

Инженерная школа ядерных технологий  
 Направление подготовки 03.03.02 Физика  
 ООП/ОПОП Физика  
 Отделение школы (НОЦ) Отделение экспериментальной физики

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА**

Тема работы
Влияние переменного и постоянного магнитного поля на десорбцию водорода из палладия

УДК 661.961.081.6:661.898:537.612

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
150Б95	Ян Вэньсинь		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Сыпченко В. С.	к.ф.-м.н.		

Консультант (при наличии)

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата

**КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Верховская М.В.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор	Сечин А.И.	д.т.н.		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП/ОПОП, должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Заведующий кафедрой - руководитель отделения на правах кафедры	Лидер А.М.	д.т.н., профессор		

Томск – 2023 г.

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП/ОПОП

Код компетенции	Наименование компетенции
<b>Универсальные компетенции</b>	
<b>УК(У)-1</b>	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач.
<b>УК(У)-2</b>	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений.
<b>УК(У)-3</b>	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовать свою роль в команде.
<b>УК(У)-4</b>	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном и иностранном (-ых) языке.
<b>УК(У)-5</b>	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах.
<b>УК(У)-6</b>	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни.
<b>УК(У)-7</b>	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.
<b>УК(У)-8</b>	Способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций.
<b>УК(У)-9</b>	Способен проявлять предприимчивость в профессиональной деятельности, в т.ч. в рамках разработки коммерчески перспективного продукта на основе научно-технической идеи.
<b>Общепрофессиональные компетенции</b>	
<b>ОПК(У)-1</b>	Способен применять естественно-научные и общеинженерные знания, методы математического анализа и моделирования в инженерной деятельности, связанной с проектированием и конструированием, технологиями производства оптоэлектронных приборов и комплексов
<b>ОПК(У)-2</b>	Способен осуществлять профессиональную деятельность с учетом экономических, экологических, интеллектуально правовых, социальных и других ограничений на всех этапах жизненного цикла технических объектов и процессов
<b>ОПК(У)-3</b>	Способен использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач.
<b>ОПК(У)-4</b>	Способен понимать сущность и значение информации в развитии современного общества, осознавать опасность и угрозу, возникающие в этом процессе, соблюдать основные требования информационной безопасности.
<b>ОПК(У)-5</b>	Способен использовать основные методы, способы и средства получения, хранения, переработки информации и навыки работы с компьютером как со средством управления информацией.
<b>ОПК(У)-6</b>	Способен решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с

	применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности.
<b>ОПК(У)-7</b>	Способен использовать в своей профессиональной деятельности знание иностранного языка.
<b>ОПК(У)-8</b>	Способен критически переосмысливать накопленный опыт, изменять при необходимости направление своей деятельности.
<b>ОПК(У)-9</b>	Способен получить организационно-управленческие навыки при работе в научных группах и других малых коллективах исполнителей.
<b>Профессиональные компетенции</b>	
<b>ПК(У)-1</b>	Способностью использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин
<b>ПК(У)-2</b>	Способностью проводить научные исследования в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта
<b>ПК(У)-3</b>	Готовность применять на практике профессиональные знания теории и методов физических исследований
<b>ПК(У)-4</b>	Способность применять на практике профессиональные знания и умения, полученные при освоении профильных физических дисциплин
<b>ПК(У)-5</b>	Способность пользоваться современными методами обработки, анализа и синтеза физической информации в избранной области физических исследований
<b>ПК(У)-6</b>	Способность понимать и использовать на практике теоретические основы организации и планирования физических исследований
<b>ПК(У)-7</b>	Способность участвовать в подготовке и составлении научной документации по установленной форме
<b>ПК(У)-8</b>	Способность понимать и применять на практике методы управления в сфере природопользования

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

Школа Инженерная школа ядерных технологий  
 Направление подготовки (ООП/ОПОП) 03.03.02 Физика  
 Отделение школы (НОЦ) отделение экспериментальной физики

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП/ОПОП  
 \_\_\_\_\_ Лидер А.М.  
 (Подпись) (Дата)

### ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

Обучающийся:

Группа	ФИО
150Б95	Ян Вэньсинь

Тема работы:

<b>Влияние переменного и постоянного магнитного поля на десорбцию водорода из палладия</b>	
<i>Утверждена приказом директора (дата, номер)</i>	22.05.2023, 142-42/с

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:	06.06.2023
--	------------

#### 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 функционированию (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.)</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Металл палладия ПД-99;</li> <li>- установка для насыщения водородом;</li> <li>- установка для исследования термостимулированного газовойделения;</li> <li>- источник магнитного поля.</li> </ul>
<b>Перечень разделов пояснительной записки подлежащих исследованию, проектированию и разработке</b> <i>(аналитический обзор литературных источников с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе)</i>	Содержание текстового документа: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Взаимодействие водорода с палладием;</li> <li>- методы насыщения образцов водородом;</li> <li>- методы тепловой десорбции водорода;</li> <li>- результаты и обсуждение.</li> </ul> Перечень подлежащих разработке вопросов: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. десорбция газа без воздействия магнитного поля;</li> <li>2. десорбция газа под воздействием переменного магнитного поля;</li> <li>3. десорбция газа под воздействием постоянного магнитного поля;</li> </ol>

	4. обсуждение характеристик десорбции водорода отсутствия и наличия магнитного поля.
<p><b>Перечень графического материала</b> (с точным указанием обязательных чертежей)</p>	<p>Рисунок 1.1 – Рабочий контейнер для изучения влияния электростатического поля на реакцию гидрирования сплавов.  Рисунок 1.2 – ДКТ (давление-композиция-температура) -изотермы сплава <math>\text{LaNi}_{4.4}\text{Al}_{0.3}\text{Fe}_{0.3}</math>.  Рисунок 1.3 – Давление водорода и содержание во время процесса абсорбции при 313 К с и без электростатического поля.  Рисунок 1.4 – Влияние магнитостатического поля при <math>T = 10^\circ\text{C}</math> при <math>p = 6</math> бар и <math>p = 10</math> бар на массу и кинетику адсорбции.  Рисунок 1.5 – Влияние магнитостатического поля при <math>T = 20^\circ\text{C}</math> при <math>p = 6</math> бар и <math>p = 10</math> бар на массу и кинетику адсорбции.  Рисунок 1.6 – Влияние магнитостатического поля при <math>T = 30^\circ\text{C}</math> при <math>p = 6</math> бар и <math>p = 10</math> бар на массу и кинетику адсорбции.  Рисунок 1.7 – Влияние магнитостатического поля при <math>T = 50^\circ\text{C}</math>, <math>T = 60^\circ\text{C}</math> и <math>T = 70^\circ\text{C}</math> на массу и кинетику десорбции.  Рисунок 1.8 – Влияние начальной температуры при постоянном давлении и поле на массу и кинетику адсорбции.  Рисунок 1.9 – Влияние начальной температуры при постоянном давлении и поле на массу, и кинетику десорбции.  Рисунок 2.1 – Функциональная схема установки для исследования насыщение водородом.  Рисунок 2.2 – Схема вакуумной части установки для исследования термо- и радиационно-стимулированного газовыделения.  Рисунок 2.3 – Функциональная схема установки для исследования термо- и радиационно-стимулированного газовыделения.  Рисунок 2.4 – Принципиальная схема магнитного поля, генерируемого катушкой под напряжением.  Рисунок 2.5 – Принципиальная схема катушки Гельмгольца.  Рисунок 3.1 – Зависимость интенсивности выхода <math>\text{H}_2</math> от температуры.  Рисунок 3.2 – Термодесорбционный спектр водорода из Pd при переменном магнитном поле.  Рисунок 3.3 – Термодесорбционный спектр водорода из Pd при постоянном магнитном поле.  Рисунок 3.4 – Зависимость между магнитной индукцией и температурой, соответствующей максимальному значению десорбированного водорода.</p>

<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> <i>(с указанием разделов)</i>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Верховская М. В.
Социальная ответственность	Сечин А. И.

