

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

---

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

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
Изучение процессов неравновесного выхода водорода из металлических образцов (Ni, Ti) различной толщины при различных видах стимуляции.

УДК 669.24:669.295:620.19

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
150Б41	Лю Ланьцзэ		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Проф. каф. ОФ	Тюрин Ю. И.	д.ф.-м.н. профессор		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

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

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

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

Томск – 2018 г.

## Запланированные результаты обучения по программе

Код результата	Результат обучения (выпускник способен)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Общекультурные компетенции</i>		
<b>Р1</b>	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 ФГОС3+ (ОК-1, ОК-2, ОК-3, ОК-4)
<b>Р2</b>	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 ФГОС3+ (ОК-5, ОК-6, ОК-7, ОК-8, ОК-9)
<i>Общепрофессиональные компетенции</i>		
<b>Р3</b>	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 ФГОС3+ (ОПК-1, ОПК-2, ОПК-3, ОПК-7)
<b>Р4</b>	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 ФГОС3+ (ОПК-4, ОПК-5, ОПК-6)
<b>Р5</b>	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 ФГОС3+ (ОПК-8, ОПК-9)
<i>Профессиональные компетенции</i>		
<b>Р6</b>	<u>Научно-исследовательская деятельность</u> 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.	Требования ФГОС3+ (ПК-1, ПК-2)
<b>Р7</b>	<u>Научно-инновационная деятельность</u> Применять на практике профессиональные знания теории и методов физических исследований, а также профессиональные знания и умения в результате освоения профильных дисциплин для проведения	Требования ФГОС3+ (ПК-3, ПК-4, ПК-5)

	физических исследований в инновационных областях науки, используя современные методы обработки, анализа и синтеза информации.	
<b>Р8</b>	<u>Организационно-управленческая</u> 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	Требования ФГОСЗ+ (ПК-6, ПК-7, ПК-8)
<b>Р9</b>	<u>Педагогически-просветительская</u> 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	Требования ФГОСЗ+ (ПК-9)

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

---

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

УТВЕРЖДАЮ:  
Руководитель ООП  
\_\_\_\_\_ Лидер А.М  
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

бакалаврской работы
---------------------

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

Студенту:

Группа	ФИО
150Б41	Лю Ланьцэ

Тема работы:

Изучение процессов неравновесного выхода водорода из металлических образцов (Ni, Ti) различной толщины при различных видах стимуляции	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:

--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	
<i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду; энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Модели процессов диффузионного выхода водорода в вакуум из Ni, Ti;</li><li>2. Методики изучения десорбции водорода в вакуум в режиме программируемого нагрева и облучения электронами из металлов Ni, Ti насыщенных водородом методом Сивертса, электролитически и из водородной плазмы;</li><li>3. Установки для изучения термо-стимулированного выхода водорода из металлов.</li></ol>

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p>(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).</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Подготовка аналитического обзора по взаимодействию титана и никеля с водородом (литература 2014-17гг) . Знакомство с современной научной литературой о позитивной и негативной роли водорода в металлах</li> <li>2. Анализ экспериментальных результатов насыщения титана и никеля водородом и дейтерием электролитическим путем в кислых растворах.</li> <li>3. Моделирование процессов термостимулированного и радиационно-стимулированного выхода водорода из плоских образцов титана и никеля различной толщины</li> <li>4. Обратный эффект Мессбауэра(Reverse Mössbauer effect as a possible source of "hot" molecules absorbed in crystalline solids at low temperature</li> <li>5. Выбор критериев для использования моделей расчета для образцов конечной толщины и полубесконечных образцов</li> </ol>
---	---

<p><b>Перечень графического материала</b></p> <p>(с точным указанием обязательных чертежей)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Уравнение метода насыщения водорода</li> <li>- Схема выход водорода</li> <li>- Схема моделирование термостимулированного выхода водорода</li> </ul>
---	--

**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы**  
(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент	Черепанова Н.В.
Социальная ответственность	Ларионова Е.В.

**Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:**

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

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Проф. каф. ОФ	Тюрин Ю.И.	д.ф-м.н.		28.06.2017

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
150Б41	Лю Ланьцэ		28.06.2017

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
150Б41	Лю Ланьцэ

<b>Школа</b>	<b>ИЯТШ</b>	<b>Отделение</b>	<b>Экспериментальной физики</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавр	<b>Направление/специальность</b>	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>	Определение стоимости ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых информационных и человеческих
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Знакомство и отбор норм и нормативов расходования ресурсов
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Знакомство с системой налогообложения, со ставками налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования

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

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

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

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

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

**Задание выдал консультант:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
150641	Лю Ланьцэ		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
150Б41	Лю Ланьцэ

<b>Институт</b>	ИЯТШ	<b>Кафедра</b>	Экспериментальной физики
<b>Уровень образования</b>	Бакалавр	<b>Направление/специальность</b>	03.03.02 Физика

**Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:**

<p><i>1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения)</li> <li>- опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы)</li> <li>- негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу) чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)</li> </ul>	<p><i>Работа проводилась в лаборатории второго этажа в третьем корпусе Национального исследовательского Томского политехнического университета. Технический процесс заключается в насыщении водородом металлов с помощью автоматизированного комплекса Gas Reaction Controller, электролитическим и плазменным методами.</i></p> <p><i>В процессе возникли следующие вредные факторы:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. отклонение показателей микроклимата в помещении</li> <li>2. превышение уровней шума;</li> <li>3. превышение уровней электромагнитных и ионизирующих излучений</li> <li>4. недостаточная освещенность рабочей зоны; и опасный фактор – электрический ток.</li> </ol> <p><i>В работе возникают отходы спирта, которые могут вызвать загрязнение гидросферы.</i></p> <p><i>Возможно, возникают пожар и взрыв газовых баллонов, и пожар в процессе работы</i></p>
--	---

<p><i>2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме</i></p>	<p><i>ГОСТ и СанПиН</i></p>
--	-----------------------------

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

<p><i>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</li> <li>- действие фактора на организм человека;</li> <li>- приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</li> <li>- предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)</li> </ul>	<p><i>В связи с работой насоса в лаборатории возникло превышение уровней шума. По санитарным нормам, допустимым уровнем шума принято считать: 55 децибел (дБ) в дневное время и 40 децибел (дБ) ночью.</i></p> <p><i>Одним из средств защита от шума балансировка вращающихся деталей, уменьшение зазоров в зацеплениях механических передач, применение соответствующей смазки.</i></p>
<p><i>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности</i></p>	<p><i>Действие электрического тока на живую ткань носит разносторонний и своеобразный характер.</i></p>

<ul style="list-style-type: none"> <li>- механические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>- термические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>- электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);</li> <li>- пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)</li> </ul>	<p>Прохождение тока может вызывать у человека раздражение и повреждение различных органов.</p> <p>Пороговый неотпускающий ток составляет 50 Гц (6–16мА).</p> <p>Основные коллективные способы и средства электрозащиты: изоляция токопроводящих частей (проводов) и ее непрерывный контроль; установка оградительных устройств. Индивидуальные основные изолирующие электрозащитные средства способны длительно выдерживать рабочее напряжение электроустановок.</p>
<p>3. Охрана окружающей среды:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- защита селитебной зоны</li> <li>- анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> <li>- анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> <li>- анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> <li>- разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</li> </ul>	<p>В процессе выполнения работы могут возникать отходы спирта, которые могут вызвать загрязнение гидросферы. Спирт используют для подготовки образцов углеродного материала. После этого процесса, в растворе спирта могут существовать аморфы углерода и наноуглерод. Для охраны поверхностных и подземных вод от загрязнения и истощения, можно обработать отходы спирта методом дистилляции. Полученный спирт после процесса дистилляции можно использовать повторно.</p>
<p>4. Защита в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- перечень возможных ЧС на объекте;</li> <li>- выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>- разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>- разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС;</li> <li>- разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</li> </ul>	<p>В связи с использованием водорода в процессе выполнения работы насыщения водородом углеродного материала, содержащего нанотрубки, существуют опасности пожар и взрыв. Чтобы избежать опасность необходимы следующие мероприятия: 1) создание запасов средств индивидуальной защиты и поддержание их в готовности; 2) наличие и поддержание в постоянной готовности системы общего оперативного и локального оповещения и информации о пожаре и взрыве; 3) проектирование, размещение, строительство и эксплуатация объектов инфраструктуры, в том числе и потенциально опасных.</p>
<p>5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>- организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Организационные мероприятия обеспечения безопасности.</li> <li>2. Особенности законодательного регулирования проектных решений.</li> <li>3. Привести перечень ГОСТ СНиПов использованных в работе</li> </ol>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
150641	Лю Ланьцэ		



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

Школа Инженерная школа ядерных технологий

Уровень образования бакалавриат

Направление подготовки 03.03.02 «Физика»

Отделение школы (НОЦ) Отделение экспериментальной физики

Период выполнения \_\_\_\_\_

Форма представления работы:

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

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

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
01.03.2017	Аналитический обзор современной литературы (2014-2018гг) по свойствам водорода в титане и никеле, обратному эффекту Мёссбауэра.	15
01.09.2017	Методы насыщения титана и никеля водородом. Установка для исследования термо- и радиационно- стимулированного газовыделения водорода из металлов.	15
30.12.2017	Исследование термостимулированного (ТСГВ) и радиационного газовыделения (РСГВ) водорода из металлов.	20
30.04.2018	Аналитическая аппроксимация и численное моделирование экспериментальных результатов по термостимулированному термогазовыделению . Анализ результатов	15
25.05.2018	Социальная ответственность	15
25.05.2018	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
25.05.2018	Заключение	5

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Проф. каф. ОФ	Тюрин Ю. И.	д.ф-м.н.		

**СОГЛАСОВАНО:**

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

## Реферат

Выпускная квалификационная работа 102 с., рис., 20 табл., 24 источника.

Ключевые слова: Водород, металл, неравновесное высвобождение, плазма, диффузия, конденсированное вещество.

Объектом исследования являются насыщенные водородом плоские металлические образцы Ti, Ni различной толщины в условиях их термического нагрева по линейному закону и нагрева по линейному закону пучком электронов в допороговой области.

Цель работы – Исследование способности абсорбирования водорода титана и никеля электролитическим методом и методом Сивертса. Изучение при разных методах абсорбирования водорода термостимулированного и радиационно-стимулированного выхода водорода.

В работе изложены результаты экспериментального изучения и моделирования процессов выхода водорода в вакуум из предварительно насыщенных водородом плоских металлических образцов различной толщины при термическом и радиационном нагреве.

В результате исследования было установлено, что:

Электролитическое наводороживание позволят добиться значительных концентраций равномерно распределенных ионов водорода в образце, эквивалентной давлению в сотни атмосфер при комнатной температуре или очень высокой температуре при атмосферном давлении, при длительном насыщении  $10^5$ - $10^6$  сек и малых плотностях тока  $0.002$  А/см<sup>2</sup> насыщения.

Метод Сивертса позволяет достичь образования гидридных фаз в металлах.

Метод программируемого термогазовыделения водорода в условиях линейного нагрева плоских металлических образцов представляет удобный способ определения энергий активации, предэкспоненциальных множителей диффузионных, десорбционных и процессов разложения гидридов для тонких образцов.

Для полубесконечного образца, толщиной превосходящей длину диффузионного смещения распределение концентрации и определяется начальным распределением водорода;

Степень внедрения: данные апробированы на международной конференции и в конкурсе докладов.

## Содержание

1 Методы насыщения металлов водородом.....	15
1.1 Метод электролитического насыщения.....	15
1.2 Метод Сивертса.....	16
1.3 Результаты насыщения титана водородом.....	18
2 Взаимодействие водорода с титаном и никелем.....	20
2.1 Взаимодействие водорода с титаном.....	20
2.2 Взаимодействие водорода с никелем.....	23
3 Изучения выхода водорода(ТСГВ и РСГВ).....	24
3.1 Методика и установка исследования термо- и радиационно- стимулированного газовыделения водорода.....	24
3.2 Исследования термостимулированного газовыделения(ТСГВ) водорода из металлов.....	28
3.2.1 Процесс диффузионного выхода водорода в режиме линейного нагрева.....	29
3.2.2 Процесс десорбции водорода в режиме менейного нагреве образца.....	30
3.2.3 Экспериментальные результаты термостимулированного выхода водорода.....	31
3.3 Исследования радиационного газовыделения(РСГВ).....	39
3.3.1 Механизмы миграции водорода под действием ионизирующего излучения.....	39
3.3.2 Экспериментальные результаты по РСГВ.....	48
4 Численное моделирование и аппроксимация экспериментальных результатов по термостимулированному термогазовыделению.....	49
4.1 Численное решение диффузионного уравнения.....	49
4.2 Конечно-разностный метод.....	50
4.3 приложение.....	53
4.4 Аппроксимация экспериментальных результатов.....	54
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	61
5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	64

5.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения.....	65
научных исследований с позиции ресурсоэффективности и.....	65
ресурсосбережения.....	65
5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....	65
5.1.2 Анализ конкурентных технических решений.....	66
5.1.3 SWOT-анализ.....	69
5.2 Планирование научно-исследовательских работ.....	73
5.2.1 Структура работ в рамках научного исследования.....	73
5.2.2 Оценка готовности проекта к коммерциализации.....	74
5.2.3 Определение трудоемкости выполнения работ.....	77
5.2.4 Разработка графика проведения научного исследования.....	78
5.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ).....	82
5.3.1 Расчет материальных затрат НТИ.....	84
5.3.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ.....	85
5.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы.....	86
5.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы.....	88
5.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	89
5.3.6 Накладные расходы.....	89
5.3.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.....	90
6. Социальная ответственность.....	91
6.1 Техника безопасности.....	92
6.1.1 Микроклимат.....	92
6.1.2 Электромагнитное излучение.....	93
6.1.3 Шум.....	95
6.1.4 Освещенность.....	96

6.2 Организационные мероприятия обеспечения безопасности.....	99
6.3 Охрана окружающей среды.....	99
6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	100
6.5 Перечень законодательного документа.....	101

## ВВЕДЕНИЕ

Свойства водорода в титане и никеле являются важной проблемой для многих задач прикладного и фундаментального характера. В работе исследуются свойства титана и никеля накапливать и хранить водорода, что существенно в задачах водородной энергетики. В то же время, водород, обладая высокой подвижностью в твердых телах, представляет самостоятельный интерес для изучения его поведения при высокой температуре в титане и никеле. Экспериментально показано, что процесс диффузии и выхода водорода из титана может быть ускорен, при нагреве до высокой температуры. Диффузия атомов в присутствии возбужденной подсистемы легких атомов, может быть стимулирована радиацией, в условиях эффективного обмена колебательными квантами в водородной подсистеме.

Титан и его сплавы широко используются как конструкционные материалы благодаря наличию таких свойств, как коррозионная стойкость и высокая прочность. Авиационная промышленность была и остается основным потребителем титана. Это вызвано тем, что материалы для авиастроения должны соответствовать таким требованиям, как малый вес, высокая удельная прочность, жаропрочность, сопротивление усталостным нагрузкам, трещиностойкость, коррозионная стойкость. Этим требованиям отвечают титан и его сплавы. Из титановых сплавов в самолетах изготавливают изделия сложной пространственной формы, ответственные высоконагруженные узлы и агрегаты, части двигателя.

# 1 Методы насыщения металлов водородом

## 1.1 Метод электролитического насыщения

Титан и его сплавы широко используются как конструкционные материалы. Проникновение водорода ухудшает их эксплуатационные свойства. Влияние водорода на свойства материалов зависит от распределения водорода. В работе изучено влияние способа насыщения (электролитическим способом и методом Сивертса) на распределение водорода в титане BT1-0.

Таблица 1 – Химический состав титанового сплава, %

Fe	C	Si	N	Ti	O	H	Примеси
До 0,18	До 0,07	До 0,1	До 0,04	98,61-99,7	До 0,18	До 0,12	0,3

Для исследования влияния различных методов насыщения на взаимодействие водорода с материалом были подготовлены образцы технически чистого титанового сплава (табл. 1)[2]. Часть образцов была предварительно механически отшлифована.

Электролитическое насыщение осуществлялось в одномолярном растворе серной кислоты в течение 6 часов при силе тока 0,2 ампер. Образцы были помещены по центру электролитической ячейки вертикально и являлись катодом, анод (платина) был закреплен напротив каждой стороны образца. Грани образцов были изолированы капроновым клеем для устранения граничных

эффектов.

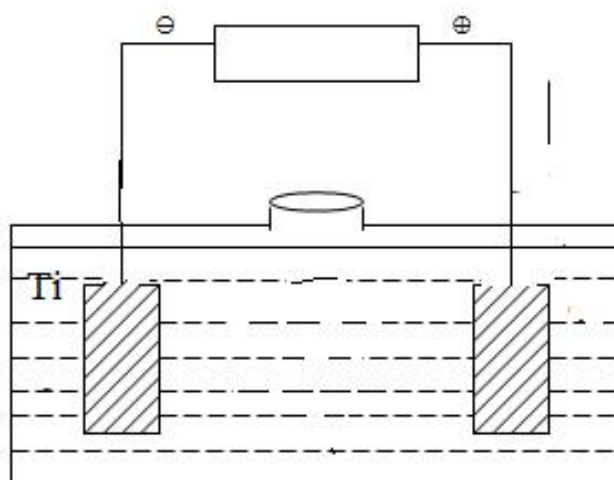


Рисунок 1 – Уравнение метода электролитического насыщения

## 1.2 Метод Сивертса

Образцы помещались в камеру, камера вакуумировалась до давления  $10^{-6}$  атм, затем проводился нагрев образцов до температуры  $600\text{ }^{\circ}\text{C}$  со скоростью нагрева  $4\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{c}$ [2]. Медленный нагрев необходим для полного удаления адсорбированных газов в процессе нагрева. Затем в камеру быстро напускался водород до заданного давления. Начальное давление водорода составляло  $0,66$  атм, время выдержки образцов в среде водорода –  $60$  минут. Зависимость давления в камере от времени и температуры автоматически фиксировалось на компьютере.



