить травматизм и многие профессиональные заболевания. Правильно

организованное освещение создает благоприятные условия труда, повышает работоспособность и увеличивает производительность труда. Освещение на рабочем месте должно быть таким, чтобы человек мог без напряжения выполнять свою работу.

В производственных и административно-общественных помещениях, в случаях преимущественной работы с документами, разрешено применение системы комбинированного освещения (к общему освещению дополнительно устанавливаются светильники местного освещения, предназначенные для освещения зоны расположения документов).

Зрительная работа (лаборант) – характеризуется как работа очень высокой степени точности. Что требует освещенности в 300 – 500 лк . Допускается установка светильников местного освещения для подсветки документов, но с таким условием, чтобы оно не создавало бликов на поверхности экрана и не увеличивало освещенность экрана более чем на 300 лк. Светильники местного освещения должны иметь не просвечивающий отражатель с защитным углом не менее 40 градусов.

В качестве источников света при искусственном освещении должны применяться преимущественно люминесцентные лампы типа ЛБ. Освещение следует выполнять в виде сплошных или прерывистых линий светильников, расположенных сбоку от рабочих мест, параллельно линии зрения пользователя при рядом расположении персональных электронно-

вычислительных машин (ПЭВМ). При расположении компьютеров по периметру помещения линии светильников должны располагаться локализовано над рабочим столом, ближе к его переднему краю, обращенному к оператору.

Влажность. Низкая влажность вызывает неприятные ощущения в виде сухости слизистых оболочек дыхательных путей работающего. Высокая относительная влажность при высокой температуре воздуха способствует

перегреванию организма, при низкой температуре увеличивается теплоотдача с поверхности кожи. Для удобства работы в помещении необходимо нормирование параметров микроклимата (таблица 6.2) и применение защитных мероприятий от вредного влияния отклонения параметров микроклимата.

Таблица 6.2. Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений (СанПиН 2.2.4.548-96).

Период года	Категория работ по уровням энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Iб (140-174)	21-23	60-40	0,2
Теплый	Iб (140-174)	22-24	60-40	0,2

Таблица 6.3. Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений.

Период года	Категория работ по уровням энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	
				Для диапазона температур воздуха ниже оптимальных величин, не более	Для диапазона температур воздуха выше оптимальных величин, не более
Холодный	Iб (140-174)	19,0-20,9	15-75	0,1	0,2
Теплый	Iб (140-174)	20,0-21,9	15-75	0,1	0,3

Научно-исследовательская работа выполнялась с помощью персональных компьютеров (PC). Электромагнитное излучение является основным вредным фактором для инженера-исследователя. Оно влияет на костные ткани, ухудшает зрение, повышает утомляемость, вызывает ослабление памяти и возникновение онкологических заболеваний.

Таблица 6.4. Временные допустимые уровни (ВДУ) электромагнитных полей, создаваемых ПЭВМ на рабочих местах

Наименование параметров		ВДУ
Напряженность электрического поля	в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	25 В/м
	в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	250 нТл
	в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц	25 нТл
Напряженность электростатического поля		15 кВ/м

Безопасные уровни излучений регламентируются нормами СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03 и представлены в таблице 6.4.

6.3 Экологическая безопасность.

В этой работе отходы представляют собой металлические порошки, которые из процессов производства и полировки.

Для литосферы. Твердые отходы, образующиеся в ходе реализации проекта, включают в себя твердые промышленные отходы и бытовые отходы. Среди них твердые промышленные отходы являются несоответствующим продуктом, и все они перерабатываются для повторного производства и не выбрасываются.

Твердые отходы собираются в специальные сборники и увозятся для уничтожения. Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов имеет огромное экономическое и социальное значение.

Для гидросферы, это исследование не дало производственных сточных вод. Все выбросы в канализацию также необходимо подвергать обезвреживанию и очистке. Для этих целей все отработанные кислотные и щелочные сливы собираются в отдельную для каждого вида тару, затем подвергаются нейтрализации и только после этого они могут быть слиты в канализацию с их предварительным 10-кратным разбавлением водопроводной водой. Отработанные органические сливы собираются в

специальную герметически закрытую тару, которую по мере заполнения отправляют на обезвреживание и утилизацию .

Для атмосферы, в процессе производства, процесс производства полностью закрыт.оборот всех материалов осуществляется через резервуар для сбора порошка со стандартными интерфейсными клапанами.

6.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Рассмотрим две наиболее типичных чрезвычайных ситуации, которые могут произойти на предприятии.

Первый случай: остановка производства в результате сильных морозов.