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

**Задание выдал руководитель:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
доцент	Сыпченко В. С.	к.ф.-м.н.		

**Задание принял к исполнению обучающийся:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
150Б95	Ян Вэньсинь		



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

Школа Инженерная школа ядерных технологий

Направление подготовки (ООП/ОПОП) 03.03.02 Физика

Уровень образования бакалавриат

Отделение школы (НОЦ) отделение экспериментальной физики

Период выполнения \_\_\_\_\_ (осенний / весенний семестр 2022/2023 учебного года)

### КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Обучающийся:

Группа	ФИО
150Б95	Ян Вэньсинь

Тема работы:

Влияние переменного и постоянного магнитного поля на десорбцию водорода из палладия
---

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
01.11.2022	Литературный обзор по теме ВКР	15
30.04.2023	Методы исследования	5
01.06.2023	Результаты экспериментальных исследований. Обработка результатов.	50
01.06.2023	Финансовый менеджмент, ресурс эффективность и ресурсосбережение	15
01.06.2023	Социальная ответственность	15

**СОСТАВИЛ:**

**Руководитель ВКР**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Сыпченко В. С.	К.ф.-М.Н.		

**СОГЛАСОВАНО:**

**Руководитель ООП/ОПОП**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Заведующий кафедрой - руководитель отделения на правах кафедры	Лидер А.М.	д.т.н., профессор		

**Обучающийся**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
150Б95	Ян Вэньсинь		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 84 с., 18 рис., 13 табл., 81 источников, 0 прил.

Ключевые слова: водород, палладий, десорбция, магнитное поле.

Объектом исследования является технически чистый палладий Pd 99 образцы размером 11,2×3,8×0,11 мм<sup>3</sup> и площадью поверхности 88,42 мм<sup>2</sup>.

Цель работы – исследование влияния переменного и постоянного магнитного поля на десорбцию водорода из палладия.

В процессе исследования была проведена следующая работа: электролитическое насыщение образцов водородом; эксперимент по термостимулированному газовыделению; эксперимент по влиянию переменного и постоянного магнитных полей для термодесорбцию газов.

Результаты исследований показывают, что в процессе десорбции водорода из палладия при воздействии переменного магнитного поля наблюдается сдвиг температуры, соответствующей максимальному значению десорбированного водорода в область более низких температур; в процессе десорбции водорода из палладия при воздействии постоянного магнитного поля наблюдается сдвиг температуры, соответствующей максимальному значению десорбированного водорода в область более высоких температур.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: режимы насыщения водородом: 1 М раствор H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, плотность ток насыщения  $j=565,5$  мА/см<sup>2</sup>, время насыщения  $t=30$ мин; режимы десорбции водорода в вакууме ( $\sim 10^{-6}$ торр) от комнатной температуры до 350°C со скоростью нагрева равной 1 °C/сек.

Степень внедрения: результаты работы представлены на международной научной конференции «Перспективы развития фундаментальных наук 2023».

Область применения: водородная энергетики.

Экономическая эффективность/значимость работы заключается в использовании чистого палладия Pd 99 в качестве водородной батареи, а

разработанный метод позволяет извлекать водород из батареи с меньшими затратами энергии.

В будущем планируется изучить влияние других условий на десорбцию водорода из других металлов-накопителей водорода.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	13
ГЛАВА 1. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ВОДОРОДА С ПАЛЛАДИЕМ.....	15
1.1 Значительная роль палладия и его сплавов в хранении водорода .....	15
1.2 Механизмы взаимодействия водорода с палладием .....	16
1.3 Влияние электрического и магнитного поля на реакцию гидрирования сплава .....	18
1.3.1 Влияние электростатического поля на реакцию гидрирования сплава.....	20
1.3.2 Влияние статического магнитного поля на реакцию адсорбции водорода .....	22
1.3.3 Влияние статического магнитного поля на реакцию десорбции водорода .....	24
1.4 Влияние температуры на адсорбцию и десорбцию водорода.....	25
Вывод .....	26
ГЛАВА 2. ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ .....	28
2.1 Объект исследования.....	28
2.2 насыщение водородом электролитическим методом.....	28
2.3 Установка для исследования процесса выхода изотопов водорода .....	30
2.4 Устройство для приложения магнитного поля.....	32
Вывод .....	36
ГЛАВА 3. ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ДЕСОРБЦИЮ ВОДОРОДА ИЗ ПАЛЛАДИЯ.....	37
3.1 Влияние температуры на десорбцию водорода из палладия .....	37
3.2 Влияние переменного магнитного поля на десорбцию водорода из палладия.....	38

3.2 Влияние постоянного магнитного поля на десорбцию водорода из палладия.....	40
3.3 Сравнительный анализ влияния переменного магнитного поля и постоянного магнитного поля на десорбцию водорода из палладия.....	41
Вывод .....	45
ГЛАВА 4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	48
4.1. Потенциальные потребители результатов исследования.....	48
4.2 Экономическая эффективность исследования .....	49
4.3 Планирование научно-технического исследования.....	49
4.3.1 Продолжительность этапов работ .....	50
4.4 Расчет сметы затрат на выполнение проекта.....	56
4.4.1 Расчет затрат на материалы .....	56
4.4.2 Расчет заработной платы .....	57
4.4.3 Расчет затрат на социальный налог .....	58
4.4.4 Расчет затрат на электроэнергию .....	58
4.4.5 Расчет амортизационных расходов .....	59
4.4.6 Стоимость всего проекта .....	61
Вывод .....	61
ГЛАВА 5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ .....	64
Введение .....	64
5.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	64
5.1.1 Особые правовые положения в трудовом законодательстве.....	64
5.1.2 Организация пространственной планировки работы исследователей.....	65
5.2. Производственная безопасность .....	67

5.2.1 Оценка потенциальных вредных и опасных факторов для объектов исследований.....	67
5.2.2 Анализ возможных опасностей в лаборатории.....	69
5.2.2.1 Отклонения от показателей микроклимата в рабочих помещениях.....	69
5.2.2.2 Электромагнитное излучение .....	69
5.2.2.3 Шум.....	70
5.2.2.4 Взрывоопасность при пожаре .....	71
5.2.3 Обоснование мер защиты исследователей от опасностей и вредных факторов.....	72
5.3. Экологическая безопасность .....	72
5.3.1 Анализ воздействия на экологическую обстановку на исследуемой территории .....	72
5.3.2 Анализ воздействия на экологическую обстановку в процессе исследования.....	73
5.3.3 Обоснованность мер по охране природы.....	73
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	73
5.4.1 Анализ возможных непредвиденных ситуаций, инициированных субъектом .....	73
5.4.2 Анализ возможных причин несчастных случаев на производстве в ходе реализации объекта исследования.....	74
5.4.3 Основание для принятия мер предосторожности в чрезвычайных ситуациях и разработка аварийных процедур .....	75
Вывод .....	76
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	77
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	78

## ВВЕДЕНИЕ

Как чистый и возобновляемый источник энергии, водород и изотопы водорода будут играть важную роль в области энергетики будущего [1-3]. Водород является легковоспламеняющимся, легковоспламеняющимся и взрывоопасным по своей природе, а температура воспламенения низкая. Поэтому обращение с ним, включая хранение, транспортировку и распределение, требует особой осторожности. Хранение и десорбция водорода стали актуальной исследовательской проблемой [4-6]. Исследование материалов для хранения водорода является очень многообещающим исследованием. Исследование материалов для хранения водорода включает в себя хранение, очистку и извлечение водорода. В настоящее время он широко используется в химической промышленности, энергетике, электронике, аэрокосмической, военной промышленности и других областях [7]. Материал для хранения водорода поглощает водород и реагирует с образованием гидрида, так что водород накапливается в форме гидрида металла, и при необходимости водород десорбируется из гидрида металла. Твердое хранение водорода в виде гидридов металлов имеет некоторые преимущества. Гидриды металлов являются одним из самых безопасных и надежных методов хранения водорода, поскольку для хранения водорода требуется только низкосортная энергия. Очевидно, что это ключевой момент для транспортировки и хранения водорода. По сравнению с другими технологиями хранения основными преимуществами гидридов металлов являются их высокая объемная плотность водорода, относительно низкое рабочее давление, возможность эксплуатации при комнатной температуре и относительно низкая стоимость [8,9]. Гидриды металлов могут содержать водород с высокой насыпной плотностью при относительно умеренных температуре и давлении [10,11]. Топливо на основе водорода требует хранения с высокой плотностью, которое может работать при температуре окружающей среды. Pd очень чувствителен к водороду и обладает большим потенциалом в качестве материала для переноса водорода. Pd и его сплавы являются наиболее изученными гидридами металлов в водородных топливных

элементах [12-16]. Теоретически, применение магнитных полей может определять направление квантового вращения системы. В этом случае неупорядоченное состояние является слабым, что помогает водороду проникать в металлическую матрицу и выходить из нее [17]. Следовательно, чтобы найти благоприятные условия для десорбции водорода и дальнейшего изучения применимости системы металл-водород, необходимо изучить влияние магнитного поля на десорбцию водорода из палладия.