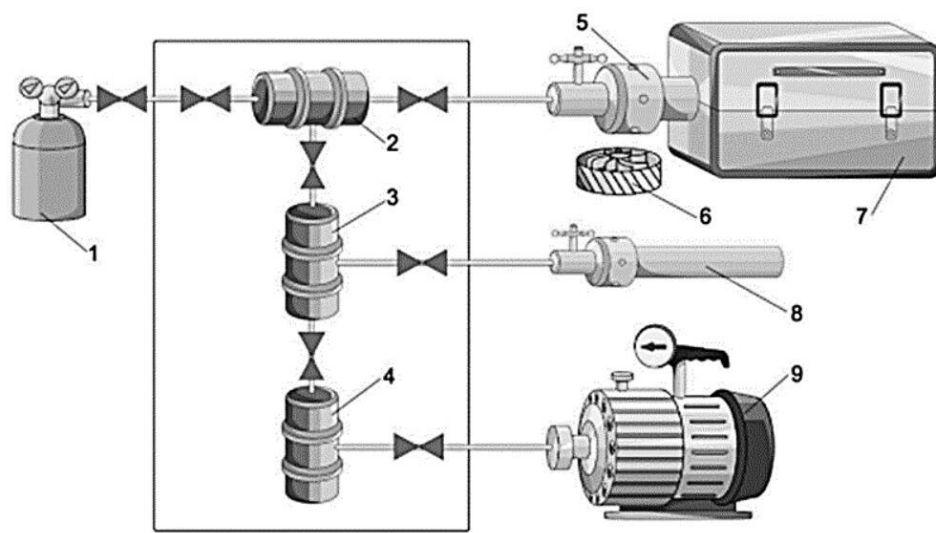


Рисунок 2 Схема установки для насыщения металлических образцов из метода Сиверта. 1 – баллон с водородом; 2, 3, 4 – каналы подачи/откачки водорода; 5 – большая камера (175 см<sup>3</sup>); 6 – вентилятор; 7 – печь; 8 – малая камера; 9 – вакуумный насос

В подготовленную к опыту реакционную систему впускают измеренное количество газа. Если объем системы и распределение температур в ней известны, то по газовым законам может быть рассчитано начальное давление в системе. Конечное давление измеряется непосредственно после окончания поглощения. По разности начального и конечного давлений определяется объем поглощенного газа.

Для насыщения водородом существуют два метода – метод сиверта и электролитическое насыщение водородом. Для первого метода, когда процесс термостимулированного выхода водорода, его график имеет только один пик, потому что просто происходит процесс диффузии атомов. Но для метода сиверта, его график имеет два пика, потому что после насыщения по методу

сивертса превращается  $TiH_2$  и когда температура больше чем  $600\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $TiH_2$  начинает распадаться.

### 1.3 Результаты насыщения титана водородом

Атомный радиус водорода  $0.046\text{ нм}$ , В различных металлах водород находятся в междоузельном положении. Водород занимая положение междоузельного атома минимизирует энергию при максимальном объеме. Поэтому в ОЦК, водород должен находиться в междоузельном положении тетраэдра, а в ГЦК, водород должен находиться в междоузельном положении октаэдра.

На рис. 2 представлены профили концентрации водорода при электролитическом насыщении и при насыщении из газовой среды методом Сивертса.[2]

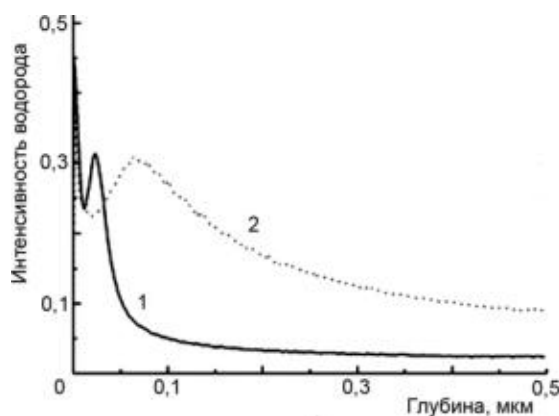


Рисунок 3 Профили распределения водорода: 1–электролитическое насыщение, 2 –насыщение по методу Сивертса[2]

После насыщения были проведены измерения концентрации водорода при помощи газоанализатора водорода RHEN602 фирмы LECO. Профили

распределения водорода получены на спектрометре плазмы тлеющего заряда [3] GD-Profiler 2 фирмы Horiba, глубина кратера измерялась на профилометре Hommel-Elomic фирмы Jenoptik Germany. Исследование фазового состава и структурных параметров образцов проводилось на дифрактометре XRD-6000 на CuK $\alpha$ -излучении. Анализ фазового состава проведен с использованием баз данных PCPDFWIN и PDF- 4+, а также программы полнопрофильного анализа POWDER CELL 2.5. Данные по исследованным образцам сведены в таблицу. Получены снимки поверхности насыщенных образцов растровым микроскопом и спектры термостимулированной десорбции водорода из образцов на автоматизированном комплексе Gas Reaction Controller при помощи квадрупольного масс-спектрометра RGA100 фирмы Stanford Research Systems [2].

При электролитическом насыщении водород скапливается на поверхности металла. Из-за низкого коэффициента диффузии водорода при невысокой температуре он не проникает вглубь образца.

Водород образует гидридные фазы с титаном в приповерхностном слое. Этот гидридный слой препятствует дальнейшему проникновению атомов водорода в металл, так как гидрид обладает низкой проницаемостью для водорода. Этим объясняется низкая концентрация водорода в образцах, насыщенных электролитическим методом. На графике распределения водорода по глубине образца гидридный слой проявляется как пик интенсивности. Далее идет быстрый спад концентрации водорода вглубь образца.

## 2 Взаимодействие водорода с титаном и никелем

### 2.1 Взаимодействие водорода с титаном

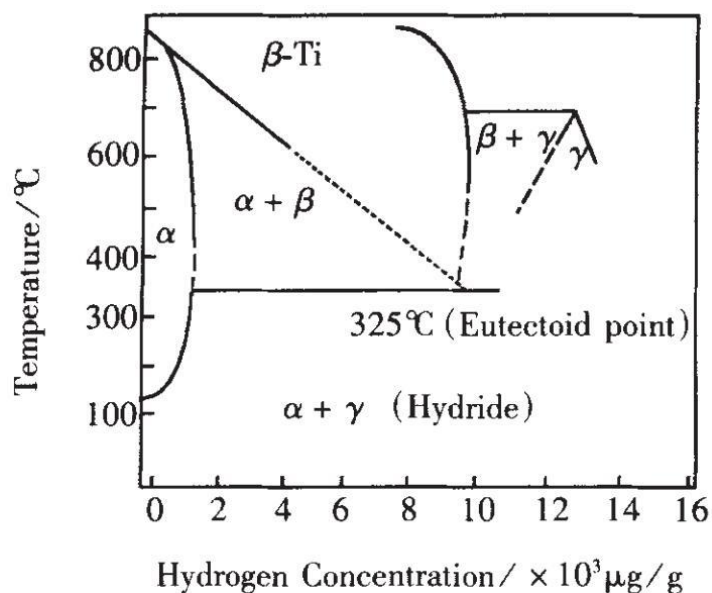


Рисунок 4 Диаграмма фаз титана - водородная система[4]

Металлический элемент титан (Ti), расположенный в периодической таблице четвертого цикла IV семейства, атомный номер 22, электронная структура [Ar] 3d<sup>2</sup>4s<sup>2</sup>, для связывания могут быть использованы четыре валентных электрона, титан является переходным металлом. Точка плавления чистого титана высока (1668 °C), а при 882 °C (1155K) имеет точку перехода аллотропии Тс. В низкотемпературной области, кристаллическая решетка находится в состоянии  $\alpha$ -фазы - гексагональная плотно-упакованная решетка. В высокотемпературной области решетка переходит в объемно-центрированную кубическую  $\beta$ -фазу.[5]

При низких концентрациях водорода титан находится в состоянии металлическом  $\alpha$ -фазы плотнейшей гексагональной упаковки. Когда содержание водорода является 0.22%(массовая доля), возможно образование гидридов двух

типов. Гидрид первого типа имеет гранецентрированное тетрагональное решетки. Вторым гидрид, это  $TiH_2$ , имеет кубическую гранецентрированную решетки. В титане - водород стимулирует образование гидридов титана двух различных структур. При образовании молекулы  $TiH_2$ , атомные валентные электроны гибридизуются. Два гибридизованные орбитали титана (основной ингредиент  $4s, 3d^2$ ) взаимодействует с одной гибридизованной орбитали ( $1s$ ) водорода и формируется двойная связь  $TiH_2$ .

Неионизированные атомы водорода образуют с титаном твердые растворы внедрения. Кристаллическая решетка  $\alpha$ -титана имеет два типа пустот, в которых могут размещаться внедренные атомы: тетрагональные пустоты с радиусом  $0,34 \text{ \AA}$  и октаэдрические пустоты с радиусом  $0,62 \text{ \AA}$ . [1]

Поскольку радиус атомов водорода равен  $0,41 \text{ \AA}$  [1], то они могут размещаться лишь в октаэдрических пустотах. Большие свободные колебания атомов водорода в таких пустотах повышают энергию системы. По этой причине растворимость водорода в  $\alpha$ -титане мала. Уже при сравнительно низких концентрациях водорода твердые растворы водорода в  $\alpha$ -титане становятся термодинамически неустойчивыми.

В объемно-центрированной решетке  $\beta$ -модификации титана пустоты с радиусом  $0,44 \text{ \AA}$  почти точно соответствуют атомному радиусу водорода. Поэтому водород хорошо растворяется в  $\beta$ -фазу титана, стабилизируя ее. При низких концентрациях водорода титан находится в состоянии металлической  $\alpha$ -фазы плотнейшей гексагональной упаковки. Когда содержание водорода

является 0.22%(массовая доля), возможно образование гидридов двух типов. Гидрид первого типа имеет гранцентрированную тетрагональную решетку. Второй гидрид, это  $TiH_2$ , имеет кубическую гранцентрированную решетку[1]. В титане - водород стимулирует образование гидридов титана двух различных структур. При образовании молекулы  $TiH_2$ , атомные валентные электроны гибридизуются. Два гибридизованные орбитали титана(Основной ингредиент -  $4s, 3dz_2$ ) взаимодействуют с одной гибридизованной орбитали(1s) водорода и формируется двойную связь  $TiH_2$ .

Поглощение водорода титаном сопровождается увеличением объема из-за меньшей плотности гидроксида титана. Плотность титана при гидрировании линейно уменьшается от 4,506 до 4,27г/см<sup>3</sup> при увеличении содержания водорода от 0 до 40%(атомн.). Плотность гидроксида титана состава  $TiH_{1.63}$  составляет 3,912г/см<sup>3</sup>. т.е. примерно на 13% меньше плотности титана. Плотность гидроксида состава  $TiH_{1.75}$  меньше плотности титана на 15,5%. Растворимость водорода в кристаллической решетке титана составляет 0,002

$$\text{вес. \%} (\approx \frac{1 \text{ атомов } H}{1044 \text{ атом } Ti}). [1]$$

## 2.2 Взаимодействие водорода с никелем

В узком диапазоне концентраций смеси водорода и никеля могут образовываться структуры. Описание таких структур имеет значение для понимания процессов образования гидроксида никеля  $\text{NiH}_2$ . При комнатной температуре, наиболее стабильной формой никеля является гранцентрированной кубической (ГЦК) структура  $\alpha$ -никель. Это довольно мягкий металлический материал, который может растворить лишь очень небольшую концентрацию водорода, только 0,00005 масс.% при 25°C[6]. Фазу твердый раствор с растворенным водородом, который поддерживает такую же кристаллическую структуру, что и исходный никель называется альфа-фазой.

При температуре 25°C водород можно растворить в никеле под давлением ~6 кбар, но водород выйдет из металла, если давление упадет ниже 3,4 кбар[6].

### **3 Изучения выхода водорода(ТСГВ и РСГВ)**

Методом термостимулированного газовыделения изучены особенности накопления водорода в образцах нержавеющей ферритной стали при насыщении из водного раствора (электролитический способ), из водородной плазмы (плазменное насыщение) и из газовой среды (метод Сивертса).

#### **3.1 Методика и установка исследования термо- и радиационно-стимулированного газовыделения водорода**

Исследование газовыделения при линейном нагреве, можно проводить как с помощью внешнего нагрева ячейки с образцом нихромовым нагревателем камеры 12 рис.5,(нагрев до температуры  $\sim 1000^{\circ}\text{C}$ ), так и с помощью нагрева в условиях высокого вакуума до температуры  $2000^{\circ}\text{C}$  и более, путем непосредственного пропускания тока через образец, помещенный в камеру 11. Внешний нагреватель 12 представляет собой кварцевую печь, состоящую из кварцевой трубки, на которую намотана спираль из нихрома, закрытая теплоизолятором(асбест); Кварцевая печь надевается на ячейку с образцом 14, которая представляет собой цилиндрическую трубку из нержавеющей стали, присоединенную(вакуумно плотно) к вакуумируемой камере. Между печью и ячейкой для нагрева образца помещается термопара 23. Подвод тока для нагрева образца осуществляется через токов воды в керамических изоляторах. В камере 7 на отдельных фланцах могут размещаться (по очереди, в зависимости от задачи) либо охлаждаемый да азотных температур держатель образца 8, либо ячейка для изучения проницаемости водорода через



металлические мембраны.

Система автоматизации управляется компьютерной программой Project и позволяет производить линейный нагрев образцов от 20 до 1000 °С (и от 20 до 2000 °С) с заданной скоростью от 0,1 до 5 °С/с.[1]

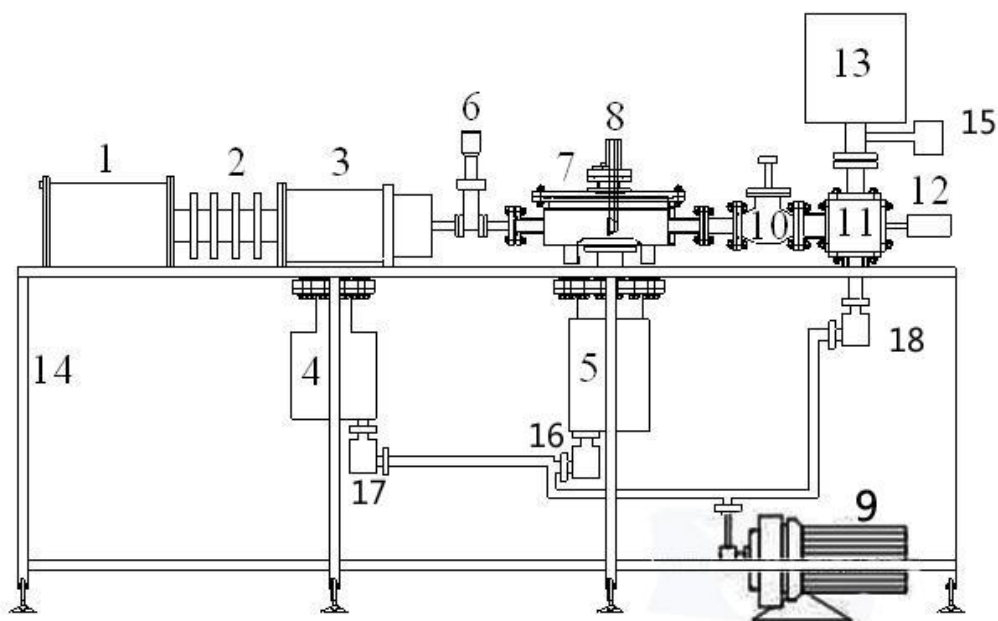


Рисунок 5 Схема (внешний вид) вакуумной части установки для исследования термо-и радиационно-стимулированного газовыделения: 1 – блок питания электронной пушки; 2 – изолятор электронной пушки; 3 – фокусирующая система электронной пушки; 4–турбомолекулярный насос (НБТ 100 ФО); 5 – гибридный турбомолекулярный насос (АТН 300); 6 – высоковакуумный затвор; 7 – камера; 8 – ячейка для электронного и рентгеновского облучения образцов; 9 – форвакуумный насос (ISP-250 С); 10 – высоковакуумный вентиль; 11 – камера внутреннего нагрева образца; 12 – камера внешнего нагрева образца; 13 – масс-спектрометр; 14– цельносварная станина.15 – вакуумметр, 16–вентиль , 17–вентиль , 18–вентиль[9]

Установка (рис.5) для изучения термостимулированного выхода водорода из металлов состоит из вакуумных системы, устройств нагрева и системы регистрации параметров процесса выделения растворенных и адсорбированных

атомов и молекул. Высоковакуумная система имеет две ступени откачки для получения высокого вакуума: форвакуумный насос 9 (ISP-500 С), турбомолекулярный насос 4 (НВТ 100 ФО). Это дает возможность достигнуть предельного (минимального) давления, равного  $10^{-6}$  мм.рт.ст., во всех аналитических камерах. Контроль вакуума осуществляется вакуумметрами ВИТ-2 и Stabil-Ion фирмы Granville-Philips.

В установке, в зависимости от поставленной задачи может использоваться один из двух масс-спектрометров: либо монополь производства Украины (МХ-7304), либо один из самых совершенных на сегодняшний день квадрупольный масс-спектрометров – анализатор остаточной атмосферы (RGA) серии MicroVisionPlus. Этот прибор, обладает минимальным температурным дрейфом и быстрым выходом на режим, обеспечивает высокоскоростное сканирование в широком диапазоне а.е.м. и мгновенным определением отклонения парциального давления газа.

Влияние ускоренных электронов на образцы, осуществлялось с помощью исследовательского комплекса представленного на рис.6. Энергия, при которой можно производить облучение ускоренными электронами лежит в диапазоне 10–120 кэВ, при этом ток на поверхности можно изменять до 1 мА. Измерения тока электронов производится непосредственно с образца, при этом перед образцом расположена вольфрамовая фольга позволяющая перекрывать образец от прямого облучения поверхности электронами, без нарушения вакуума.

Для проведения радиационно-стимулированного газовыделения (РСГВ) с

одновременным подогревом образца был разработан нагревательный элемент.