Меры по предупреждению ЧС:

1. Повышение устойчивости системы электроснабжения. В первую очередь целесообразно заменить воздушные линии электропередач на кабельные (подземные) сети, использовать резервные сети для запитки потребителей, предусмотреть автономные резервные источники электропитания объекта (передвижные электрогенераторы).

2. Обеспечение устойчивости теплоснабжения за счет запасных автономных источников теплоснабжения, кольцевания системы, заглубления теплотрасс.

3. Обеспечение устойчивости систем водоснабжения (устройство дублирования вод питания, кольцевание системы, заглубление водопроводов, обустройство резервных емкостей и водохранилищ, очистка воды от вредных веществ и т.п.).

4. Обеспечение устойчивости системы водоотведения. Повышение устойчивости системы канализации достигается созданием резервной сети труб, по которым может отводиться загрязненная вода при аварии основной сети. Должна быть разработана схема аварийного выпуска сточных вод непосредственно в водоемы. Насосы, используемые для перекачки загрязненной воды, комплектуются надежными источниками

электропитания.

Второй случай: диверсия.

Для обеспечения безопасности работника, предотвращения хищений и проникновения посторонних лиц на предприятие следует использовать ряд мер безопасности:

1. Организовать контрольно-пропускной пункт.
2. Установить системы видеонаблюдения в производственных цехах, а также на всех входах и выходах из здания.
3. Установить оповещающие системы безопасности при несанкционированном проникновении на предприятие в нерабочее время.

Согласно НПБ 105-03 используемое помещение относится к категории пожароопасной В4, т.е. в которых находятся горючие и трудно горючие жидкости, вещества и материалы (в том числе пыли и волокна), но удельная пожарная нагрузка на участке находится в интервале $1-180 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2}$.

В лаборатории разработаны инструкции о мерах пожарной безопасности для каждого взрывопожароопасного и пожароопасного участка (мастерской, цеха и т. п.) в соответствии с приложением № 1 ППБ 01-03.

Согласно НПБ 105-95 и СНиП 21-01-97 работники допускаются к работе только после прохождения инструктажа о мерах пожарной безопасности, во всех помещениях вывешены таблички с указанием номера телефона вызова пожарной охраны и таблички с направлением пути эвакуации и план эвакуации.

Согласно ППБ 01-03 в здании, где ведутся работы, предусмотрены инженерно-технические решения, которые обеспечивают в случае пожара эвакуацию людей (аварийные выходы), подачу средств пожаротушения к очагу, есть сигнализация и работает оповещение о пожаре.

Пожарные краны, огнетушители и другая пожарная техника для защиты объектов соответствует (ГОСТ 12.1.004-91 с измен. 21.10.1993 г).

На рисунке 6,1. представлен план эвакуации 303 аудитории 3 корпуса, где находится установка вихревого тока ЗМА. По плану видны основные

эвакуационные выходы и огнетушители.

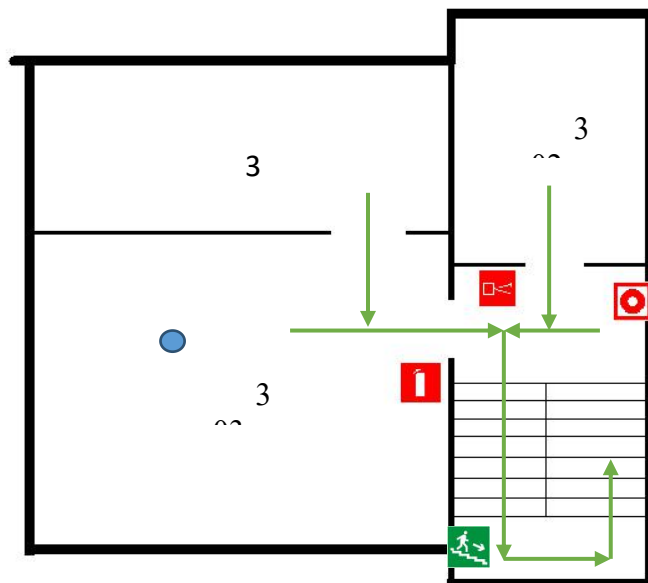


Рисунок 6.1. План эвакуации из рабочего помещения

Вывод:

В ходе рассмотрения безопасности и гигиены труда при осуществлении работ по наводороживанию с помощью стенда измерения параметров ультразвука, были выявлены вредные и опасные факторы рабочей зоны, причины и средства защиты, рассмотрены чрезвычайные ситуации и поведение в них. Также был произведен расчет воздухообмена в помещении рабочей зоны с стендами измерения параметров ультразвука, в котором работает один человек.