### **Цель работы:**

Исследование влияния переменного и постоянного магнитного поля на десорбцию водорода из палладия.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи:**

1. Проведение литературного обзора по теме ВКР.
2. Освоить экспериментальное оборудование и методику электролитического наводороживания металлов. Ознакомиться с методикой выделения водорода из металлов.
3. Провести исследования по влиянию переменного магнитного поля на десорбцию водорода из палладия.
4. Провести исследования по влиянию постоянного магнитного поля на десорбцию водорода из палладия.
5. Проанализировать результаты эксперимента и сравнить эффекты переменных и постоянных магнитных полей.

# ГЛАВА 1. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ВОДОРОДА С ПАЛЛАДИЕМ

## 1.1 Значительная роль палладия и его сплавов в хранении водорода

Благодаря превосходным электрокаталитическим свойствам палладия, в последние годы он широко изучается в качестве потенциального материала для хранения водорода [17].

Еще в 1866 году Грэм обнаружил, что большое количество водорода может быть растворено в переходном металле палладии [19]. Pd может поглощать и десорбировать водород при комнатной температуре. Однако во время процесса поглощения водорода решетка Pd будет расширяться, вызывая изменение объема объемного Pd. Это приводит к распространению трещин и, в конечном итоге, к разрушению [20-23]. Эта технология хранения очень дорогая, если добавляются менее дорогие металлы, стоимость снижается. В то же время сплав имеет более стабильную структуру.

Использование хранилища водорода из сплава не только обладает характеристиками большой емкости для хранения водорода, низкого энергопотребления, низкого рабочего давления и простоты в использовании, но и хранение водорода из сплава более стабильно и дешевле, чем из чистого металла.

Посредством исследований, производительность измерения водорода пленки из сплава Pd–Ag в соотношении 3:2 лучше, чем у чистой пленки Pd [24]. В работе [25] говорится, что Pd и Ag могут также улучшать характеристики восприятия водорода пленками оксидов переходных металлов, в которых эти металлические пленки ведут себя как каталитические покрывающие слои. Чистая пленка Pd становится хрупкой и механически нестабильной после повторных циклов гидрирования/дегидрирования. Кроме того, Pd демонстрирует переход первого порядка от гидрида  $\alpha$ -фазы с низкой концентрацией к гидриду  $\beta$ -фазы с высокой концентрацией, который является необратимым и, следовательно, приводит к неполному или отсутствию восстановления [24,26]. Кроме того, в случае более высоких концентраций  $\beta$ -фазы решетка значительно расширяется, что приводит к образованию трещин в

пленке, тем самым снижая ее механическую стабильность [26]. Исследования показали, что добавление Au к Pd может ингибировать фазовый переход  $\alpha$ -фазы гидрида палладия в  $\beta$ -фазу, устранять гистерезис и ускорять транспортировку водорода. Сообщается, что в этом случае растворимость водорода при 30% Au является наибольшей [26].

Таким образом, Pd сплавляется с другими металлами, что повышает механическую стабильность, улучшает процессы восстановления, увеличивает долговечность, снижает стоимость и, что наиболее важно, устраняет гистерезис в характеристиках гидрирования/дегидрирования [26-30].

## 1.2 Механизмы взаимодействия водорода с палладием

Система палладий-водород является не только первой обнаруженной системой металлического водорода (новаторская работа Graham в 1866 году) [19], но и очень важна как идеальная модельная система для изучения адсорбции водорода в твердых материалах.

Важной ролью гидридов металлов является фильтрация и очистка водорода. Независимо от того, идет ли речь о получении водорода высокой чистоты в лаборатории или в промышленности, в настоящее время используется метод его очистки путем фильтрации через металлическую пленку. В качестве материала для этой пленки обычно используются различные сплавы палладия.

Палладий действует как катализатор на поверхности молекулы водорода, который расщепляется на два атома H, а затем водород диффундирует внутрь и образует гидрид [13-16].

Pd может поглощать много водорода, но обратный процесс обычно является неполным. Поскольку чистый палладий демонстрирует переход первого порядка от гидрида  $\alpha$ -фазы с низкой концентрацией к гидриду  $\beta$ -фазы с высокой концентрацией, который является необратимым, пленка чистого Pd становится хрупкой и механически нестабильной после повторных циклов гидрирования/дегидрирования [24,26]. Поэтому для выполнения этой работы обычно используются сплавы. Например, сплавы палладий-серебро могут растворять

больше водорода, а сплавы палладий-золото обладают более высокой стабильностью при поглощении или фильтрации водорода.

Другой очень важной областью применения гидридов металлов является хранение водорода. Понимание процесса введения водорода в металл и его транспортировки через металл также имеет большое значение для лучшего предотвращения разрушения материала из-за водородного охрупчивания [31].

Адсорбция водорода в металлах может быть достигнута непосредственно из газовой фазы и электрохимии [32].

Гидриды палладия и его сплавов, особенно с металлами Pt-группы, являются наиболее широко изученными гидридами металлов из-за значительной растворимости водорода и значительной водородопроницаемости [33-38]. Pd легко поглощает большое количество водорода, как из газовой фазы, так и электрохимически, образуя нестехиометрическое соединение PdH<sub>x</sub> [39]. Водород, поглощенный Pd, может существовать в двух фазах: бедная водородом α-фаза (т.е. твердый раствор водорода в Pd) и богатая водородом β-фаза (т.е. нестехиометрический гидрид Pd) [24,26,39-41].

В случае электрохимии, общая схема адсорбции водорода на металлических электродах (таких как Pd) включает следующие этапы [33,35,42-57]:

- 1) Перенос ионов H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> (кислотный раствор) или молекул H<sub>2</sub>O (основной раствор) на поверхность электрода;
- 2) Реакция Вольмера, т.е. перенос заряда с последующей адсорбцией атомов H на поверхностно-активных центрах.
- 3) Перенос атомарного водорода с поверхности через границу раздела в промежуточное положение в подповерхностном слое (H<sub>подповерх</sub>);
- 4) Диффузия водорода из подповерхностного слоя в основную массу металла, где образуется особая фаза поглощенного водорода.

В случае достаточно высокой концентрации водорода важной стадией поглощения водорода является α-β-фазовый переход. Вообще говоря, рассматриваются два механизма фазового перехода, а именно механизмы зарождения и роста или механизмы подвижной границы раздела фаз. Во время

сосуществования двух фаз, поглощающих водород, происходит резкое перемещение границы  $\alpha$ - $\beta$ -фазы внутри металла, что приводит к скачкообразному градиенту концентрации водорода [58,59].

При достаточно низком потенциале этапа (3) в приведенной выше схеме может быть подключена параллельно путем разряда адсорбированных атомов H в электрохимическом процессе (реакция Хейровски) или процессе химической рекомбинации атомов H (реакция Тафеля), оба из которых приводят к реакциям гидрирования.

Другим рассмотренным механизмом поглощения водорода, альтернативным вышеупомянутой схеме (называемой "непрямым путем поглощения"), является прямой путь поглощения, который включает перенос заряда, а затем атомарный водород переносится в положение зазора в подземном слое без необходимости стадий адсорбции [46-56]. Кроме того, во время процесса десорбции водород может покидать металл непосредственно или через стадию адсорбции. В последнем случае возможны два способа десорбции, а именно электрохимическое окисление атомов водорода и неэлектрохимическая рекомбинация [60,61].

Как упоминалось выше, процесс адсорбции водорода в Pd является довольно сложным, и в зависимости от условий эксперимента различные этапы всего процесса могут быть ограничены по скорости.

### **1.3 Влияние электрического и магнитного поля на реакцию гидрирования сплава**

Было проведено большое количество исследований по хранению водорода в гидридах металлов, и в некоторых исследованиях предпринимались попытки улучшить их обратимые свойства хранения водорода. Фундаментальное значение имеет изучение влияния электрических и магнитных полей на взаимодействие сплавов металлов с водородом.