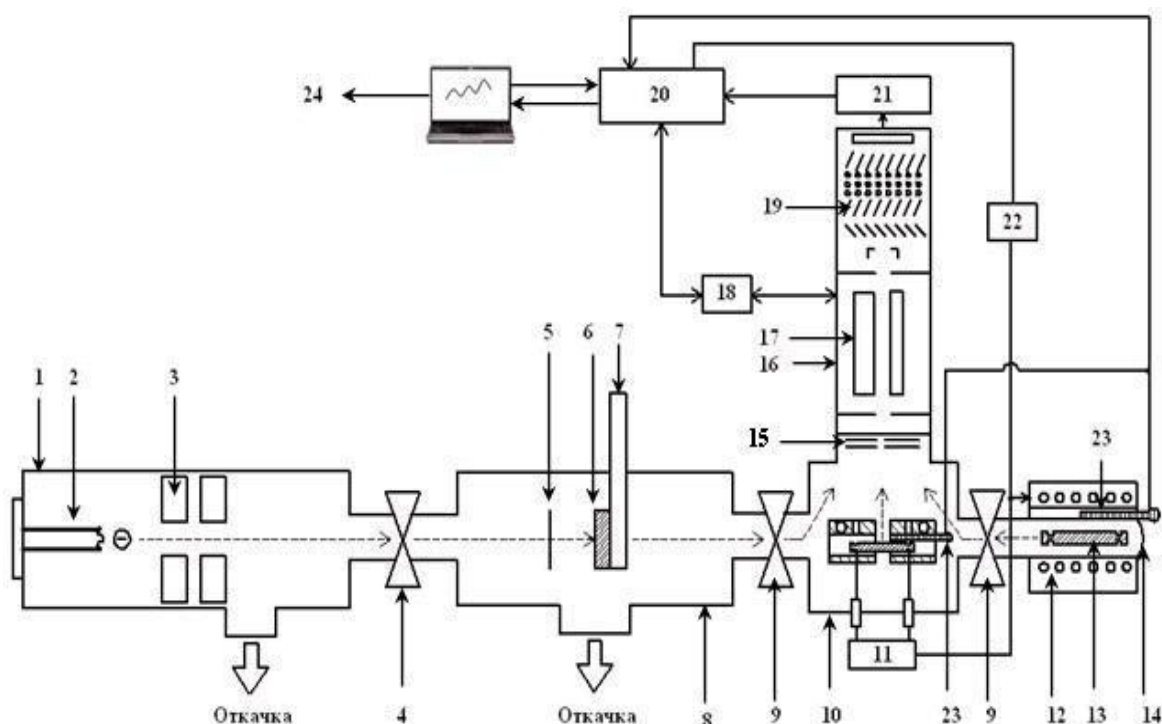


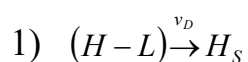
Рисунок 6 Функциональная схема установки для исследования термо- и радиационно-стимулированного газовыделения: 1 – электронная пушка; 2 – катодный блок электронной пушки; 3 – фокусирующая система электронной пушки; 4 – высоковакуумный затвор; 5 – флажок (вольфрамовая фольга для измерения тока электронов); 6 – образец для радиационно-стимулированных исследований; 7 – устройство охлаждения образца; 8 – титановая вакуумная камера; 9 – высоковакуумные вентили; 10 – камера высокотемпературного нагрева образца (2000 °С и выше); 11 – блок высокотемпературного нагрева; 12 – внешний нагреватель; 13 – образец низкотемпературного нагрева (до 1000 °С); 14 – камера внешнего нагрева; 15 – ионизатор масс-спектрометра; 16 – масс-спектрометр; 17 – квадрупольный масс-анализатор масс-спектрометра; 18 – блок управления масс-спектрометром; 19 – детектор масс-спектрометра (вторичный электронный умножитель); 20 – система автоматизации; 21 – усилитель сигнала с ВЭУ; 22 – блок внешнего нагрева; 23 – термопары; 24 – компьютер.[8]

Нагревательный элемент позволяет, как поддерживать постоянную температуру на образце, так и производить линейный нагрев во время облучения. Нагревательный элемент 3 закреплен на съёмном фланце 1, а при помощи

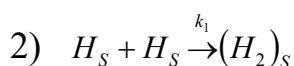
вакуумного разъёма был подведен источник питания 2, позволяющий производить как линейный, так и импульсный нагрев образца, используя программу Project, при этом температура на поверхности образца за счет источника питания может достигать  $\sim 500$  °С. Для получения тока с поверхности образца при облучении ускоренными электронами и изменения температуры, в процессе облучения, поверхности исследуемого образца была подведена хромель-алюмелевая термопара и токосъёмник, что позволило получать величину тока и температуры непосредственно с поверхности образца во время облучения.

### 3.2 Исследования термостимулированного газовыделения(ТСГВ) водорода из металлов

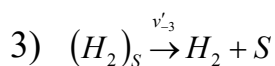
Атомы водорода могут диффузионно выходить на поверхность со скоростью  $v_D$ . Атомы водорода рекомбинируют на поверхности в молекулы. Молекулы десорбируются с вероятностью  $v'_{-3}$ . Стадийная модель такого процесса имеет вид[7]:



Диффузионный выход атома Н на поверхность из невозбужденной связи со скоростью  $v_D$ ;



Рекомбинация атомов на поверхности;



Десорбция молекул.

Здесь:  $v_D$  – скорость диффузионного выхода водорода на поверхность;  $k$  – скорость реакции диффузионной рекомбинации атомов H;  $v'_{\cdot 3}$  – относительная вероятность десорбции.

### 3.2.1 Процесс диффузионного выхода водорода в режиме линейного нагрева

Полученные результаты показывают, что увеличение толщины образца сопровождается сдвигом максимума термогазовыделения в высокотемпературную область. По положению максимума термогазовыделения и точек перегиба на кривых термогазовыделения удастся определить энергию активации и предэкспоненциальный множитель коэффициента диффузии для титана.

По положению максимума термогазовыделения  $T_{\max}$  можно определить величину энергии активации диффузионного выхода водорода в режиме линейного нагрева по формуле:

$$E_a = xkT_{\max}$$

Величина  $x$  определяется из решения уравнения

$$x \exp x = \frac{E_a}{kT_{\max}} \exp\left(\frac{E_a}{kT_{\max}}\right) = \frac{\pi^2 D_0 T_{\max}}{d^2 \beta} = \pi^2 \left(\frac{l_D}{d}\right)^2 \frac{v_{\text{диф}} T_{\max}}{\beta},$$

Для первого закона Фика:

$$J = -D \frac{\partial \phi}{\partial x}$$

Где  $J$  - диффузионный поток,  $D$  - коэффициент диффузии,  $\phi$  - концентрация,  $x$  - длина.

По закону сохранения массы:

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x} J = \frac{\partial}{\partial x} \left( D \frac{\partial \phi}{\partial x} \right) = D \frac{\partial}{\partial x} \frac{\partial \phi}{\partial x} = D \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2}$$

Полученного по положению максимума плотности диффузионного потока водорода для уравнения:

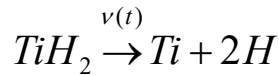
$$\frac{\partial n}{\partial t} - D \frac{\partial^2 n}{\partial x^2} = 0$$

С граничными и начальными условиями:

$$n(x, t) \Big|_{t=0} = n_0, -D \frac{\partial n}{\partial x} \Big|_{x=\pm \frac{d}{2}} = \mp v_D n(\pm \frac{d}{2}, t)$$

### 3.2.2 Процесс десорбции водорода в режиме менейного нагреве образца

Когда тепература больше чем 600°C, поток водорода из титана исределлется рарлочиением гидрида титана.



$$\frac{\partial C_{TiH_2}(t)}{\partial t} = -2v C_{TiH_2}(t)$$

$$C_{H_2}(t) = C_0 v(t) e^{-\int_0^t v(\tau) d\tau}$$

$$C_H = 2C_{H_2} = 2C_0 v(t) e^{-\int_0^t k(\tau) d\tau}$$

$$v(t) = v_0 e^{-\frac{E_{акт.}}{k(T_0 + \beta t)}}$$

Где  $v(t)$  - относительная вероятность ( $c^{-1}$ ) распада гидрида титана  $TiH_2 \xrightarrow{v(t)} Ti + 2H$ ,  $v_0$  - предэкспоненциальный множитель,  $C_0$  - Начальная концентрация.

Плотность потока водорода из пластины титана.

Можно получить из решения неоднородного диффузионного уравнения:

$$\frac{\partial n}{\partial t} - D \frac{\partial^2 n}{\partial x^2} = 2c_0 v_0 e^{-\frac{E_a}{k(T_0 + \beta t)}} \cdot e^{-\int_0^t \frac{E_a}{k(T_0 + \beta \tau)} d\tau}$$

Где  $v$  - скорость реакции  $TiH_2 \xrightarrow{v(t)} Ti + 2H$ .  $v_0 = 10^{12} \div 10^{13} \text{с}^{-1}$ ,  $C_0$  заависит от метода насыщения водорода.

### 3.2.3 Экспериментальные результаты термостимулированного выхода водорода

Изучение миграции, диффузии и выхода изотопов водорода из металлов в условиях линейного нагрева со скоростью 1 град/сек осуществлялось методом масс-спектрометрии на высоковакуумной ( $P_{\text{ост}} < 10^{-5}$  Па) установке с безмаслянной откачкой. На рисунке 7, 8 приведены спектры ТСГВ никеля после насыщения в электролите. На рисунке 9, 10, 11, 12 приведены спектры ТСГВ титана после насыщения в электролите.

На рисунок 7 приведен график интенсивности выхода водорода из никеля в режиме линейного нагрева образца (ТСГВ). Предварительно образец был насыщен водородом в 0.5 М растворе  $H_2SO_4 + H_2O$  72 часа при плотности тока  $160 \text{ мА/см}^2$ . Скорость нагрева 1,0 град/сек, максимум термогазовыделения приходится на температуру  $345^\circ\text{C}$ .

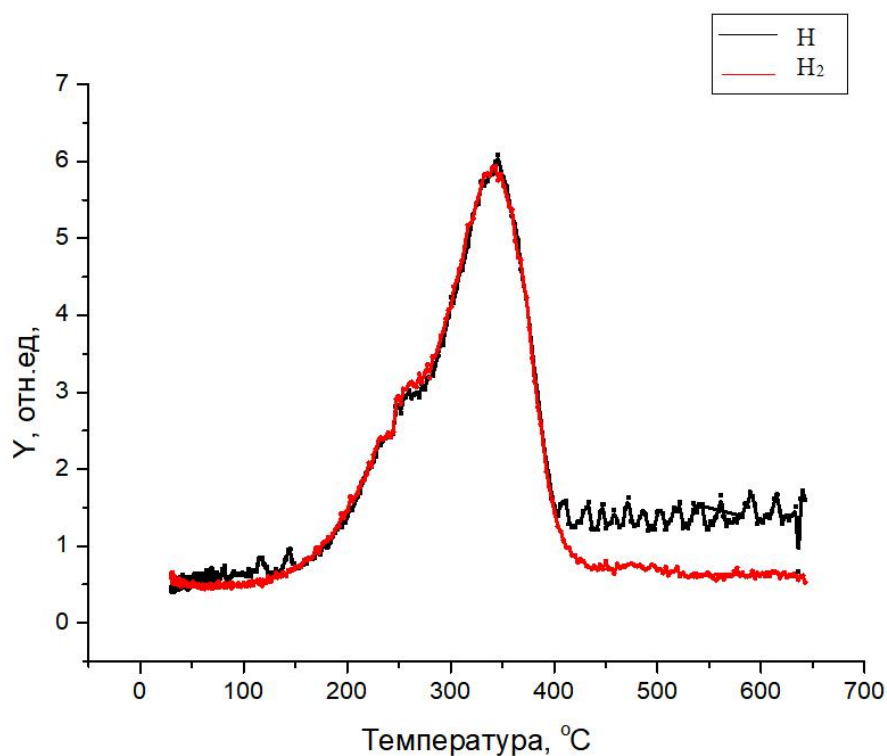


Рисунок 7 Выход водорода при ТСГВ из Ni в режиме линейного нагрева: Насыщение  $H_2SO_4(0.5M)$ ,  $t=72ч$ ,  $I=160mA/cm^2$ . Скорость нагрева 1,0 град/сек  $T_{max}=350\text{ }^{\circ}C$ . Толщина образца 0,2 мм, размеры 2x25 мм

На рисунок 8 приведен график интенсивности выхода дейтерия из никеля в режиме линейного нагрева образца(ТСГВ). Предварительно образец был насыщен дейтерием в 0.5 М растворе  $D_2SO_4+D_2O$  72 часа при плотности тока 160  $mA/cm^2$ . Скорость нагрева 1,0 град/сек, максимум термогазовыделения приходится на температуру  $400^{\circ}C$ .



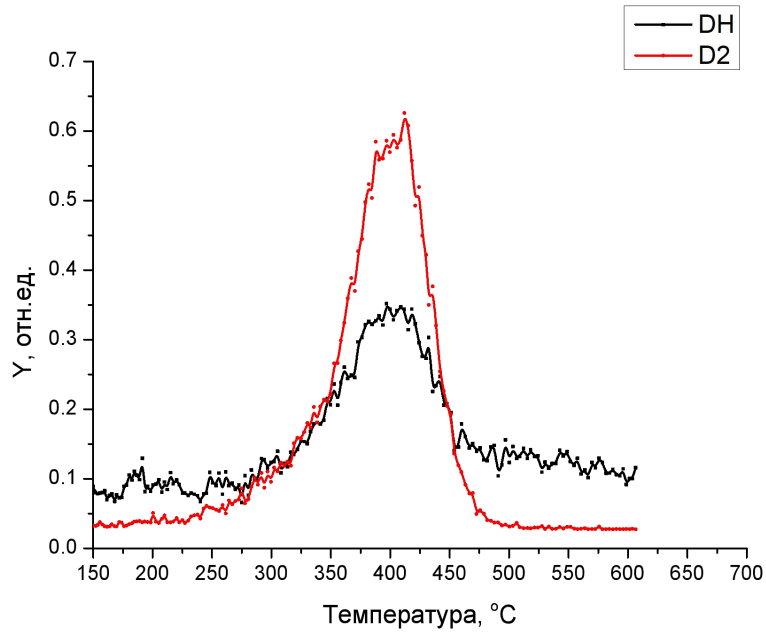


Рисунок 8 Выход дейтерия при ТСГВ из Ni. Насыщение дейтерием Ni в D<sub>2</sub>O + D<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>(0.5M), t=72ч I=160мА/см<sup>2</sup>. Скорость нагрева 1,0 град/сек, T<sub>макс</sub> = 400 °С, Толщина образца 0,2 мм, размеры 2x25 мм