В 1980-х годах активно изучались свойства водородных связей и интерметаллических соединений [62]. Например, G. Adachi и его коллеги

изучили электрическое сопротивление тонких пленок гидридов металлов в процессах гидрирования [63]. Аналогичное исследование проводилось одновременно S. K. Sync с сотрудниками [64]. Доказано, что интерметаллические соединения  $AB_5$  и их гидриды являются проводниками электрического тока. Хотя начальные и конечные значения сопротивления и проводимости, полученные в эксперименте, немного отличаются в исходном интерметаллическом соединении и гидриде (в гидриде сопротивление ниже, а проводимость выше соответственно), эти значения очень значительно колеблются в процессе гидрирования. Это показывает, что электростатическое поле должно влиять на реакцию интерметаллических соединений с водородом [62-64].

В исследовании Ивана Романова и др. было разработано устройство для изучения влияния электростатического поля на реакцию гидрирования сплавов (рис. 1.1). Результаты эксперимента показали, что установившееся равновесие не изменится под воздействием электрического поля. Поглощение водорода замедляется под воздействием электрического поля [65].

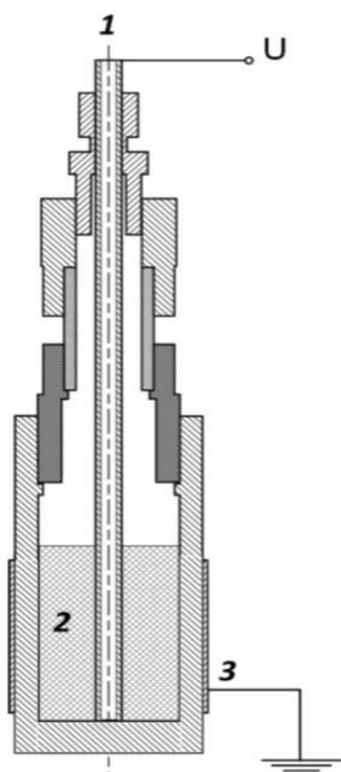


Рисунок 1.1 – Рабочий контейнер для изучения влияния электростатического поля на реакцию гидрирования сплавов: 1 – Вход для водорода и внутренний электрод, используемый для создания электрического поля, 2 – 100 г активированного образца  $LaNi_{4.4}Al_{0.3}Fe_{0.3}$ , 3 – цилиндрический никелевый внешний электрод.

Водород поступает в реактор через медную трубку (1) диаметром 6 мм, которая также используется в качестве одного из электродов для создания электрического поля. На внешнем конце установлен шаровой клапан с пластиковым переходником для шланга. В качестве второго электрода вокруг рабочей зоны намотана никелевая пластина (3) толщиной 0,2 мм, которая отделена от образца стенкой рабочего контейнера толщиной 6,7 мм. Таким образом, между двумя цилиндрическими электродами создается электростатическое поле, диаметр общей оси которого составляет 6 и 40 мм соответственно, а испытуемый образец (2) расположен между ними [65].

Теоретически, приложенное извне магнитное поле может повлиять

эффективность хранения существующих гидридов металлов, которые чувствительны к магнетизму.

Jakub Adam Koza и др. изучали влияние магнитных полей, наложенных вертикально относительно поверхности электрода, на реакцию гидрирования при электроосаждении сплавов Fe и CoFe [66]. Исследование показало, что скорость десорбции водорода увеличивается в вертикальном магнитном поле. Этот эффект обусловлен конвекцией, обусловленной силой Лоренца, которая находится в пене вблизи адсорбированного  $H_2$ .

Sihem Belkhiria и др. [17] экспериментально изучили влияние слабого внешнего статического магнитного поля на поглощение и десорбцию водорода в зависимости от начальной температуры и начального давления. Результаты показывают, что в диапазоне низких температур при приложении слабого статического магнитного поля качество поглощения водорода улучшается.

### 1.3.1 Влияние электростатического поля на реакцию гидрирования сплава

Экспериментальные результаты Ивана Романова и др. показывают ДКТ-изотермы (ДКТ – давление-композиция-температура) поглощения и десорбции водорода, измеренные для контрольного образца после активации. (рис. 1.2) [65].

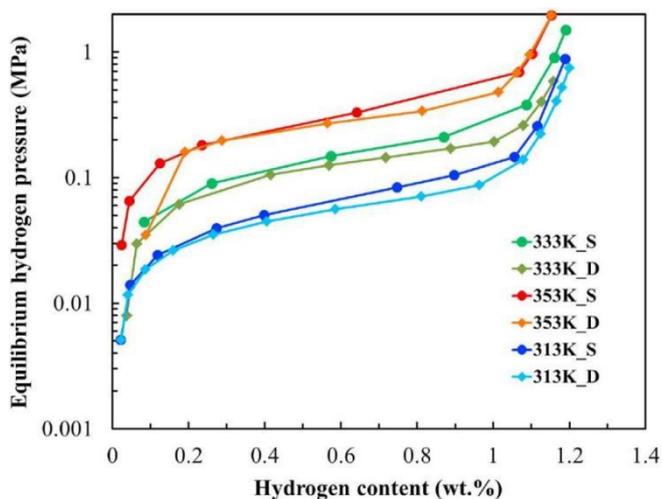


Рисунок 1.2 – ДКТ-изотермы сплава  $LaNi_{4.4}Al_{0.3}Fe_{0.3}$ . [65]

Исследование показало, что угол наклона в области плато ДКТ-изотерм поглощения больше, чем в случае десорбции, наклон изотермы поглощения

больше, чем наклон изотермы десорбции. Эксперименты показали, что электрические поля разной полярности при напряжениях до 15 кВ и на центральном электроде не будут влиять на равновесное давление водорода после достижения равновесия.

Перед началом процесса поглощения водорода на рабочий электрод подается напряжение. При различных значениях напряжения и полярности зависимость давления в системе от времени показана на рис. 1.3.

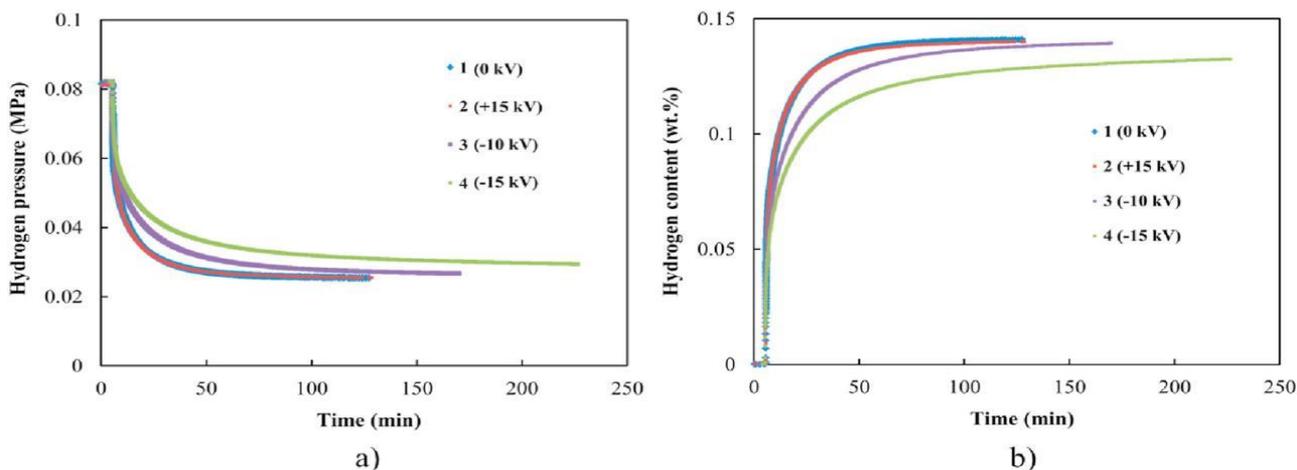


Рисунок 1.3 – Давление (а) водорода и содержание (б) во время процесса абсорбции при 313 К с и без электростатического поля. [65]

Кривая (1) является результатом контрольного эксперимента, проведенного без напряжения на электроде. Кривая (2) является результатом эксперимента, когда на внутренний электрод 15 кВ подается напряжение положительной полярности. Кривая (3) и кривая (4) получаются при условии подачи напряжения 10 кВ и 15 кВ на внутренний электрод.