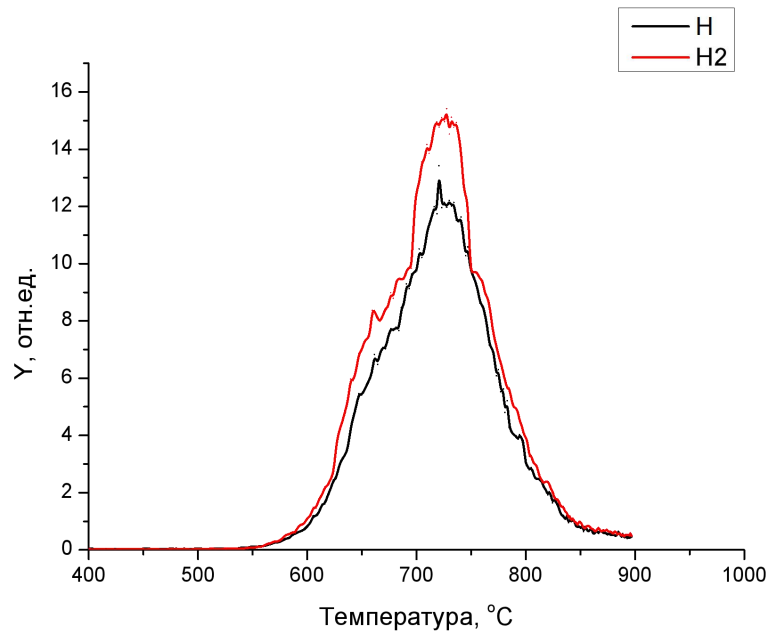


Рисунок 9 ТСГВ\_Ti\_ВТ1-0\_H2SO4(1M)\_t=6h\_I=0.2A\_d=0.5mm

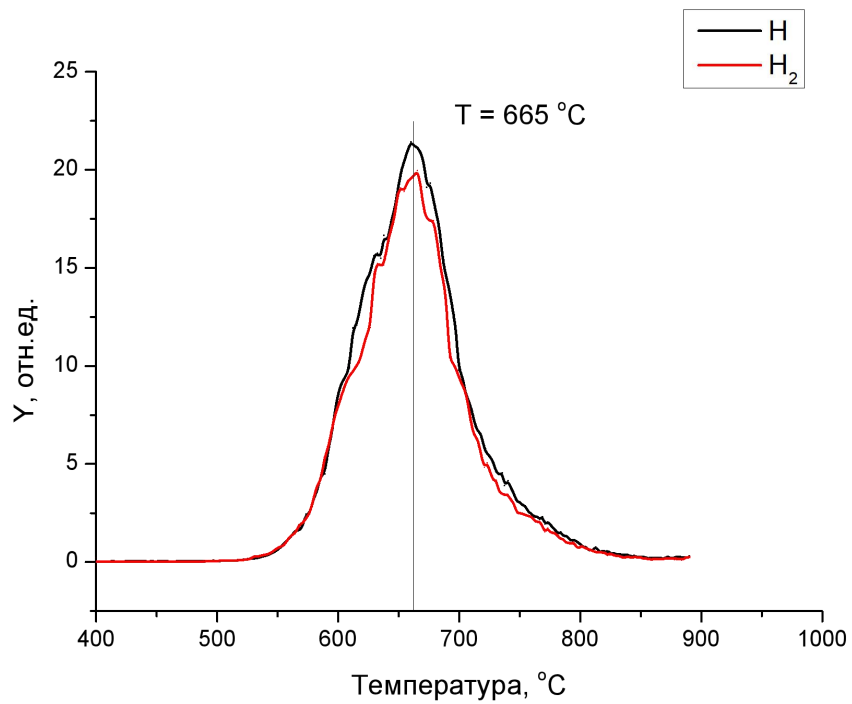


Рисунок 10 ТСГВ\_Ti\_Vт1-0\_H2SO4(1M)\_t=6h\_I=0.2A\_d=0.5mm

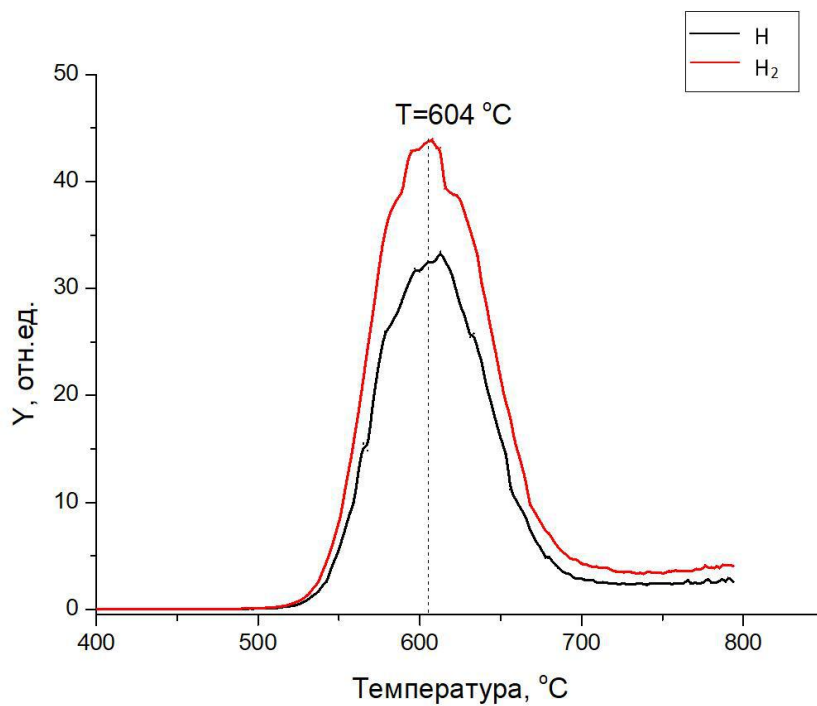


Рисунок 11 ТСГВ\_Ti\_Vт1-0\_H2SO4(1M)\_t=6h\_I=0.2A\_d=0.19mm

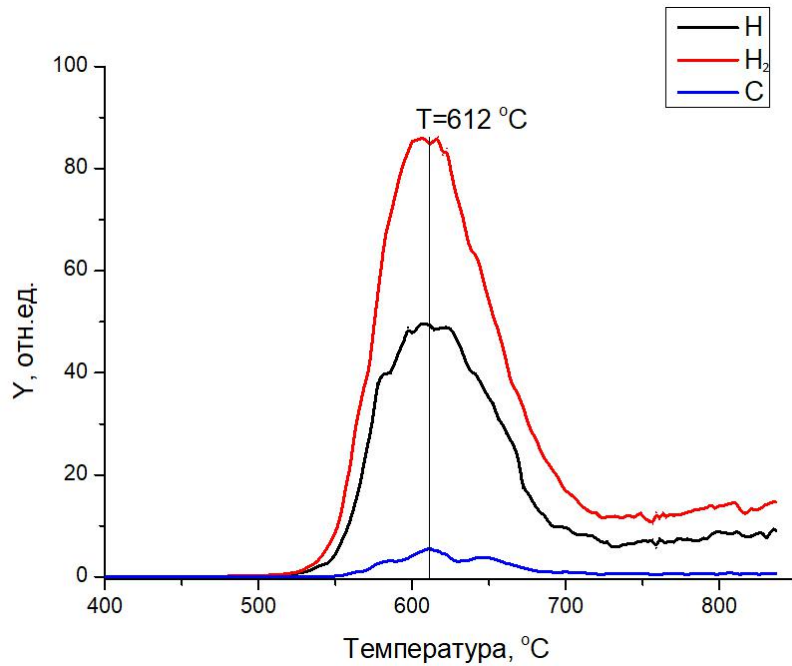


Рисунок 12 ТСГВ\_Ti\_Вт1-0\_H2SO4(1M)\_t=6h\_I=0.2A\_d=0.29mm

При равновесном нагреве титана в коаксиальной печи, наблюдается смещение положения максимума ТСГВ в высокотемпературную область с увеличением толщины образца, рисунок 13, что характерно для диффузионного выхода водорода из титана.[1]

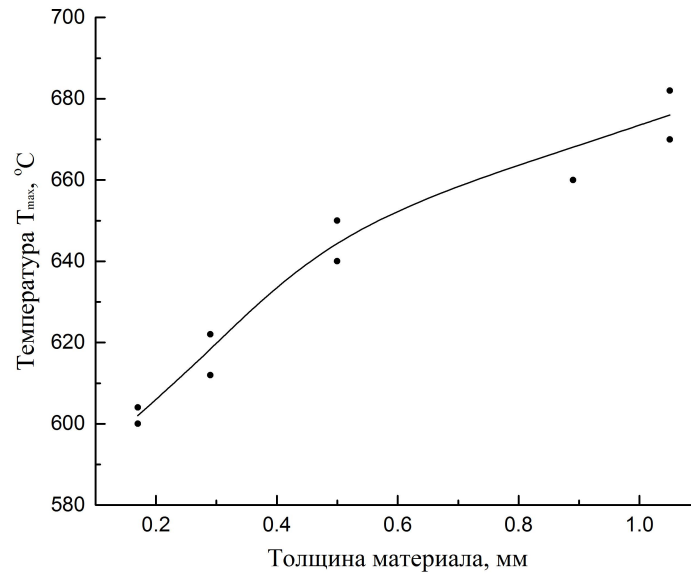


Рисунок 13 Зависимость температуры  $T_{max}$  достижения максимума ТСГВ водорода из титана при линейном нагреве 1 град/сек от толщины образца. Титан насыщен водородом электрохимическим методом:  $H_2O + H_2SO_4$  (1M);  $t=6h$ ;  $I=200mA/cm^2$

Диффузионную составляющую опишем одномерным уравнением диффузии. Координата  $x$  направлена перпендикулярно боковым граням пластины, начало координат  $x=0$  в центре пластины [1]:

$$\frac{\partial n(x)}{\partial x} = D(t) \frac{\partial^2 n(x)}{\partial x^2}$$

$$D(t) = D_0 \exp\left[-\frac{E_\alpha}{k(T_0 + \beta t)}\right]$$

где  $T_0$  - исходная температура образца,  $\beta$  – скорость нагрева (град/с). В нашем случае нагрев линейный и  $\beta$  - постоянна.

Граничные условия определяются диффузионными потоками атомов водорода с левой и правой стороны металлической пластины толщиной  $d$  [1]:

$$\mp D(t) \frac{\partial n(x)}{\partial x} \Big|_{x = \mp \frac{d}{2}} = j_H(\mp \frac{d}{2}, t) = -[v_D n(\mp \frac{d}{2}, t) [\sigma_1 N + \sigma_2 N_1] - \frac{N_1}{\tau}]$$

Здесь  $D = \frac{l_D^2}{\tau}$ ,  $v_D = \frac{l_D}{\tau}$ ,  $\tau = \tau_0 \exp\left(\frac{E_a}{kT}\right)$  где  $l_D$  - расстояние диффузионного

скачка ( $\sim 1 \text{ \AA}$ ),  $\frac{1}{\tau_0} = v_{\text{diff}} \sim 10^{13} \text{ c}^{-1}$  - частотный фактор диффузии с учетом энтропии активации, т.е. число попыток в единицу времени частицы совершить перескок с учетом перестройки активированного комплекса,  $\tau$  - среднее время диффузионного скачка,  $\sigma_1$  - сечение адсорбции атома H-водорода на поверхности;  $\sigma_2$  - сечение ударном рекомбинации атома H с адсорбированным атомом H на поверхности;

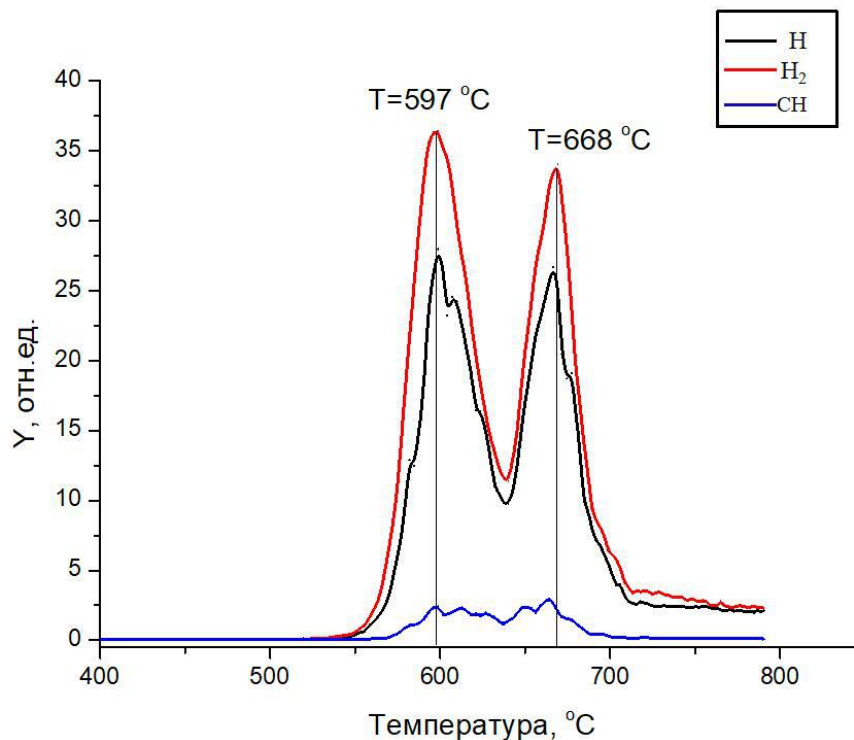


Рисунок 14 ТСГВ, Ti, ВТ1-0, P=2атм, t=60мин, T=600°C, d=0.2mm, C=0,42масс%.

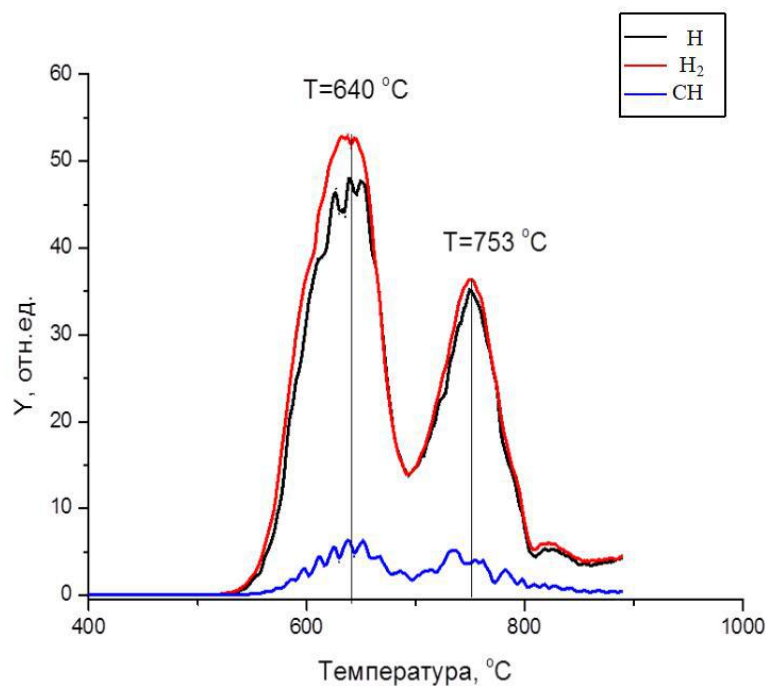


Рисунок 15 ТСГВ, Ti, Вt1-0, P=2атм\_t=60мин\_T=600°C, d= 0.93mm,  
C=0,33масс%.

Полученные результаты показывают, что увеличение толщины образца сопровождается сдвигом максимума термогазовыделения в высокотемпературную область. По положению максимума термогазовыделения и точек перегиба на кривых термогазовыделения удастся определить энергию активации и предэкспоненциальный множитель коэффициента диффузии для титана.

в приповерхностном слое, а при насыщении методом Сиверта водород диффундирует к поверхности. Спектры термостимулированной десорбции водорода из образцов имеют низкотемпературный и высоко-температурный пики. Установлено, что низкотемпературный пик связан с десорбцией свободного водорода с поверхности образцов, а

высокотемпературный пик – с десорбцией водорода после распада гидридов.

По положению максимума термогазовыделения  $T_{\max}$  можно определить величину энергии активации диффузионного выхода водорода в режиме линейного нагрева

$$E_a = xkT_{\max}.$$

Величина  $x$  определяется из уравнения

$$x \exp x = \frac{E_a}{kT_{\max}} \exp\left(\frac{E_a}{kT_{\max}}\right) = \frac{\pi^2 D_0 T_{\max}}{d^2 \beta} = \pi^2 \left(\frac{l_D}{d}\right)^2 \frac{\nu_{\text{диф}} T_{\max}}{\beta},$$

Образец	$D_0$ , $10^{-3}\text{cm}^2/\text{c}$	$T_{\max}$ , °C	$E_{\text{диф.}}$ , eV	$T_{\max}$ , °C	$E_{\text{десор.}}$ , eV
Ti(d=0.20m m)	10	597	0.62	668	1.65
Ti(d=0.93m m)	10	640	0.71	753	1.73

Полученные результаты показывают, что наиболее вероятной лимитирующей стадией является выход водорода из приповерхностного слоя титана с высоко активационными десорбционными процессами.

### 3.3 Исследования радиационного газовыделения(РСГВ)

#### 3.3.1 Механизмы миграции водорода под действием ионизирующего излучения

Существование водорода в металлах с концентрацией ( $\geq 10^{19}\text{cm}^{-3}$ )[9], водород насыщает нарушенные связи, фиксирует точечные дефекты, дислокации и микрополости. Облучение, которое под эффектом ионизирующего излучения с энергией, которая ниже порогового значения для образования дефектов вызывает: освобождение атомов водорода дислокации[9], которое стимулировало

десорбцию водорода из границ зерен[9] и неравновесную диссоциацию молекул водорода в микрополостях[10]. Атомы водорода в металлах имеют высокую подвижность до  $10^{12}$ [9] прыжков в секунду при температуре ( $T = 300 \text{ K}$ ), которая больше чем 15-20 раз превышает подвижность тяжелых примесей при той же температуре[11]. Кроме того, под эффектом облучения, локальная вибрация H-связей лежит вне фононного спектра кристалла и в процессе принудительного расслабления сразу генерирует 3-5 фононов или энергию, передаваемую механизмом «дипольного(квадрупольного) заряда "в электронную подсистему твердых тел. Скорость этих процессов составляет  $10^7$ - $10^{10}\text{c}^{-1}$ [9], а колебания H-связи может сделать около  $10^5$ - $10^6$ [12] колебаний перед релаксацией. Эта форма водородной подсистемы создает благоприятные условия для обмена вибрационно-трансляционным (обмен V-T), неравновесное перераспределение и выделение водорода из твердого материала путем облучения. Следовательно, даже в металлах с быстрой релаксацией в электронной подсистеме ( $\tau \leq 10^{-13} - 10^{-14} \text{ c}$ )[9], наличие легких атомов водорода создает условие временного накопления энергии и способствует движению водорода и других примесных атомов. Электронные состояния атомов ядра возбуждаются первичным излучением, эти электронные состояния атомов ядра обеспечивают передачу энергии первичного пучка колебательным степеням свободы внутренних H-подсистем. В этих условиях, удаление водорода из мест локализации становится термически неравновесным и не может стимулироваться энергией тепловых фононов  $kT$ , тогда как его можно стимулировать долгоживущей



неравновесной энергией колебательного возбуждения  $\hbar\omega$  водородной подсистемы. Неравновесную энергию колебательного возбуждения водородно-металлической подсистемы можно оценить с методами сравнительного равновесия и неравновесного коэффициента диффузии водорода. Например, путем облучения образцов Pd с электронами при температуре 40, скорость диффузии изотопов водорода может быть увеличена до 30 раз[13]. При неравновесном внутреннем возбуждении, эффективный коэффициент диффузии водородной подсистемы, приведенный как:[14]

$$D^{ef} = \frac{\Gamma_{ex}}{\Gamma + \Gamma_{ex}} D_0 \exp\left(-\frac{E_D}{\hbar\omega}\right).$$

А для равновесного внутреннего возбуждения, эффективный коэффициент диффузии определяется как:  $D = D_0 \exp\left(-\frac{E_D}{kT}\right)$ , где  $\Gamma_{ex}$  - скорость генерации колебательных возбужденных состояний в подсистеме водород-металл;  $\Gamma$  - скорость релаксации колебательных возбужденных состояний в металлах, ( $\frac{\Gamma}{\Gamma_{ex}} \cong 50$ ) [9];  $E_D$  - энергия активации диффузии (0.23 eV для H в Pd [10]), можно оценить энергию колебательных состояний, как  $\hbar\omega = 0.2$  eV. Соотношение между равновесным и неравновесным эффективными коэффициентами диффузии при 313 K, заданное как:[14]

$$\frac{D^{ef}}{D} = 30,$$

Близкий смысл энергии может быть получен путем оценки энергии колебательной энергии водорода (существующей в палладии в виде протонов) подсистемы, если ее рассмотрение по аналогии с свободными электронами в

металлах. Если учесть, что степень насыщения Pd водородом высока и приблизительно один атом Н(D) для каждого атома Pd, то энергия плазменной вибрации:  $\hbar\omega = \hbar e \sqrt{\frac{\rho_{pd} N_A}{\mu_{pd} m_p \epsilon_0}} \cong 0.2 eV$ , где  $\rho_{pd}$ ,  $\mu_{pd}$  - Плотность и молярная масса палладия;  $m_p$  - Масса протона;  $N_A$  - Номер Авогадро;  $\epsilon_0$  - Электрическая постоянная.

Таким образом, степень неравновесности ( $\hbar\omega/kT$ ) и время жизни возбужденной водородной подсистемы в металлах могут быть высокими и достаточными для стимуляции неравновесной диффузии и выделения водорода и дейтерия из металлов путем облучения.

Еще одна дополнительная причина неравновесного излучения водорода (дейтерия) из металла, насыщенного атомами Н и D, путем облучения эффективно снижает потенциальный барьер для высвобождения  $H^+$  и  $D^+$  из глубины металла на поверхность. А также нейтрализуйте их и ускорите рекомбинацию атомов Н и D, чтобы сформировать неравновесную десорбцию молекул.

При достаточно высокой концентрации Н(D) - бондов в глубине металла, колебательное возбуждение от места их генерации начинает «распространяться» по всему объему образца в результате резонансного обмена колебательной энергией между Н-связи, расположенные в эквивалентных положениях (на рис. 11 показаны только атомы дейтерия, хотя мы имеем в виду, что путем миграции Н на поверхность они рекомбинируются с образованием молекул  $H_2$ , HD и  $D_2$ ). Так как частота колебаний и легких атомов Н(D) выходит за пределы фононного

спектра кристалла, поэтому релаксация этих связей фононным механизмом сложна, а подсистема водород-металл движется под действием энергии излучения в неравновесном колебательное возбужденное состояние с энергией  $\hbar\omega$ , больше тепловой энергии  $kT$ .