Исследование показало, что до начала процесса поглощения водорода подача отрицательных потенциалов на центральный электрод при напряжении 10 и 15 кВ оказывает значительное влияние на его процесс, подача положительного потенциала на центральный электрод не оказывает очевидного влияния на его процесс. По сравнению с результатами контрольного эксперимента равновесное давление 0,0253 МПа было достигнуто за 125 мин, и процесс абсорбции замедлился. При напряжении 10 кВ и отрицательной полярности давление не достигало равновесного значения в течение 170 мин, и

эксперимент прекратили при давлении 0,0266 МПа. При напряжении 15 кВ и отрицательной полярности через 225 мин давление падает только до уровня 0,0294 МПа. Следовательно, увеличение напряжения замедлит процесс поглощения водорода [65].

### 1.3.2 Влияние статического магнитного поля на реакцию адсорбции водорода

Влияние изменений статического магнитного поля на реакцию адсорбции получено из эксперимента Sihem Belkhiria и др. [17].

Из рисунков 1.4, 1.5 и 1.6 видно, что при приложении статического магнитного поля при постоянной температуре и давлении масса поглощенного водорода и скорость реакции увеличиваются. Повышение температуры устраняет эффект статического магнитного поля (рис.1.6)

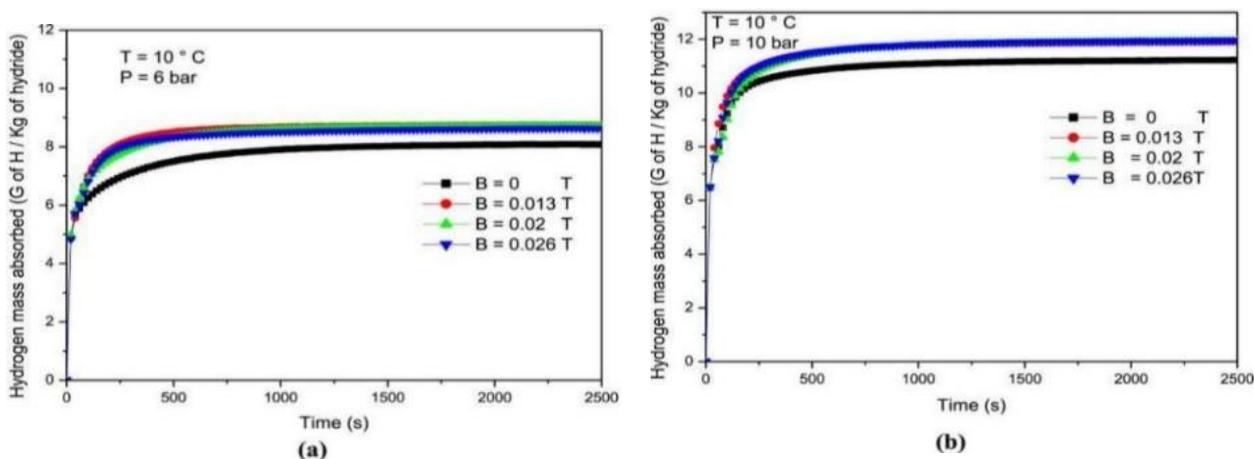


Рисунок 1.4 – Влияние магнитостатического поля при T = 10°C при p = 6 бар (a) и p = 10 бар (b) на массу и кинетику адсорбции. [17]

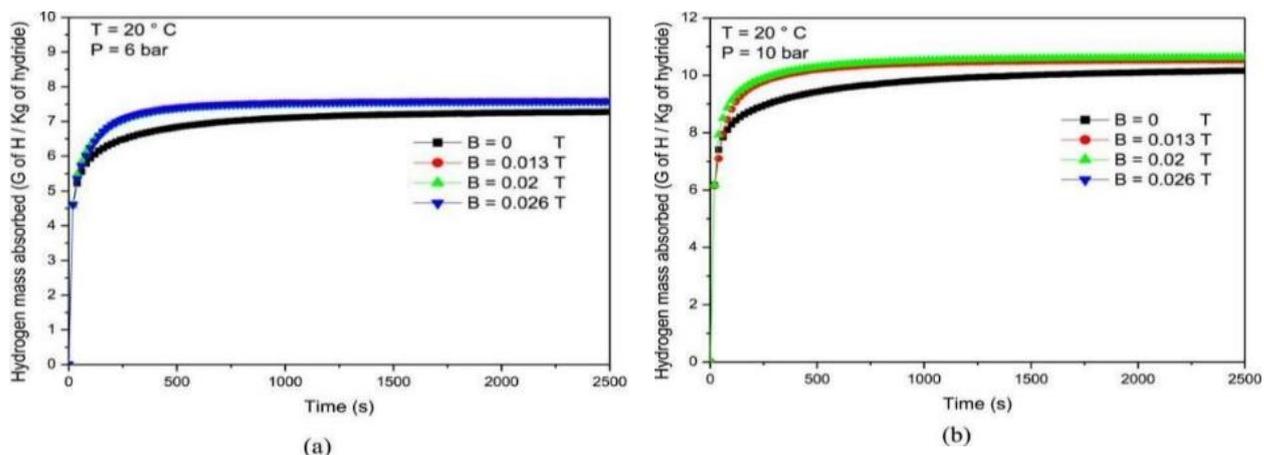


Рисунок 1.5 – Влияние магнитостатического поля при  $T = 20^{\circ}\text{C}$  при  $p = 6$  бар (a) и  $p = 10$  бар (b) на массу и кинетику адсорбции. [17]

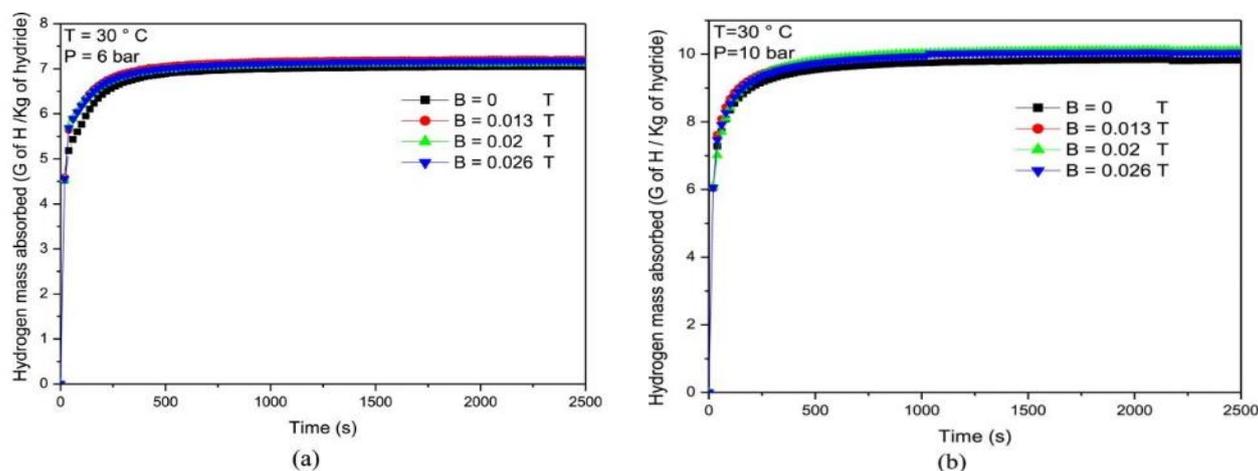


Рисунок 1.6 – Влияние магнитостатического поля при  $T = 30^{\circ}\text{C}$  при  $p = 6$  бар (a) и  $p = 10$  бар (b) на массу и кинетику адсорбции. [17]

В отсутствие магнитного поля квантовый спин нашей системы проявляет состояние магнитного беспорядка и ориентирован случайным образом: это антипараллельная ориентация. В данном случае это нарушение очень важно, оно может задержать проникновение водорода в кристаллическую матрицу. Приложенное магнитное поле определяет свое направление для ориентации всех квантовых спинов системы. Тогда квантовый спин находится в параллельном направлении. В этом случае неупорядоченное состояние является слабым, что облегчает проникновение водорода в металлическую матрицу. Магнитная последовательность улучшает качество поглощения водорода. При более

высоких температурах преобладает термическое перемешивание, и это нарушает выравнивание вращения, создаваемое полем возбуждения. Высокая температура будет препятствовать влиянию магнитного возбуждения [17,67].