Когда энергия вибрационного возбуждения  $(H-L)^v$  В соединения превышает барьер активации переходного пути между двумя эквивалентными состояниями в решетке, началась неравновесная миграция водорода из глубины металла. Выделение водорода из объема металла должно преодолевать поверхностный потенциальный барьер, связанный с изменениями в размерности системы и захватом электронов. Этот потенциальный барьер может быть значительно уменьшен в месте воздействия пучка электронов на образец, где процесс нейтрализации происходит в условиях равновесного возмущения, а также миграция на поверхность ускоряется возбуждением водородной подсистемы (рис.1). Атомы H(D) мигрируют к поверхности металла и при столкновении, эти атомы рекомбинируются с образованием молекул  $H_2$  ( $D_2$ , HD).[9]

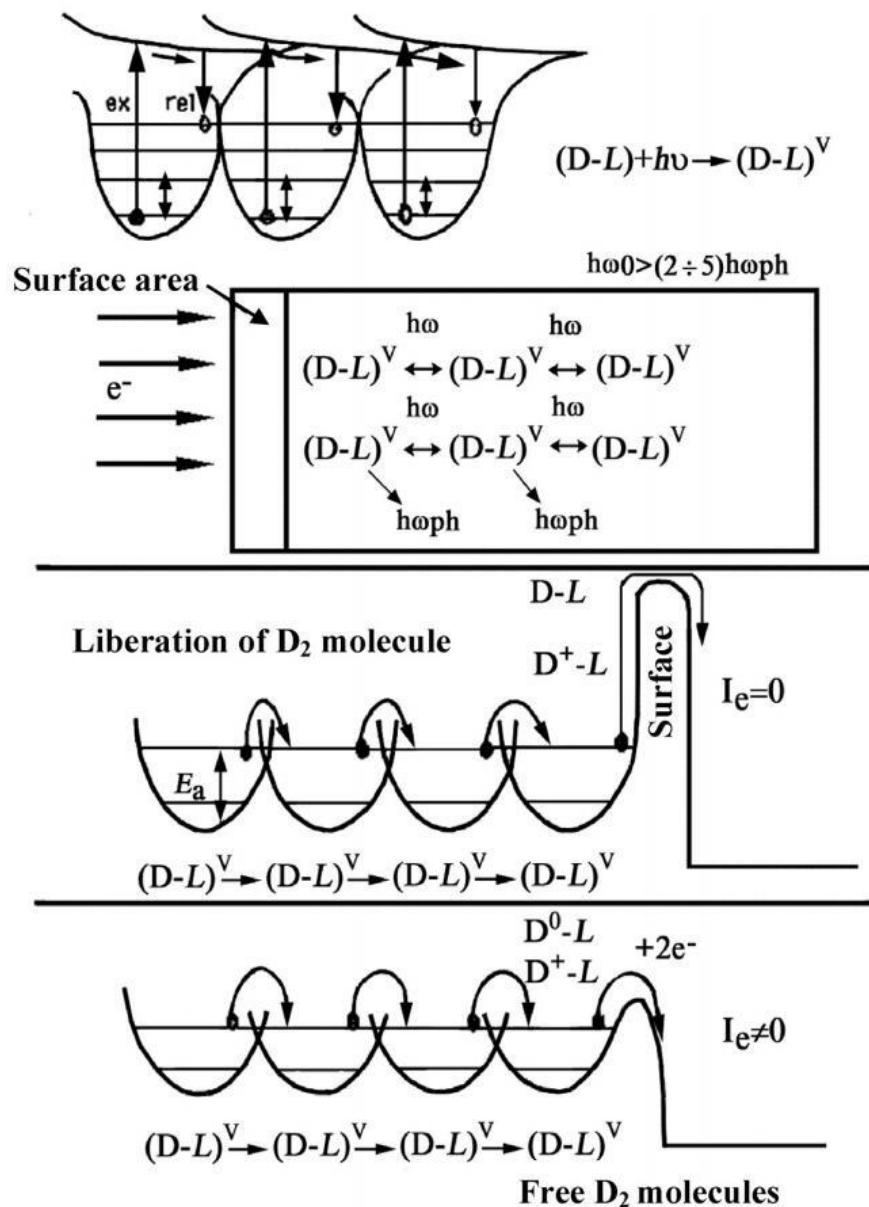


Рисунок 16 Энергетическая схема радиационно-стимулированных выбросов  $H_2$  ( $D_2$ ) с поверхности металла,  $h\omega_{ph}$  - энергия равновесных фононов (кТ)[9]

Процессы миграции атомов к поверхности и десорбции молекул ускоряются при наличии вибрационного возбуждения водородных связей, генерируемых под действием излучения. Эффективный канал возбуждения водородной подсистемы в твердых телах может быть связан с процессом с участием оже-электронов. При

облучении электроны выбиваются из внутренних оболочек адсорбции с достаточно высокой энергией.

При Оже-релаксации дырки, создаваемые первичным излучением в ядре атомов, могут переносить электроны во внешнее состояние отталкивающего состояния с дальнейшим распадом Н-связи. Вероятность электронного оже-перехода определяется избыточной энергией  $\Delta E$  и равной  $\eta = a\Delta E^3$  [15], где  $a$  - константа зависит от материала;  $6 \times 10^{-4} \leq a \leq 1.5 \times 10^{-6}$ , Сечение фотопоглощения:  $\sigma_0 = 10^{-18} \text{ cm}^2$ ; Поперечное сечение рентгеновской и электронно-стимулированной десорбции (диссоциации) с участием оже-процессов, оцененных как:  $\sigma = \sigma_0 \eta = 10^{-21} - 10^{-24} \text{ cm}^2$ . [9]

Доступные экспериментальные данные, оценивающие поперечное сечение, не противоречат приведенному выше. Поэтому сечение десорбции  $\text{H}^+$  с поверхности Pd(111) под действием электронов с энергией 100 кэВ и плотностью тока 1,3 мА /  $\text{cm}^2$  составляет  $10^{-23} \text{ cm}^2$  [16]; сечение фотодесорбции  $\text{H}_2\text{O}$  с поверхности стекла равно  $4 \times 10^{-19} \text{ cm}^2$ ; сечение десорбции водорода из поверхности нержавеющей стали находится в пределах  $10^{-18} - 10^{-20} \text{ cm}^2$  [17,18]. Эффективность атомов водорода «освобождение» в металле под воздействием излучения. Когда образцы облучаются первичными электронами или рентгеновскими лучами, их восстановление происходит в каскаде вторичных частиц (электронов, рентгеновских лучей) с коэффициентом умножения  $k_0$ . Что, в свою очередь, способно стимулировать «освобождение» атомов водорода от локализованного состояния. Атомы водорода, высвобождаемые в результате

обмена  $V-T$ . Оже-процесс и электронный переход к отталкивающему члену могут мигрировать со скоростью  $\Gamma_D$ , а также из мест делокализации или повторного захвата со скоростью  $\Gamma_1$  во время релаксации возбужденных состояний. В металлах основным проходом релаксации для колебательных возбужденных состояний является процесс превращения избыточной энергии в электроны проводимости, работающей со скоростью:

$$\Gamma_1 \sim 10^{10} s^{-1} (D^2 - W), \Gamma^1 \sim 10^{11} s^{-1} (H - W).$$

В стационарных условиях число неравновесных освобожденных атомов водорода, относящееся к числу возбужденных частиц в единице объема:

$$\beta = \frac{n^* \Gamma_D}{j / \lambda} = G \frac{\Gamma_D}{\Gamma_D + \Gamma_1} n \sigma k_0 \lambda,$$

где  $G = n \sigma j k_0$ ;  $j$  - интенсивность начального излучения;  $n$  - концентрация Н-связи;  $\sigma$  - сечение процесса неравновесной десорбции (или диссоциации);  $\lambda$  - длина пути первичных частиц с энергией, уменьшенной на стадии вторичных возбуждений с низкой энергией.

Эффективный выход атомов водорода доступен с быстрым выходом из возбужденного соединения и наличием неравновесного канала для возбужденных атомов с заметным выходом ( $n \sigma k_0 \lambda \geq 1$ ). При условии теплового неравновесия водородной атмосферы:[19]

$$\Gamma_D \approx \nu \cdot \exp(-E_D / \hbar \omega),$$

Где  $E_D$  - энергия активации неравновесного выхода водорода Н из

локализованных мест(  $E_D \approx 0.25eV$  ) [20];  $\hbar\omega$  - энергия неравновесного выхода квантовых осцилляций в возбужденной Н-связи;  $\nu = 10^{13} - 10^{14} s^{-1}$  - колебательная частота Н-связи. В случае термической стимуляции  $\Gamma_D = \nu \exp(-E_D/kT)$  при условии, что  $\Gamma_D > \Gamma_1$  не выполняется. Однако в неравновесных условиях  $\Gamma_D = \nu \exp(-E_D/\hbar\omega)$  равный или превышающий  $\Gamma_1$ . Поэтому неравновесное занятие колебательных уровней в Н-связях и возбуждение внутренней водородной атмосферы может стимулировать движение, перераспределение и выделение водорода из металла. Эффективность радиационно-стимулированного неравновесного высвобождения атомов водорода во вторичном возбужденном состоянии с энергией  $\sim 1$  эВ при взаимодействии ионизирующего излучения может быть выражена как [21]:

$$\beta = \frac{N_H}{jVt} = \sigma n \lambda k_0 \Omega \frac{\Gamma_D}{\Gamma_D + \Gamma_1}.$$

Оценим  $\beta$  для электронов (энергия 105 эВ), взаимодействующих с насыщенным водородом палладием. Такие электроны генерируют в своем проходе несколько вторичных частиц  $k_0$  (фотоны, электроны) с энергией  $\sim 1,0$  эВ (на конечной стадии), ( $k_0 = 10^5$ ), а толщина слоя  $\lambda \approx 5 \times 10^{-4} cm$ , сечение взаимодействия вторичных частиц  $\sigma \approx 10^{-22} cm^2$ ,  $\Gamma_D \gg \Gamma_1$ , и телесный угол  $\Omega = 4\pi$ . Легко видеть, что оцененное таким образом значение  $\beta \sim 1-3$  хорошо согласуется с экспериментальными значениями  $\beta_{exp.} \sim 1$ . [9]

Считается, что процессы равновесной диффузии и десорбции не ограничивают выход водорода из твердых тел под действием излучения. В

общем случае эти процессы следует учитывать, особенно в случае объемных образцов и при значительных энергиях связи атомов и молекул водорода с поверхностью.

### 3.3.2 Экспериментальные результаты по РСГВ

На рис 16, 3 представлены скорости выхода дейтерия из никеля, палладия и циркония в случае термического (ТСГВ) линейного нагрева со скоростью 1,0 К/с (кривые 1) и радиационного нагрева электронным пучком (кривые 2) со скоростью 10К/с. Увеличение скорости нагрева способствует сдвигу максимума на кривых газовой выделения в более высокотемпературную область.

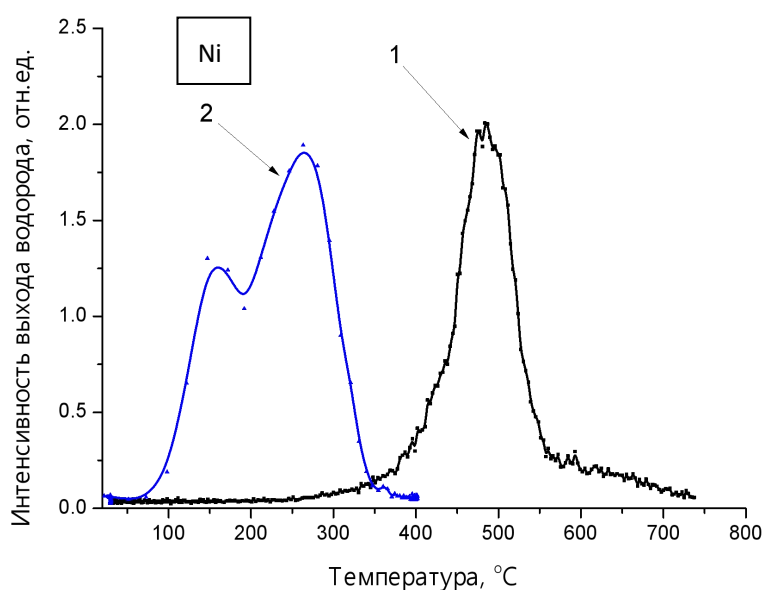


Рисунок 17 Термостимулированный(1) и радиационностимулированный(2) выход водорода из никеля. Сдвиг РСГВ по сравнению с ТСГВ  $\Delta T_{Ni}=475-270=225^{\circ}C$ . Никель насыщение электролит 0,1 м растворе  $H_2O- H_2SO_4$  плотность тока насыщения 20 мА/см<sup>2</sup>, время насыщения 20 часов. Толщина образца 0,2 мм, размеры 10x10 мм. Скорость нагрева : ТСГВ 1 град/сек., РСГВ



10 град/сек. Плотность тока электронного пучка 75 мкА/см<sup>2</sup>, энергия 35 кэВ

При нагреве титана пучком электронов с плотностью тока электронного пучка 75 мкА/см<sup>2</sup>, энергией пучка 35 КэВ, со скоростью до 10 град/сек наблюдается заметное смещение положения максимума РСГВ в низкотемпературную область по сравнению с нагревом в коаксиальной печи.

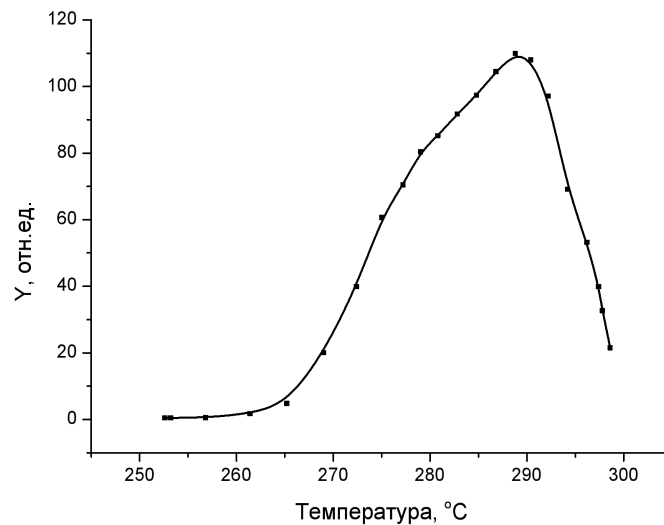


Рисунок 18 РСГВ, Ti, Вт1-0, P=2атм, t=60мин, T=600C, d=0.19mm, C=0,56масс%

#### **4 Численное моделирование и аппроксимация экспериментальных результатов по термостимулированному термогазовыделению**

##### **4.1 Численное решение диффузионного уравнения**

Уже известно, что диффузия в водородной подсистеме металлической пластины толщиной d описывается уравнением:

$$\frac{\partial n}{\partial t} = D \frac{\partial^2 n(x, t)}{\partial x^2}$$

Со следующими граничными и начальными условиями:

$$D \frac{\partial n}{\partial x} \Big|_{x=0} = v_D n(0, t)$$

$$D \frac{\partial n}{\partial x} \Big|_{x=d} = -v_D n(d, t)$$

$$n(x, t = 0) = n_0$$

Концентрация атомов Н на глубине  $x$  в момент времени  $t$  равна  $n(x, t)$ . Диффузия атомов Н происходит со скоростью  $v_D$  и коэффициентом диффузии  $D$ . В условиях линейного нагрева температура образца изменяется по закону:

$$T = T_0 + \beta t$$

Величина  $\beta = 1$  град/сек.

$$D = D_0 \exp\left(-\frac{E}{kT}\right), v_D = v_{D_0} \exp\left(-\frac{E}{kT}\right), D = \frac{l_D^2}{t_D}, v_D = \frac{l_D}{t_D}$$

Здесь:  $E$  – энергия активации диффузии атома Н в металле;  $l_D$  – длина диффузионного скачка ( $10^{-5}$  -  $10^{-6}$  см);  $t_D$  – время между диффузионными перескоками атома в решетке.

## 4.2 Конечно-разностный метод

Уравнение диффузии является дифференциальным уравнением в частных производных. Численный метод решения дифференциальных уравнений, основанный на замене производных разностными схемами. Является сеточным методом.

В работе изложены основы теории разностных схем и применения этой теории для изучения численных алгоритмов решения на ЭВМ типичных задач математической физики.

Основное внимание уделяется написанию разностной схемы и

теоретическому (априорному) исследованию ее свойств (погрешности аппроксимации, устойчивости, сходимости и точности), а также вычислительным алгоритмам для решения разностных уравнений, получающихся при сеточной аппроксимации. Формулируются конструктивные принципы (такие, как требования однородности и консервативности, суммарной аппроксимации и др.), которые теоретически обоснованы для линейных и проверены на практике для нелинейных задач. Эффективность общей теории разностных схем, в особенности теории устойчивости, проиллюстрирована на большом числе примеров, причем даже для простейших уравнений с постоянными коэффициентами общая теория дает не улучшаемые результаты.

Следует отметить, что для теории разностных схем типично предположение о том, что решение исходной задачи для дифференциального уравнения существует и имеет нужное по ходу изложения число производных, обеспечивающих максимальный порядок аппроксимации.

Со следующими граничными и начальными условиями:

$$\begin{aligned} D \frac{\partial n}{\partial x} \Big|_{x=0} &= v_D n(0, t) \\ D \frac{\partial n}{\partial x} \Big|_{x=d} &= -v_D n(d, t) \\ n(x, t = 0) &= n_0 \end{aligned}$$

Одним из способов решения этой задачи является использование дифференциальной аппроксимации для аппроксимации всех производных и разбиение пространства на  $x_0, \dots, x_j$ , и разделить время на  $t_0, \dots, t_j$ . Предположим,

что разрез сетки является однородным как во времени, так и в пространстве, интервал между двумя последовательными положениями в пространстве равен  $h$ , а интервал между двумя последовательными временами равен  $t$ . точка  $n(x_j, t_n) = n_j^n$  представляет численное приближенное решение  $n(x_j, t_n)$ .

Уже известно, что диффузия в водородной подсистеме металлической пластины толщиной  $d$  описывается уравнением:

$$\frac{\partial n}{\partial t} = D \frac{\partial^2 n(x, t)}{\partial x^2}$$

Чтобы привести уравнение к методу конечных-разностей, уравнения выполним следующее преобразование:

$$\begin{aligned} \frac{\partial n}{\partial t} &= D \frac{\partial^2 n(x, t)}{\partial x^2} \\ \frac{\partial n}{\partial t} &= \frac{n_j^{n+1} - n_j^n}{t} \\ \frac{\partial^2 n(x, t)}{\partial x^2} &= \frac{n_{j+1}^{n+1} - 2n_j^{n+1} + n_{j-1}^{n+1}}{h^2} \\ \frac{n_j^{n+1} - n_j^n}{t} &= D \left( \frac{n_{j+1}^{n+1} - 2n_j^{n+1} + n_{j-1}^{n+1}}{h^2} \right) \end{aligned}$$

Это неявный метод решения одномерного уравнения теплопроводности.  $n_j^{n+1}$  можно получить после решения линейных одновременных уравнений:

$$(1 + 2r)u_j^{n+1} - ru_{j-1}^{n+1} - ru_{j+1}^{n+1} = u_j^n$$

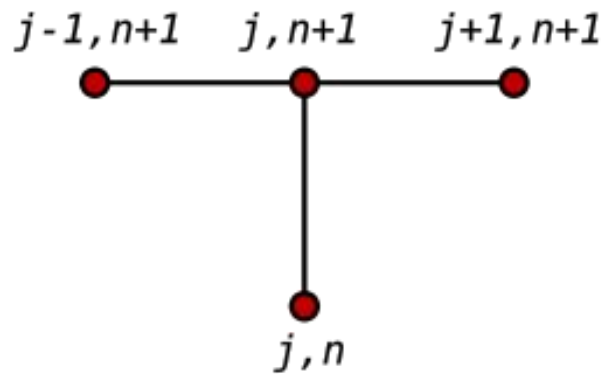


Рисунок 19 Шаблон неявного метода

### 4.3 приложение

```
function [u] = pianweifenfangcheng( x0_xn,t0_tk,h,tay,fx0,u0t,u1t,c )
```

```
%UNTITLED Summary of this function goes here
```

```
% Detailed explanation goes here
```

```
a=c^2*tay/h^2;
```

```
m=round((t0_tk(2)-t0_tk(1))/tay);
```

```
n=round((x0_xn(2)-x0_xn(1))/h);
```

```
for i=1:n+1;
```

```
x(i)=x0_xn(1)+h*(i-1);
```

```
end
```

```
for j=1:m+1;
```

```
t(j)=t0_tk(1)+tay*(j-1);
```

```
end
```

```

for i=1:n;

u(1,i)=fx0(x(i));

end

for j=1:m;

for i=2:n;

u(j,1)=u0t(t(j));

u(j,n+1)=u1t(t(j));

u(j+1,i)=a*u(j,i-1)+(1-2*a)*u(j,i)+a*u(j,i+1);

end

end

end

```

#### 4.4 Аппроксимация экспериментальных результатов

Ниже представлена часть программного кода:

```

>> T=400:10:1000;

>> for i=1:61;

D(i)=(5*10^(-1))*exp(-4637.68/T(i));end;

>> for i=1:61;

```

```
J = tongliang([0 0.17],[0 600],0.0034,12,@(x)10^20,@(x)0,@(x)0,sqrt(D(i)));
```

```
M(1,i)=J(50,50);end
```

На рисунке 16,17,18,19 представлено моделирование термостимулированного выхода водорода:

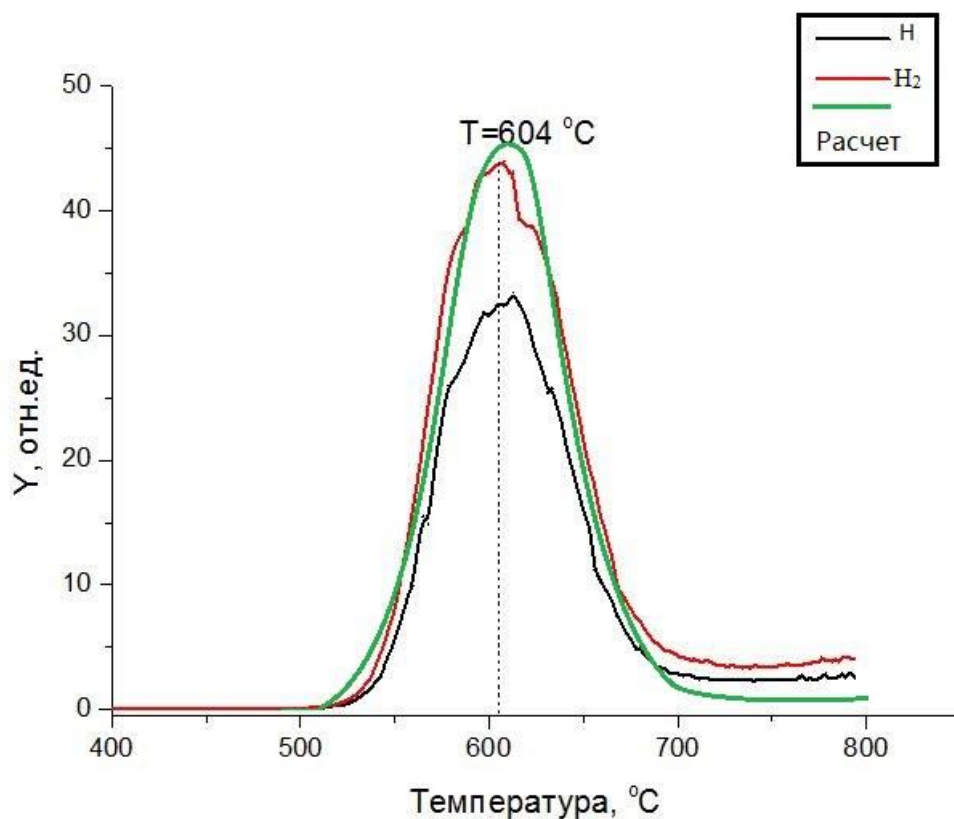


Рисунок 20 Моделирование термостимулированного выхода водорода, ТСГВ\_Ti\_Vт1-0  
\_H2SO4(1M)\_t=6h\_I=0.2A\_d=0.17mm;  $D_0=5 \cdot 10^{-1} \text{cm}^2 \cdot \text{c}^{-1}$ ,  $E=0.45 \text{эВ}$

Ниже представлена часть программы расчетов:

```
>> T=400:10:1000;
```

```
>> for i=1:61;
```

```
D(i)=(10^(-1))*exp(-4637.68/T(i));end;
```

```
>> for i=1:61;
```

```
J = tongliang([0 0.17],[0 600],0.0034,12,@(x)10^20,@(x)0,@(x)0,sqrt(D(i)));
```

```
M(1,i)=J(50,50);end
```

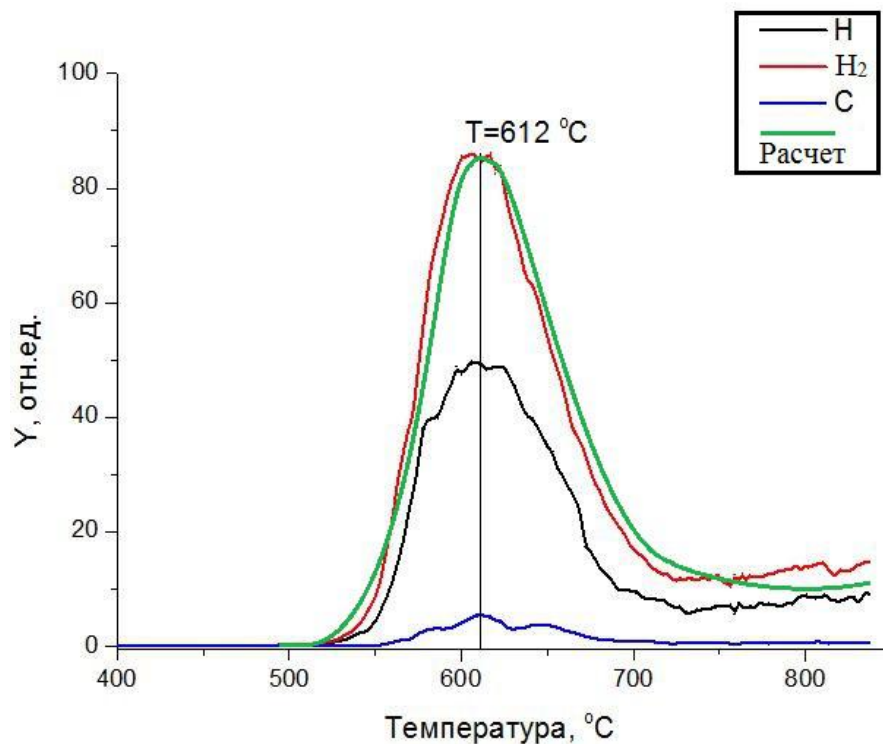


Рисунок 21 Моделирование термостимулированного выхода водорода, ТСГВ\_Ti\_Bт1-0  
\_H2SO4(1M)\_t=6h\_I=0.2A\_d=0.29mm;  $D_0=10^{-1}\text{cm}^2\cdot\text{c}^{-1}$ ,  $E=0.45\text{эВ}$

Ниже представлена часть программы расчетов:

```
>> T=400:10:1000;
```

```
>> for i=1:61;
```

```
D(i)=(10^(0))*exp(-7304.35/T(i));end;
```



```
>> for i=1:61;
```

```
J = tongliang([0 0.17],[0 600],0.0034,12,@(x)10^20,@(x)0,@(x)0,sqrt(D(i)));
```

```
M(1,i)=J(50,50);end
```

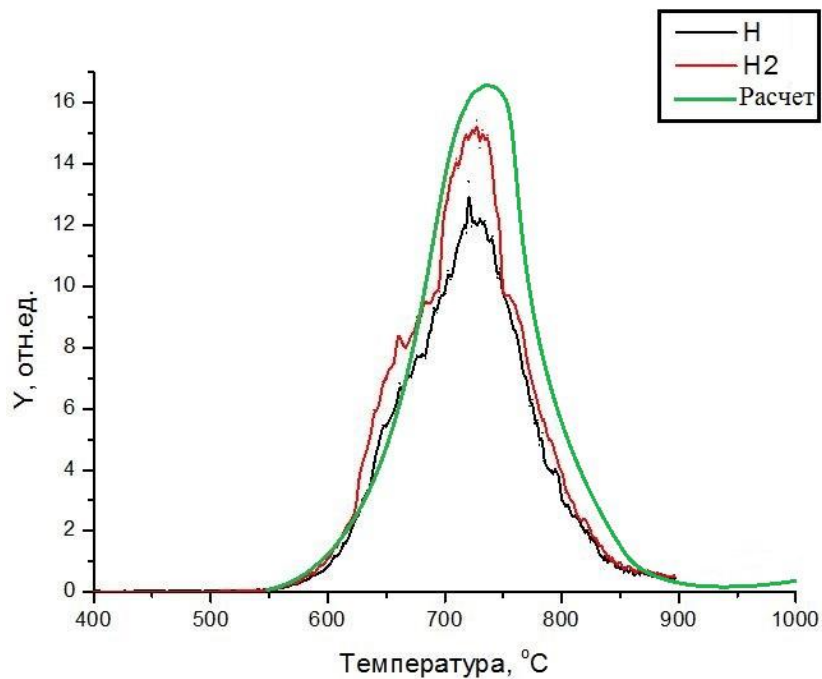


Рисунок 22 Моделирование термостимулированного выхода водорода, ТСГВ\_Тi\_Вт1-0

\_H2SO4(1M)\_t=6h\_I=0.2A\_d=0.5mm;  $D_0=10^0 \text{cm}^2 \cdot \text{c}^{-1}$ ,  $E=0.63 \text{эВ}$

Ниже представлена часть программы расчетов:

```
>> T=400:10:1000;
```

```
>> for i=1:61;
```

```
D(i)=(5*10^(-1))*exp(-4637.68/T(i));end;
```

```
>> for i=1:61;
```

```
J = tongliang([0 0.17],[0 600],0.0034,12,@(x)10^20,@(x)0,@(x)0,sqrt(D(i)));
```

```
M(1,i)=J(50,50);end
```

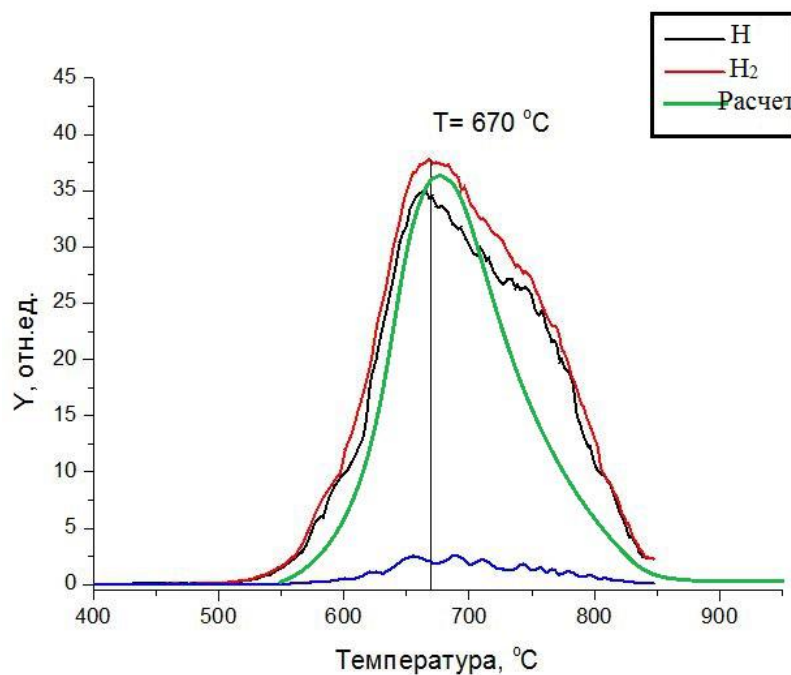


Рисунок 23 Моделирование термостимулированного выхода водорода, ТСГВ\_Ti\_Vт1-0  
 $\text{H}_2\text{SO}_4(1\text{M})$   $t=6\text{h}$   $I=0.2\text{A}$   $d=1.05\text{mm}$ ;  $D_0=5 \cdot 10^{-1} \text{cm}^2 \cdot \text{c}^{-1}$ ,  $E=0.45\text{эВ}$

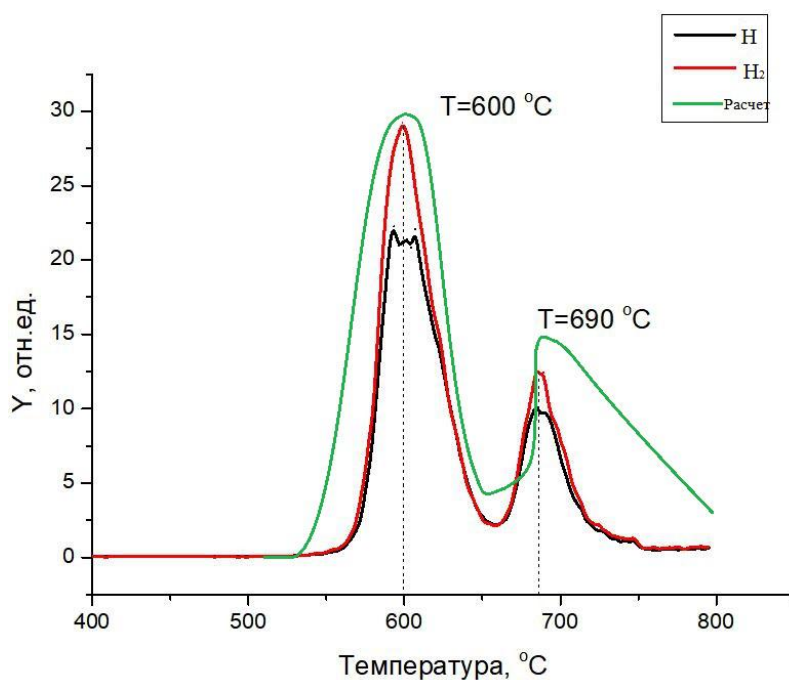


Рисунок 15 Расчетные результаты по термостимулированному газовыделению из Ti при параметрах:  
 $E_a=0,62\text{эВ}$ ,  $D_0=9 \cdot 10^{-2} \text{cm}^2/\text{c}$ ,  $E=2,91\text{эВ}$ ,  $k_0=1012\text{c}^{-1}$ ,  $C_0=1 \cdot 10^{17} \text{атомы}/\text{cm}^3$ ; экспериментные результаты  
 насыщение водородом методом Сивертса:  $P=2\text{атм}$ ;  $t=20\text{мин}$ ;  $T=600^\circ\text{C}$ ;  $d=0,27\text{мм}$

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мы получили задание по экспериментальному и теоретическому изучению процессов диффузии водорода в металлах Ni, Ti. Для выполнения данного задания были:

1. Рассмотрены модели процессов диффузионного выхода водорода в вакуум из предварительно насыщенных водородом плоских металлических образцов в условиях их нагрева по линейному закону и выбора оптимальных условий и методик проведения экспериментов. Сопоставление с экспериментом проведено для Ni, Ti;

2. Экспериментально исследован термостимулированный выход водорода из предварительно насыщенных водородом металлов Ni, Ti методом Сивертса, электролитически в режиме программируемого нагрева и облучения электронами;

3. Увеличение толщины образца сопровождается сдвигом максимума термогазовыделения в высокотемпературную область.

4. Получены экспериментальные результаты о радиационно-стимулированном (РСГВ) водорода под действием пучка электронов в допороговой области из Ni, Ti;

5. В системе «МАТЛАБ» мы создали программу с методом конечных-разностей. Из программы, получены результаты для разных параметров моделирования (время диффузии, толщина трубки, энергия активации и предэкспоненциальный множитель коэффициента диффузии);

6. В рамках простых моделей для оптимально подобранных образцов и условий эксперимента, удастся добиться удовлетворительного совпадения результатов численного моделирования с экспериментом.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Черданцев Ю. П. Методы исследования систем металл-водород: учебное пособие / Ю. П. Черданцев, И. П. Чернов, Ю. И. Тюрин. - Томск: Изд-во ТПУ, 2008. - 286с.
2. В.Н. Кудияров. Особенности распределения водорода в титане VT1-0 в зависимости от способа насыщения: электролитическим способом и методом Сивертса / В.Н. Кудияров, А.М. Лидер, Н.С. Пушилина, М. Кренинг - Томск: Изд-во ТПУ, 2012. 10с.-13с.
3. Nelis T., Pallosi J. Glow Discharge as a Tool for Surface and Interface Analysis // Applied Spectroscopy Reviews. 2006. No. 41. P. 227–258.
4. Guo Min. Hydrogen Embrittlement of Titanium in Seawater under Cathodic Polarization [Thesis] [D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2001.
5. Zhu Zufang. Character of Anti-corrosion and Its Application of Nonferrous Metals [M]. Beijing: Machinery Industry Press, 1995. - 106с.
6. Shan J. The Interaction of Water and Hydrogen with Nickel Surfaces // Leiden: Universiteit Leiden, 2009. – p. 94.
7. Тюрин Ю. И., Чернов И. П. Аккумулирующие свойства водорода в твердом теле – ISBN 5–283–03186–1 –2000 –P.213-234;
8. Хашхаш А.М. Исследование поведения водорода в нержавеющей стали при температурном и радиационном воздействии: автореф. дис. канд. техн. наук.