### 1.3.3 Влияние статического магнитного поля на реакцию десорбции водорода

Согласно экспериментальным результатам Sihem Belkhiria и др. [17], кривые десорбции (рис. 1.7), относящиеся к различным полям, применяемым для испытанных температур, объединены.

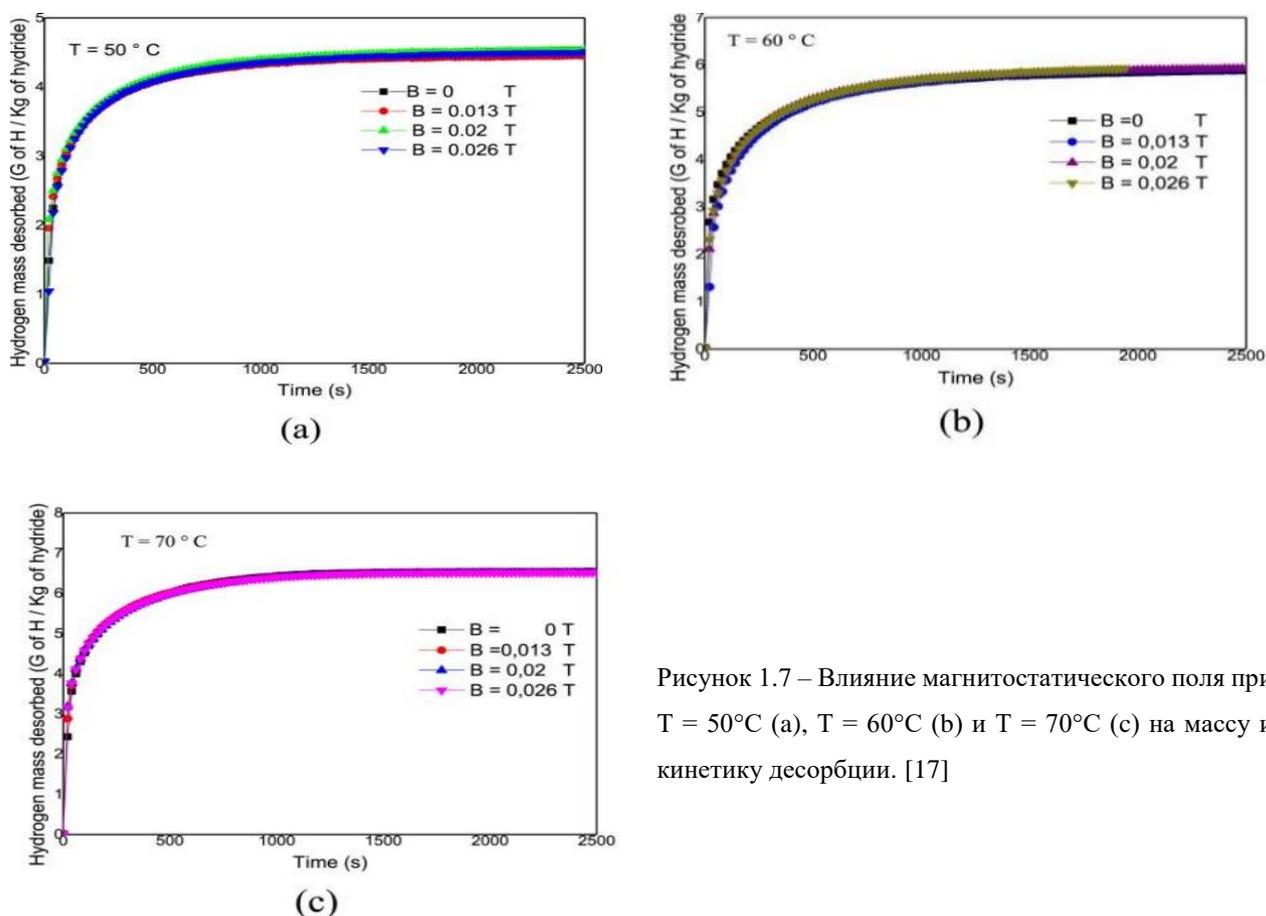


Рисунок 1.7 – Влияние магнитостатического поля при  $T = 50^{\circ}\text{C}$  (a),  $T = 60^{\circ}\text{C}$  (b) и  $T = 70^{\circ}\text{C}$  (c) на массу и кинетику десорбции. [17]

При более высоких температурах преобладает термическое перемешивание, и это нарушает выравнивание вращения, создаваемое полем возбуждения. Можно сказать, что при высоких температурах эффект термического перемешивания превышает эффект магнитного возбуждения. Магнитные моменты частиц имеют тенденцию располагаться в направлении легкого

намагничивания, на что указывает анизотропия магнитного кристалла. Тепловая флуктуация магнитного момента  $m_i$ , когда тепловая энергия  $kT$  больше анизотропной энергии, становится очень возможной. На направление крутящего момента  $m_i$  влияют внешнее магнитное поле  $B$  (частота которого ниже предполагаемой частоты тепловых колебаний) и температура [17].

#### 1.4 Влияние температуры на адсорбцию и десорбцию водорода

Влияние изменений температуры на реакцию адсорбции и реакцию десорбции тоже получено из эксперимента Sihem Belkhiria и др. [17].

На рис. 1.8 показано влияние начальной температуры теплоносителя на массу и динамику поглощения при постоянном давлении ( $P = 10$  бар) и постоянном магнитном поле ( $B = 0,026$ Тл). Эти кривые показывают эволюцию поглощенной массы водорода с течением времени. При насыщении скорость реакции уменьшается с повышением температуры [17,69,70].

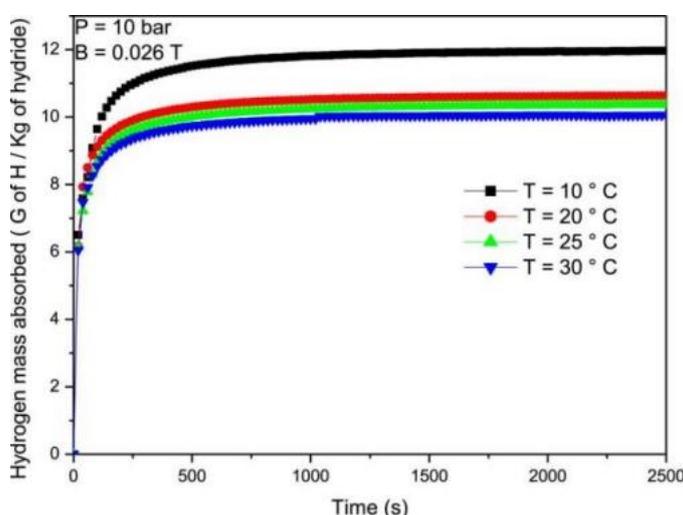


Рисунок 1.8 – Влияние начальной температуры при постоянном давлении и поле на массу и кинетику адсорбции. [17]

Когда температура повышается, уменьшение массы поглощенного водорода может быть связано с экзотермическим характером реакции. Повышение начальной температуры уменьшает температурный градиент между гидридным слоем и внешней средой, что затрудняет выделение тепла во время абсорбции. Следовательно, скорость реакции снижается [71].

На рис. 1.9 показано влияние начальной температуры теплоносителя на десорбированную массу и динамику при постоянном магнитном поле ( $B = 0,026\text{Тл}$ ). Как видно из этого рисунка, повышение температуры улучшает реакцию поглощения [68].

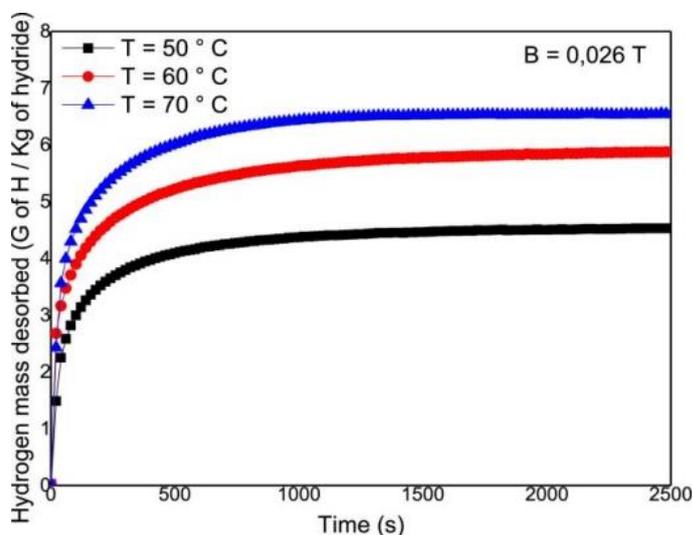


Рисунок 1.9 – Влияние начальной температуры при постоянном давлении и поле на массу, и кинетику десорбции. [17]

По мере повышения температуры увеличение массы десорбированного водорода обусловлено эндотермическим характером реакции. Повышение начальной температуры увеличивает температурный градиент между гидридным слоем и внешней средой, что способствует выделению тепла во время реакции десорбции. Затем скорость реакции увеличивается [17].

## Вывод

Палладий является очень хорошим металлом для хранения водорода, поскольку он может адсорбировать и десорбировать большое количество водорода при комнатной температуре. Добавление других металлов к палладию для превращения его в палладиевый сплав может улучшить механическую стабильность и долговечность, а также снизить затраты. Например, сплавы палладий-серебро могут растворять больше водорода, а сплавы палладий могут

ингибировать фазовый переход  $\alpha$ - в  $\beta$ -фазу гидрида палладия, устранять гистерезис и ускорять транспортировку водорода.

Палладий может накапливать или фильтровать и очищать водород. Принцип заключается в том, что палладий катализирует разложение молекул водорода на атомы водорода на поверхности молекул водорода, и атомы водорода диффундируют в палладий с образованием гидридов PdH<sub>x</sub>. Водород в палладии может присутствовать в бедной водородом  $\alpha$ -фазе и богатой водородом  $\beta$ -фазе.

Существующие эксперименты показали, что электрическое поле не изменит баланс, установленный реакцией между сплавом и водородом, то есть количество водорода, поглощенного сплавом, не изменится. Однако увеличение напряжения замедлит процесс поглощения водорода. То есть поглощение водорода замедляется под воздействием электрического поля.

Экспериментальные результаты доказали, что в диапазоне низких температур статическое магнитное поле может улучшить массы и скорости реакции адсорбции водорода и реакции десорбции водорода. Высокая температура устранит влияние статического магнитного поля.

Температура влияет на реакцию адсорбции и десорбции водорода. Экспериментальные результаты показывают, получен сравнительный анализ изображений четырех температур 10 градусов, 20 градусов, 25 градусов и 30 градусов: с повышением температуры скорость реакции адсорбции водорода уменьшается и качество поглощения водорода снижается; получен сравнительный анализ изображений трех температур 50 градусов, 60 градусов и 70 градусов: с повышением температуры скорость реакции десорбции водорода увеличивается, а масса десорбированного водорода также увеличивается.

## ГЛАВА 2. ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

### 2.1 Объект исследования

Объектами исследования являются:

Чистый палладий (Палладий Пд 99) размером  $11,2 \times 3,8 \times 0,11$  мм<sup>3</sup> и площадью поверхности 88,42 мм<sup>2</sup>.

Поверхность образца была механически отшлифована и отполирована.

### 2.2 Насыщение водородом электролитическим методом

Перед проведением экспериментов по десорбции водорода из палладия сначала требуется электролитическое насыщение водородом. Этот этап заключается в адсорбции водорода в палладии для следующего эксперимента.

В этом эксперименте в растворе серной кислоты увеличивают приложенный ток, чтобы заставить ток проходить через раствор электролита и вызвать окислительно-восстановительную реакцию на катоде и аноде. При подаче напряжения катионы в электролите перемещаются к катоду, поглощая электроны, и происходит реакция восстановления; анионы в электролите перемещаются к аноду, высвобождая электроны, и происходит реакция окисления.

Ионы в электролите часто находятся в неупорядоченном движении. После включения постоянного тока ионы движутся направленно. Катион перемещается к катоду, получает электроны на катоде и восстанавливается; анион перемещается к аноду, теряет электроны на аноде и окисляется. В процессе электролиза воды  $\text{OH}^-$  теряет электроны на аноде, окисляется до кислорода и высвобождается;  $\text{H}^+$  получает электроны на катоде, восстанавливается до водорода и высвобождается.

Электролиз разбавленной серной кислоты эквивалентен электролизу воды. Анод притягивает анионы ( $\text{OH}^-$ ), а катод - катионы ( $\text{H}^+$ ).  $\text{SO}_4^{2-}$  играет роль в повышении проводимости раствора электролита в растворе и не участвует в реакции электролиза.

Устройство для насыщения водородом, используемое в этом эксперименте, включает катод (материал образца), анод (проводник) и электролизер (рис. 2.1). Электролит составляет 1 м  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Образец действует как катод. Под действием приложенного тока электроны перемещаются к катоду, а ионы водорода (положительные ионы) в растворе электролита перемещаются к катоду и “растворяются” в катоде (образец палладия) для достижения цели насыщения образца водородом.

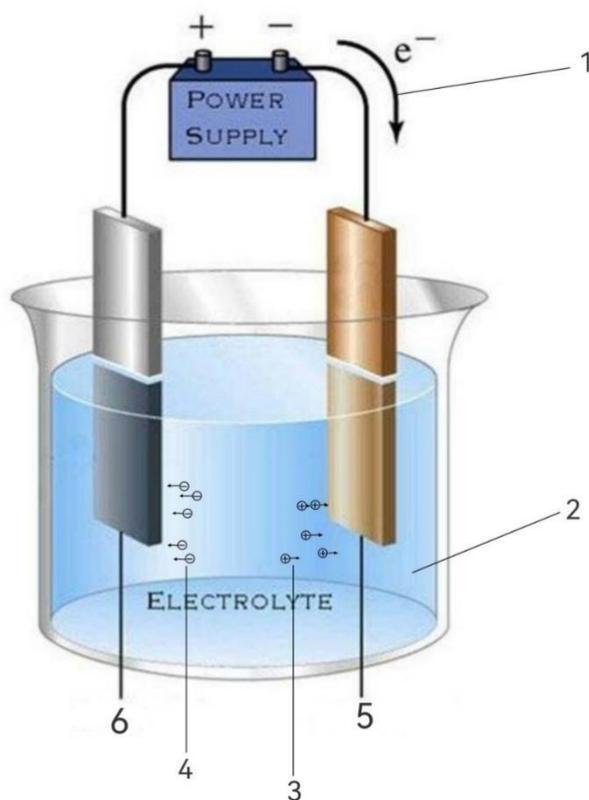


Рисунок 2.1 – Функциональная схема установки для исследования насыщения водородом: 1 – направление электронов; 2 – раствор электролита ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ); 3 – положительные ионы (ионы водорода); 4 – отрицательные ионы; 5 – катод (палладий); 6 – анод.

Используя 1 м раствора электролита  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , внешний ток 0,5 Ампер, обеспечиваемый плотностью тока насыщения  $j=I/S= 565,5 \text{ mA/cm}^2$ , раствор электролита насыщают в течение 30 минут.

### 2.3 Установка для исследования процесса выхода изотопов водорода

Установка, используемое для исследования процесса термостимулированного получения водорода (рис. 2.2), была разработана сотрудниками НИ ТПУ. Она включает вакуумную систему, нагревательное устройство и систему регистрации параметров для расчета растворения, и адсорбции атомов и молекул. Система высокого вакуума состоит из трех насосов для получения низкого давления: передний вакуумный насос 9 (ISP-250 С), турбомолекулярный насос 4 (НВТ 100 ФО) и 5 (АТН 300), минимальная сила давления может достигать  $10^{-7}$  Па. Давление в камере измеряется с помощью вакуумметров Stabil-Ion и ВИТ-2 фирмы Granville-Philips.

В устройстве выбор масс-спектрометра зависит от поставленной задачи. Можно использовать один из двух масс-спектрометров: либо униполярный масс-спектрометр (МХ-7304) украинского производства, либо квадрупольный масс-спектрометр американского производства, анализатор остаточных газов в атмосфере Turmoil [72-75].

Экспериментальное устройство показано на рисунке 2.3.