– Томск, 2010. – 19 с.

9. Yu.I. Tyurin, N.N. Nikitenkov, I.T. Sigfusson, A. Hashhash, Van Yaomin, A.S. Dolgov, L.I. Semkina Diffusion and release of hydrogen from metals under the effect of ionizing radiation//Vacuum Volume131, September 2016, Pages 73–80.
10. Брокгауза Ф.А. Энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона. / Ф.А. Брокгауза, И.А. Ефрона. – М.: Терра, 2001. – 40726 с.
11. Jai-Young Lee, S.M. Lee, Hydrogen trapping phenomena in metals with BCC and FCC crystals structures by the desorption thermal analysis technique, <http://www.sciencedirect.com/science/journal/02578972/28/3-4>, Surf. Coatings Technol. 28 (3e4) (1986) 301e314.
12. James A. Donovan, Accelerated evolution of hydrogen from metals during plastic deformation, Metall. Trans. A 7 (11) (1976) 1677e1683.
13. O.A. Kaybishev, R.Z. Valiev, Grain Boundaries and Properties of Metals, Metallurgy, Moscow, 1987.
14. I.E. Gabis, A.P. Baraban, V.G. Kuznetsov, D.I. Elets, M.A. Dobrotvorskii, A.P. Voyt, A mechanism of ultraviolet activation of the  $\alpha$ -AlH<sub>3</sub> decomposition, Intern. J. Hydr. Energy 39 (2014) 15844e15850.
15. I. Fremkel, D. Amfeld, Hydrogen in Metals, Mir, Moscow, 1981.
16. M.A. Kozhushner, V.G. Kustarev, B.R. Shub, Heterogeneous relaxation of the vibrational energy of the molecules on metals, Dokl. Phys. 237 (1977) 871-873.

17. I.P. Chernov, A.P. Mamontov, YuI. Tjyrin, YuP. Cherdantsev, Hydrogen migration in stainless steel and titanium alloys, stimulation by ionizing radiation, *J. Nucl. Mat.* 233e237 (1996) 1118e1122.
18. M.P. Cox, J.S. Foodd, R.M. Lambert, R.H. Prince, The halogen and alkali surface chemistry of group IIIA and IVA metals: Cl<sub>2</sub>, Br<sub>2</sub>, Na and Rb chemisorption and coadsorption on yttrium, titanium, zirconium and hafnium, *Surf. Sci.* 129 (2e3) (1983) 375e398.
19. R.B. Tahirov, Electrical phenomena in the AHC in the destruction of the surface of the laser radiation, *Dokl. Phys.* 280 (1) (1985) 140e142.
20. T. Miki, M. Ikeya, M. Touge, Trapping and radiation-induced detrapping of hydrogen in stainless steel exposed to liquid lithium, *J. Nucl. Mater.* 101 (1981) 350e353.
21. R.A. Caysey, L.M. Steck, The effect of gamma radiation on the diffusion of tritium in 304 stainless steel, *J. Nucl. Mater.* 123 (1984) 1518e1522.

## **5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

### **Введение**

Рыночные отношения в экономике страны вынуждают людей обладать достаточно большими знаниями по ведению бухгалтерского учёта и по расчёту экономической эффективности работ, производимых под его руководством.

Выполнение таких расчетов позволяет определить экономические показатели, характеризующие конечные результаты деятельности.

Достижение цели обеспечивается выполнением планирования научно-исследовательских работ и соответствующих расчетов.

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

Достижение цели обеспечивается решением следующих задач:

- оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований;
- определение возможных альтернатив проведения научных исследований, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- планирование научно-исследовательских работ;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.



## **5.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения**

### **5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования**

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

*Целевой рынок* – сегменты рынка, на котором будет продаваться в будущем разработка. В свою очередь, сегмент рынка – это особым образом выделенная часть рынка, группы потребителей, обладающих определенными общими признаками.

*Сегментирование* – это разделение покупателей на однородные группы, для каждой из которых может потребоваться определенный товар (услуга).

В зависимости от категории потребителей (коммерческие организации, физические лица) необходимо использовать соответствующие критерии сегментирования. Результаты сегментирования представлены в таблице 2.

Таблица 2. Сегментирование рынка

Оптимизация моделирование процессов радиационного и термостимулированного газовыделения водорода из металлов				
Сильная потребность	Развитие альтернативной энергетики	Антикоррозионная защита	Защита окружающей среды	Наука
Сильная потребность	+	+	+	
Слабая потребность				+

По результатам сегментирования можно сделать вывод о том, что результаты научной работы важны для развития, антикоррозионная защита, защиты окружающей среды.

### 5.1.2 Анализ конкурентных технических решений

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

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

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

прототипа и т.п.);

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

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

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты, пример которой приведен в табл. 3.

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная

Таблица 3. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
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
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
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
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>61</b>	<b>77</b>	<b>73</b>	<b>4,05</b>	<b>3,7</b>	<b>3,95</b>

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

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

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

Значение К позволяет говорить о перспективах разработки и качестве проведенного исследования. Если значение показателя К получилось от 5 до 4, то такая разработка считается перспективной. Если от 4 до 3 – то перспективность выше среднего. Если от 3 до 2 – то перспективность средняя.

Если от 2 до 1 – то перспективность ниже среднего. Если 1 и ниже – то перспективность крайне низкая.

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

### **5.1.3 SWOT-анализ**

Для исследования внешней и внутренней среды проекта применяют анализ SWOT – комплексный анализ научно-исследовательского проекта. Специфика данного анализа формируется несколькими этапами.

*Первый этап* заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде. Дадим трактовку каждому из этих понятий.

Таблица 4. Матрица SWOT

<p style="text-align: center;"><b>Сильные стороны</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Актуальность тематики;</li> <li>2. Использование одной из современных программ;</li> <li>3. Экологичность технологии;</li> <li>4. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии;</li> <li>5. Безопасность проведения исследований.</li> </ol>	<p style="text-align: center;"><b>Слабые стороны</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Недостаточное количество измерений;</li> <li>2. Закрытость программы;</li> <li>3. Предварительная подготовка экспериментальных образцов перед исследованием;</li> <li>4. Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца;</li> <li>5. Длительный срок поставок материалов (образцов) для проведения научного исследования.</li> </ol>
<p style="text-align: center;"><b>Возможности</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Энергетические вопросы привлечения внимания;</li> <li>2. Возможность появления новых условий измерений;</li> <li>3. Использование инфраструктуры ТПУ;</li> <li>4. Появление дополнительного спроса на результаты исследования;</li> <li>5. Антискоррозионная защита потребностей.</li> </ol>	<p style="text-align: center;"><b>Угрозы</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Отсутствие детектора;</li> <li>2. Проведение подобных экспериментов в других учебных заведениях;</li> <li>3. Задержки финансирования;</li> <li>4. Развитая конкуренция технологий энергии;</li> <li>5. Разработка новых методов исследования материалов.</li> </ol>

Результаты первого этапа SWOT-анализа представлены в таблице 4.

После того как сформулированы четыре области SWOT переходят к реализации второго этапа.

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

Возможно использование этой матрицы в качестве одной из основ для оценки вариантов стратегического выбора. Использование интерактивной матрицы помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей

областей SWOT. Интерактивная матрица проекта представлена в табл. 5

Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-».

Таблица 5. Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	+	-	+	+	-
	B2	+	+	-	-	+
	B3	-	+	-	-	+
	B4	-	-	+	+	-
	B5	+	-	-	+	-

Таблица 6. Интерактивная матрица проекта

Слабые стороны проекта						
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	-	-	-	-	-
	B2	+	0	-	+	-
	B3	+	+	+	0	0
	B4	-	-	+	-	-
	B5	-	-	+	-	+

Таблица 7. Интерактивная матрица проекта

Слабые стороны проекта						
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	-	+	-	-	-
	У2	+	-	+	+	+
	У3	-	+	-	-	0
	У4	+	0	-	+	-
	У5	+	-	+	-	-

Таблица 8. Интерактивная матрица проекта

Слабые стороны проекта						
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	У1	+	-	-	+	-
	У2	-	+	+	-	+
	У3	+	0	-	+	-
	У4	-	-	-	-	0
	У5	-	-	+	-	-

В рамках третьего этапа должна быть составлена итоговая матрица SWOT-анализа, которая приводится в табл. 9.

Таблица 9. SWOT-анализ

	<b>Сильные стороны</b>	<b>Слабые стороны</b>
	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Актуальность тематики;</li> <li>2. Использование одной из современных программ;</li> <li>3. Экологичность технологии;</li> <li>4. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии;</li> <li>5. Безопасность проведения исследований</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Недостаточное количество измерений;</li> <li>2. Закрытость программы;</li> <li>3. Предварительная подготовка экспериментальных образцов перед исследованием;</li> <li>4. Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца;</li> <li>5. Длительный срок поставок материалов (образцов) для проведения научного исследования</li> </ol>
<p><b>Возможности</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Энергетические вопросы привлечения внимания;</li> <li>2. Возможность появления новых условий измерений;</li> <li>3. Использование инфраструктуры ТПУ;</li> <li>4. Появление дополнительного спроса на результаты исследования;</li> <li>5. Анतिकоррозионная защита потребностей</li> </ol>	<p>Благодаря использования инновационной структуры экологичность и энергоэффективность технологии растет, а также рост цен конкурентов и снижение цены на сырье благотворно влияет на развитие предприятия</p>	<p>Отсутствие потенциальных потребителей может быть решено возможностью повышения цен конкурентов</p>
<p><b>Угрозы</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Отсутствие детектора;</li> <li>2. Проведение подобных экспериментов в других учебных заведениях;</li> <li>3. Задержки финансирования;</li> </ol>	<p>Экологичность технологии, а также её энергоэффективность могут ослабить влияние данных угроз.</p>	<p>Из-за отсутствия прототипа данной разработки, а также потенциальных потребителей при введении дополнительных требований к сертификации, а также из-за большой</p>



<p>4. Развитая конкуренция технологий энергии;</p> <p>5. Разработка новых методов исследования материалов.</p>		<p>конкуренции угроза потери рынка возрастает.</p>
--	--	--

## **5.2 Планирование научно-исследовательских работ**

### **5.2.1 Структура работ в рамках научного исследования**

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

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

Перечень этапов, работ и распределение исполнителей по данным видам работ приведен в табл. 10.

Таблица 10. Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Руководитель, Студент
	3	Выбор направления исследований	Руководитель
	4	Календарное планирование работ по теме	Студент
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Руководитель, Студент
	6	Построение макетов (моделей) и проведение экспериментов	Студент
	7	Проведение расчетов и анализ полученных данных	Студент
	8	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Студент
Обобщение и оценка результатов	9	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, Студент
	10	Определение целесообразности проведения НИР	Руководитель, Студент
Оформление отчета по НИР	11	Составление пояснительной записки	Студент
	12	Подготовка темы к защите	Руководитель, Студент

### 5.2.2 Оценка готовности проекта к коммерциализации

На какой бы стадии жизненного цикла не находилась научная разработка полезно оценить степень ее готовности к коммерциализации и выяснить уровень собственных знаний для ее проведения (или завершения). Для этого необходимо

заполнить специальную форму, содержащую показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциям разработчика научного проекта. Перечень вопросов приведен в табл. 14.

Таблица 11. Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности и научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1.	Определен имеющийся научно-технический задел	5	4
2.	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	4	4
3.	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	2	1
4.	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	3	2
5.	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	4	4
6.	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	5	4
7.	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	2	2
8.	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	2	2
9.	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	3	2
10.	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	4	2
11.	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	1	1
12.	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	3	1
13.	Проработаны вопросы финансирования	2	1

	коммерциализации научной разработки		
14.	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	1	1
15.	Проработан механизм реализации научного проекта	4	3
ИТОГО БАЛЛОВ		45	34

При проведении анализа по таблице, приведенной выше, по каждому показателю ставится оценка по пятибалльной шкале. При этом система измерения по каждому направлению (степень проработанности научного проекта, уровень имеющихся знаний у разработчика) отличается. Так, при оценке степени проработанности научного проекта 1 балл означает не проработанность проекта, 2 балла – слабую проработанность, 3 балла – выполнено, но в качестве не уверен, 4 балла – выполнено качественно, 5 баллов – имеется положительное заключение независимого эксперта. Для оценки уровня имеющихся знаний у разработчика система баллов принимает следующий вид: 1 означает не знаком или мало знаю, 2 – в объеме теоретических знаний, 3 – знаю теорию и практические примеры применения, 4 – знаю теорию и самостоятельно выполняю, 5 – знаю теорию, выполняю и могу консультировать.

Оценка готовности научного проекта к коммерциализации (или уровень имеющихся знаний у разработчика) определяется по формуле:

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i,$$

где  $B_{\text{сум}}$  – суммарное количество баллов по каждому направлению;  $B_i$  – балл по  $i$ -му показателю.

Значение  $B_{\text{сум}}$  позволяет говорить о мере готовности научной разработки и

ее разработчика к коммерциализации. Так, если значение  $B_{\text{сум}}$  получилось от 75 до 60, то такая разработка считается перспективной, а знания разработчика достаточными для успешной ее коммерциализации. Если от 59 до 45 – то перспективность выше среднего. Если от 44 до 30 – то перспективность средняя. Если от 29 до 15 – то перспективность ниже среднего. Если 14 и ниже – то перспективность крайне низкая.

По результатам оценки делается вывод об объемах инвестирования в текущую разработку и направления ее дальнейшего улучшения, об уровне компетенций недостающих разработчику и возможности привлечения требуемых специалистов в команду проекта.

### 5.2.3 Определение трудоемкости выполнения работ

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

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости  $t_{\text{ож}i}$  используется следующая формула:

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

Где  $t_{\text{ож}i}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы чел.-дн.;  $t_{\text{min}i}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения

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

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

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i},$$

Где  $T_{pi}$  – продолжительность одной работы, раб. дн.;  $t_{ожi}$  - ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.  $Ч_i$  - численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

#### 5.2.4 Разработка графика проведения научного исследования

Так как научная тема является сравнительно небольшой относительно объема работ, поэтому наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Для удобства построения календарного план-графика, длительность этапов в рабочих днях переводится в календарные дни и рассчитывается по следующей формуле:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{kal},$$

где  $T_{ki}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в календарных днях;  $T_{pi}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в рабочих днях;  $k_{kal}$  –

коэффициент календарности.

Коэффициент календарности рассчитывается по формуле:

$$k_{kal} = \frac{T_{kal}}{T_{kal} - T_{вых} - T_{пр}},$$

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

В 2017 году ожидается 247 рабочих дней и 119 дней отдыха, из которых 104 выходных дня и 15 официальных праздничных дней. Исходя из этого, коэффициент календарности равен:

$$k_{kal} = \frac{366}{366 - 104 - 15} = 1.48$$

Длительность этапов в календарных днях сведена в табл.8. На основе данных таблицы 12 построен календарный план-график, называемый диаграммой Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

График был построен с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени преддипломной практики и дипломирования. Работы на графике выделены различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.





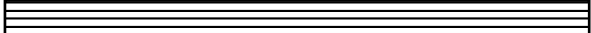










Таблица 12. Временные показатели проведения научного исследования

Название	Трудоемкость работ	Исполнители	Длительность	Длительность
----------	--------------------	-------------	--------------	--------------

работы	$t_{\min i}$	$t_{\max i}$	$t_{\text{ож}i}$		работ в рабочих днях $T_{pi}$	работ в календарных днях $T_{ki}$
1	4	8	5.6	руководитель	5.6	8.3
2	12	20	15.2	Руководитель студент	7.6	11.2
3	2	5	3.2	руководитель	3.2	4.7
4	2	4	2.8	Руководитель студент	1.4	2.0
5	4	7	5.2	студент	5.2	7.7
6	5	8	6.2	Руководитель студент	3.1	4.6
7	13	20	15.8	студент	15.8	23.4
8	12	16	13.6	студент	13.6	20.1
9	4	8	5.6	Руководитель студент	2.8	4.1
10	3	5	3.8	Руководитель студент	1.9	2.8
11	18	22	19.6	студент	19.6	29.0
12	7	12	9	Руководитель студент	4.5	6.7



Таблица 13. Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№	Вид работ	Тк, кал. дн	Продолжительность выполнения работ																	
			2015-2016 уч. год.									2016-2017 уч. Год.								
			Сен.	Окт.	Ноя.	Дек.	Фев.	Мар.	Апр.	Май.	Июн.	Сен.	Окт.	Ноя.	Дек.	Фев.	Мар.	Апр.	Май.	Июн.
1	1	15																		
2	2	20																		
	3	30																		
	4	100																		
3	5	200																		
	6	75																		
	7	30																		
	8	90																		
4	9	15																		
	10	15																		
5	11	60																		
	12	120																		
				- научный руководитель				- студент				- руководитель + студент								

### 5.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям, представленным в таблице (табл. 13):

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

Таблица 14. Группировка затрат по статьям

Вид работ	Статьи									
	Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты	Специальное оборудование для научных работ	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Научные и производственные командировки	Оплата работ, выполняемых сторонними организациями и предприятиями	Прочие прямые расходы	Накладные расходы	Итого плановая себестоимость
1	-	-	4842.75	726.41	1447.98	-	-	-	891.06	7908.20
2	-	-	6004.18	900.63	1795.21	-	-	-	1104.77	9804.83
3	-	-	8104.44	1215.67	2423.22	-	-	-	1491.21	13234.56
4	-	-	668.14	66.81	191.08	-	-	-	117.59	1043.62
5	2320	28765.32	24014.31	3602.15	7180.2	-	-	-	4418.63	70300.69
6	-	5321.71	2572.34	257.23	735.688	-	-	-	452.73	9339.69
7	-	1442.09	3214.69	321.47	919.40	-	-	-	565.78	6463.43
8	-	3485.10	1929.73	193.00	551.90	-	-	-	339.63	6499.37
9	-	2629.62	2871.63	430.74	858.61	-	-	-	528.37	7318.98
10	-	-	615.22	61.52	175.95	-	-	-	108.27	960.97
11	-	-	5402.96	810.44	1615.4	-	-	-	994.14	8823.02
12	-	-	30055.26	4508.29	8986.5	-	-	-	5530.16	49080.24

### 5.3.1 Расчет материальных затрат НИИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) * \sum_{i=1}^m C_i * N_{расхi},$$

где  $m$  – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;  $N_{расхi}$  – количество материальных ресурсов  $i$ -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м<sup>2</sup> и т.д.);  $C_i$  – цена приобретения единицы  $i$ -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м<sup>2</sup> и т.д.);  $k_T$  – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Результаты расчётов по затратам на материалы приведены в таблице 15.

Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле:

$$C_{элект} = C_{эл} * P * \Phi_{об},$$

Где  $C_{эл}$  – тариф на промышленную электроэнергию (250 коп. за 1 кВт/ч);  $P$  – мощность оборудования. кВт;  $\Phi_{об}$  – время использования оборудования, ч.

Для данной работы затраты на электроэнергию составляют:

$$C_{элект} = \frac{250 * 1 * 100}{100} = 250 \text{ руб.}$$

Таблица 15. Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Металлические материалы (Ni, Ti)	г	100	5	500
Водород	г	0,5	900	450
Раствор серной кислоты	л	1	100	100
Спирт	л	1	150	150
Перчатки	шт	3	150	450
Шкурка	шт	10	15	150
Всего за материалы				1800
Транспортно-заготовительные расходы (15%)				270
Электроэнергия				250
Итого по статье З <sub>м</sub>				2320

### 5.3.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

В данной работе к спецоборудованию необходимому для проведения экспериментальной работы относится для исследования термо- и радиационно-стимулированного газовыделения, стоимость которого составляет 2000000 руб, назначенный срок службы – 10 лет.

Затраты на амортизацию оборудования рассчитывается по формуле:

$$C_{аморт} = \frac{C_{об}}{T},$$

где  $C_{об}$  - стоимость оборудования (руб);  $T$  - срок службы (дней).

$$C_{аморт} = \frac{2000000}{3650} = 547,95 \text{ руб / дн},$$

Оборудование использовалось в течение 76 дней, поэтому затраты на

оборудование составляют:

$$C_{\text{аморт(общ)}} = 547,95 * 23 = 41643,84 \text{ руб} / \text{дн.}$$

### 5.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

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

$$Z_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}},$$

где  $Z_{\text{осн}}$  – основная заработная плата;  $Z_{\text{доп}}$  – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата работника рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} * T_{\text{раб}},$$

где  $Z_{\text{осн}}$  – основная заработная плата одного работника;  $T_{\text{раб}}$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн;  $Z_{\text{дн}}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} * M}{F_{\text{г}}},$$

где  $Z_{\text{м}}$  – месячный должностной оклад работника, руб.;  $M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 24 раб. дня  $M = 11,2$  месяца, 5-дневная неделя; при отпуске в 48 раб. дней  $M = 10,4$  месяца, 6-дневная неделя;  $F_{\text{г}}$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала (в рабочих днях), см. табл. 16

Таблица 16. Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	52	104
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	48	24
- невыходы по болезни	-	-
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	223

Студент во время прохождения преддипломной практики получает стипендию, равную 2560 руб/месяц. Среднедневная стипендия (оплата) составляет, согласно:

$$З_{\text{дн}} = \frac{2560 \cdot 11,2}{223} = 128,6 \text{ руб / день,}$$

Основной заработок студента, за время преддипломной практики, равен:

$$З_{\text{осн}} = 128,6 \cdot 75,5 = 9709,3 \text{ руб,}$$

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

- оклад – определяется предприятием. В ТПУ оклады распределены в соответствии с занимаемыми должностями, например, ассистент, ст. преподаватель, доцент, профессор.
- стимулирующие выплаты – устанавливаются руководителем подразделений за эффективный труд, выполнение дополнительных обязанностей и т.д.
- иные выплаты. В заработной плате следует предусмотреть: надбавку за степень (кандидат наук – 3000 руб., доктор наук – 6000 руб.); надбавку ученого совета (от 2000 руб. до 10000 руб.); районный коэффициент.

Данная научно-исследовательская работа выполнялась научным руководителем, который имеет должность профессор. Оклад профессора составляет 42461 руб.

Надбавки в заработной плате составляют: 10000 руб. (надбавка учёного совета); 1,3 (районный коэффициент по Томску).

Основная заработная плата научного руководителя:

$$Z_{\text{онр}} = 42461 \cdot 1,3 + 10000 = 65199,3 \text{ руб/месяц,}$$

Тогда, среднедневная зарплата научного руководителя равна:

$$Z_{\text{он}} = \frac{65199,3 \cdot 10,4}{251} = 2701,48 \text{ руб / день,}$$

Зарботная плата руководителя, за время подготовки студента к дипломированию, составляет:

$$Z_{\text{осн}} = 2701,48 \cdot 30,1 = 81314,70 \text{ руб.}$$

#### **5.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы**

Дополнительная заработная плата включает оплату за непроработанное время (очередной и учебный отпуск, выполнение государственных обязанностей, выплата вознаграждений за выслугу лет и т.п.) и рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнение темы:

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

где  $Z_{\text{доп}}$  – дополнительная заработная плата, руб.;  $k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной зарплаты;  $Z_{\text{осн}}$  – основная заработная плата, руб. Примем коэффициент дополнительной зарплаты равным 0,15 для научного руководителя



и 0,1 для студента (дипломника). В таблице 17 приведены результаты расчётов основной и дополнительной заработной платы исполнителей НИР.

Таблица 17. Заработная плата исполнителей НИР

Заработная плата	Руководитель	Студент
Основная зарплата, руб.	81314,70	9709,30
Дополнительная зарплата, руб.	12197,21	970,93
Зарплата исполнителя, руб.	93511,91	10680,23
Итого по статье Сзп, руб.	104192,14	

### 5.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во вне бюджетные фонды составляют 30% от суммы затрат на оплату труда работников, непосредственно занятых выполнением НИР.

$$Z_{внеб} = k_{внеб} (Z_{осн} + Z_{доп}),$$

где  $k_{внеб}$  – коэффициент отчислений во внебюджетные фонды,

$$Z_{внеб} = 0,302 \cdot 104192,14 = 31466,03 \text{ руб}$$

### 5.3.6 Накладные расходы

Накладные расходы в ТПУ составляют 25-35% от суммы основной и дополнительной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы. Если ВКР выполняется в ПИИ или на промышленном предприятии, то накладные расходы учитываются по этим организациям, как

правило, они составляют 70-100%. Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$Z_{накл} = k_{накл} (Z_{осн} + Z_{доп}),$$

где  $k_{накл}$  – коэффициент накладных расходов.

Поскольку НИР выполнялась в ИНОЦ ФТИ, предположим, что накладные расходы составляют 85% от общей заработной платы работников.

$$Z_{накл} = 0,16 \cdot 104192,14 = 16670,74 \text{ руб.}$$

### 5.3.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в табл. 18.

Таблица 18. Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	
	Руководитель	Студент
1. Материальные затраты НИИ	2320	
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	41643,84	
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	81314,70	9709,30
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	12197,21	970,93
5. Отчисления во внебюджетные фонды	31466,03	
6. Затраты на научные и производственные командировки	0	
7. Контрагентные расходы	0	
8. Накладные расходы	16670,74	
Бюджет затрат НИИ	196291,91	

## **6. Социальная ответственность**

### **Введение**

В металлах и сплавах водород, растворяясь в ходе, плавки, разливки, при электрохимических, ядерных и иных процессах, является одной из причин появления дефектов, трещин, ухудшения пластических свойств металлов (водородная хрупкость), приводящих к разрушению изделий.

Помимо этого, в настоящее время сплавы циркония широко используются в качестве топливных стержней в водо-водяных реакторах. Сплавы на основе циркония являются конструкционным материалом важнейших элементов активных зон легководных энергетических реакторов как с теплоносителем – водой под давлением (ВВЭР, PWR), так и кипящих (РБМК, BWR). При давлении 150 атм. и температуре 343°C, вода разделяется на водород и кислород. При данных условиях водород способен диффундировать внутрь циркониевого сплава. Внутри циркониевого сплава водород может находиться в виде твердого раствора до наступления предела растворимости. Растворяясь в металле, водород является одной из причин появления дефектов, ухудшающих свойства материала.

Изучение аккумулирующих свойств внутренней водородной атмосферы требует достаточно подробного экспериментального анализа процессов равновесного и неравновесного энергообмена в системах водород–металл, в том числе при радиационной и термической стимуляции.

## **6.1 Техника безопасность**

Установка для изучения состоит из высоковакуумной камеры и насосов, устройств нагрева и облучения, образцов электронами, масс-спектрометра и системы регистрации параметров процесса выделения растворенных и адсорбированных атомов и молекул. Высоковакуумная система имеет три ступени откачки для получения высокого вакуума: форвакуумный насос 9 (isp-250 с), тмн 4 (shimadzu EI-S04M) и гибридный тмн 5 (атн 300). При проведении работ на данной установке возможно воздействие таких вредных факторов таких, как:

1. Микроклимат;
2. Электромагнитное излучение;
3. Шум;
4. Освещенность.

### **6.1.1 Микроклимат**

Микроклимат производственных помещений определяется действующими на организм человека сочетаниями температуры, влажности и скорости движения воздуха.

Отклонения данных параметров от нормы оказывает вредное влияние на человека, при этом обычно возникают ухудшение самочувствия работника, снижение эффективности работы и различные заболевания.

Для удобства работы в помещении необходимо нормирование параметров микроклимата (табл. 19) и применение защитных мероприятий защиты от

вредного влияния отклонения параметров микроклимата.

Таблица 19. 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	Іб (140-174)	21-23	60-40	0,2
Теплый	Іб (140-174)	22-24	60-40	0,2

### 6.1.2 Электромагнитное излучение

Научно-исследовательская работа выполнялась с помощью персональных компьютеров (ПЭВМ). При этом основным вредным фактором для инженера-исследователя является электромагнитное излучение, которое влияет на костные ткани, ухудшает зрение, повышает утомляемость, а также может вызвать ослабление памяти и возникновение онкологических заболеваний.

Таблица 20. 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 табл. 18.

Для того, чтобы снизить вредное влияние электромагнитного излучения при работе с ПК необходимо соблюдать следующие общие гигиенические требования:

1. Продолжительность непрерывной работы взрослого пользователя не должна превышать 2 ч, ребенка – 10 - 20 мин, в зависимости от возраста.
2. Рабочее место с ПК должно располагаться по отношению к оконным проемам так, чтобы свет падал сбоку, предпочтительнее слева.
3. Для ослабления влияния рассеянного рентгеновского излучения от

монитора ПК рекомендуется использовать защитные экраны из металлической сетки и металлических прутков в виде навесов, козырьков, и допустимая величина защитного сопротивления заземления экранирующих устройств не должна быть более 40м.

### **6.1.3 Шум**

Длительное воздействие шума может привести к ухудшению слуха, а в отдельных случаях – к глухоте. Шумовое загрязнение среды на рабочем месте неблагоприятно воздействует на работающих, нормирование шума призвано предотвратить нарушение слуха и снижение работоспособности и производительности труда работающих. Для разных видов шумов применяются различные способы нормирования. В результате снижается производительность труда и качество выполняемой работы.

Методы и средства коллективной защиты в зависимости от способа реализации подразделяются на строительно-акустические, архитектурно-планировочные и организационно-технические и включают в себя:

- 1.изменение направленности излучения шума;
- 2.рациональную планировку предприятий и производственных помещений;
3. акустическую обработку помещений;
4. применение звукоизоляции.

#### 6.1.4 Освещенность

Для производственных помещений всех назначений применяются системы общего (равномерного или локализованного) освещения и комбинированного (общего и местного) освещения. При учете особенностей процесса работ с установкой вихревого тока ЗМА (ТПУ, Россия) (не требует освещения для работ высокой точности) допускается применение системы общего равномерного освещения.

Длина помещения  $a=6000\text{мм}$ , ширина  $b=4200\text{мм}$ .

Выбираем лампу дневного света ЛХБ, световой поток которой равен  $\Phi_{\text{лд}} = 3100 \text{ Лм}$  при мощности  $40\text{Вт}$ .

Выбираем светильники с люминесцентными лампами типа ОД-2-40. Этот светильник имеет две лампы мощностью  $40 \text{ Вт}$  каждая, длина светильника равна  $1230 \text{ мм}$ , ширина –  $266 \text{ мм}$ .

Интегральным критерием оптимальности расположения светильников является величина  $\lambda$ , которая для люминесцентных светильников с защитной решёткой лежит в диапазоне  $1,1-1,3$ . Принимаем  $\lambda=1,1$ .

Высота помещения:  $H = 3600\text{мм}$ .

Расстояние светильников от перекрытия:  $h_c = 400\text{мм}$ .

Высота светильника над полом, высота подвеса:

$$h_n = H - h_c = 3600 - 400 = 3200\text{мм}$$

Высота рабочей поверхности над полом:  $h_{\text{рп}} = 1000\text{мм}$ .

Расчетная высота, высота светильника над рабочей поверхностью:



$$h = h_n - h_{np} = 3200 - 1000 = 2200 \text{ мм}$$

Для двухламповых светильников ОД при одиночной установке или в непрерывных рядах из одиночных светильников в соответствии с требованиями наименьшая допустимая высота подвеса над полом составляет 3,5 м. Рассчитанная величина  $h = 2200$  мм не соответствует требованиям.

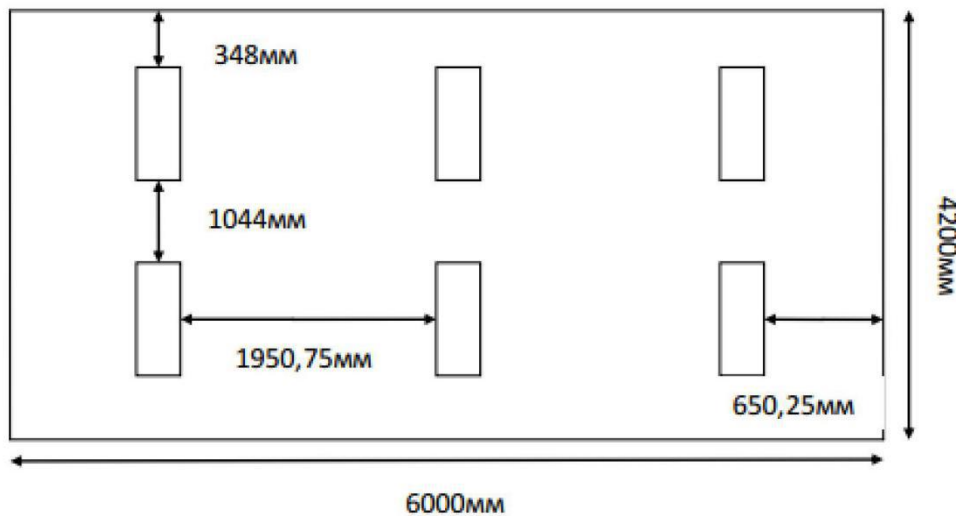


Рисунок 24 Схема размещения светильников в помещении

Оптимальное расстояние между светильниками  $L$  должно составлять:

$$L = \lambda * h = 1.1 * 2.2 = 2.24 \text{ м}$$

Расстояние от крайних светильников до стены является оптимальным, так как рекомендуемая величина равна  $L/3 = 2,42/3 = 0.8$  м.

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

$$\phi = \frac{E_H * S * K_3 * Z}{N * \eta}$$

где нормируемая минимальная освещенность (по СНиП 23-05-95):  $E_H = 300 \text{ Лк}$  (разряд зрительной работы V: малой точности);

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

Коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, наличие в атмосфере дыма, пыли:  $K_3 = 1,8$  (помещение с малым выделением пыли);

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

Коэффициент использования светового потока:  $\eta = 0,42$ .

Тогда число ламп в помещении:

$$N = \frac{E_H * K_3 * S * Z}{\Phi_{лд} * \eta} = \frac{300 * 1,8 * 25,2 * 1,1}{3100 * 0,42} = 11,50;$$

Расчет искусственного освещения показал, что нужно 12 ламп для освещения, т.е. 6 светильников ОД-2-40.

Потребный световой поток группы люминесцентных ламп светильника определяется по формуле:

$$\Phi_{п} = \frac{E_H * S * K * Z}{N * \eta} = \frac{300 * 25,2 * 1,8 * 1,1}{12 * 0,42} = 3005,36 \text{ лм}$$

Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{лд} - \Phi_{п}}{\Phi_{лд}} \leq 20\%;$$

$$\frac{\Phi_{лд} - \Phi_{п}}{\Phi_{лд}} * 100\% = \frac{3100 - 3005,36}{3100} * 100\% = 3,05\%$$

Таким образом:  $-10\% \leq 3,05\% \leq 20\%$  , необходимый световой поток светильника не выходит за пределы требуемого диапазона.

Для планирования расположения светильников нужно рассчитать расстояние между светильниками и расстояние от светильника до края помещения.

Расстояние между светильниками по длине помещения  $L_a$  определяется по

формуле:

$$2 * L_{\alpha} + 3 * 266 + 2 * L_{\alpha} / 3 = 6000 \text{ мм.}$$

Получено  $L_a=1950,75\text{мм}$ , и  $L_a/3=650,25\text{мм}$ . Видно, что значение  $L_a$  меньше оптимального расстояния между светильниками  $L$ . Аналогично расстояние между светильниками по ширине помещения  $L_b=1044\text{мм}$ , и  $L_b/3=348\text{мм}$ .

## **6.2 Организационные мероприятия обеспечения безопасности**

Для обеспечения безопасности перед началом работы необходимо правильно надеть спецодежду, подготовить для работы необходимый инструмент и приспособления, При выявлении неисправностей необходимо доложить руководителю лаборатории.

После окончания работы с установкой необходимо:

1. Убедиться, что все клапаны контроллера закрыты;
2. Выйти из программы, отключить питание компьютера;
3. Отключить установку и насос от электросети

## **6.3 Охрана окружающей среды**

В данной работе отходами являются металлические порошки, полученные вследствие чистки камеры и других компонентов установки.

Порошки, главным образом, состоят из стали, титана и оксинитридов титана. Для утилизации этих отходов сначала следует их разделить, для этого можно использовать магнит. После разделения отходов на 2 подгруппы: сталь и оксинитриды титана, нужно их перевести на специальные места на переработку.

## 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.
2. Обеспечение устойчивости теплоснабжения за счет запасных автономных источников теплоснабжения, кольцевания системы, заглубления теплотрасс.
3. Обеспечение устойчивости систем водоснабжения.
4. Обеспечение устойчивости системы водоотведения.

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.

## **6.5 Перечень законодательного документа**

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

### **Выводы**

В ходе рассмотрения безопасности и гигиены труда при осуществлении работ по нанесению покрытий на установке для исследования термо- и радиационно- стимулированного газовыделения, были выявлены вредные и опасные факторы рабочей зоны, причины и средства защиты, рассмотрены чрезвычайные ситуации и поведение в них, представлены порядки работы на данной установке. Для обеспечения безопасности жизнедеятельности обязательно выполнить работу по правилам.