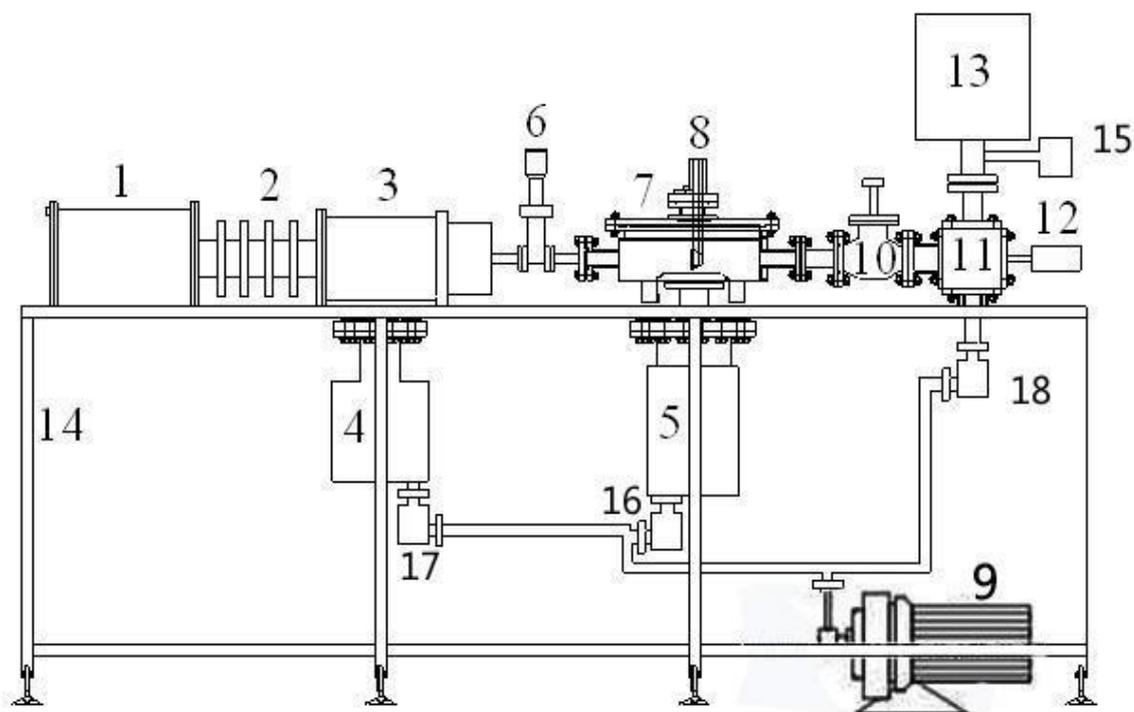


Рисунок 2.2 – Схема вакуумной части установки для исследования термо- и радиационно- стимулированного газовыделения: 1 – блок питания электронной пушки; 2 – изолятор электронной пушки; 3 – фокусирующая

система электронной пушки; 4–турбомолекулярный насос (НВТ 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.[73]

Исследование выделения газа проводится в условиях линейного нагрева. Нагрев осуществляется внешним нагревателем, который изготовлен из никель-хромовой проволоки, намотанной на кварцевую трубку, обернутую в теплоизолятор и установленную на камере 12 во время использования (ее можно нагревать до максимальной температуры 1000°C).

Во время эксперимента, после установки образца, размещения нагревателя и теплоизолятора, сначала включается форвакуумный насос 9, а затем включаются турбомолекулярные насосы 4 и 5. При замене образца для нового эксперимента вентиль между камерой внешней нагревательной образца 12 и камерой внутренней нагревательной образца 11 должна быть закрыта, чтобы блокировать вакуумную среду и обеспечить безопасность.

Экспериментальное устройство представляет собой автоматизированную систему. Компьютерная программа Project может автоматически записывать основной процесс и фокусироваться на линейном нагреве образца при температуре от 20 °С до 1000 °С (и от 20 °С до 2000 °С), а также устанавливать скорость нагрева от 0,1 °С до 5 °С /Сек. В то же время для регистрации температуры используется термопара, а для регистрации данных о выбросах газа - масс-спектрометр.

В этом эксперименте нагрев производится линейно в диапазоне от комнатной температуры до 350 °С, а скорость нагрева устанавливается равной 1 °С/сек.

Функциональная схема устройства для исследования термически стимулированного выделения газа показана на рисунке 2.3.

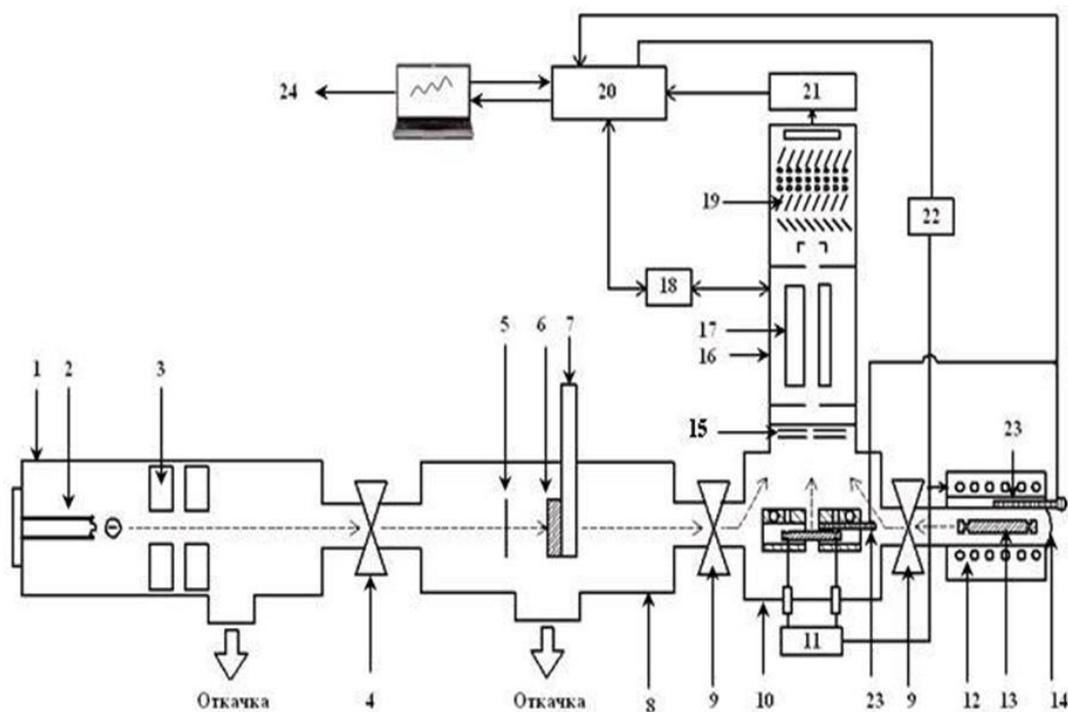


Рисунок 2.3 – Функциональная схема установки для исследования термо- и радиационно- стимулированного газовыделения: 1 – электронная пушка; 2 – питание катода электронной пушки; 3 – электромагнитная линза; 4 – шибер; 5 – флажок (вольфрамовая фольга для измерения тока электронов); 6 – образец для радиационно-стимулированных исследований; 7 – устройство охлаждения образца; 8 – высоковакуумная камера; 9 – высоковакуумные вентили; 10 – внутренний вакуумный нагреватель (2000 °С и выше); 11 – блок нагрева для 10; 12 – внешний нагреватель; 13 – исследуемый образец; 14 – ячейка для исследуемого образца; 15–17 – квадрупольный масс-анализатор; 18 – блок управления масс-спектрометром; 19 – детектор масс-спектрометра (ВЭУ); 20 – система автоматического нагрева; 21 – усилитель сигнала с ВЭУ; 22 – блок внешнего нагрева; 23 – термопары; 24 – компьютер. [73]

## 2.4 Устройство для приложения магнитного поля

В этом эксперименте катушка под напряжением использовалась для создания почти однородного магнитного поля для изучения влияния магнитного поля на десорбцию водорода из палладия.

Магнитное поле генерируется на основе гальваномагнитного эффекта. Любой провод с током может создавать вокруг себя магнитное поле, которое называется гальваномагнитным эффектом тока.

Соедините две параллельные катушки под напряжением одинаковой формы и размера с одинаковым положением оси на одной и той же горизонтальной линии, чтобы две катушки создавали кольцевой ток в одном направлении (рис.

2.4(a)). Поскольку каждая катушка, проходящая через кольцевой ток, генерирует магнитное поле вокруг катушки в одном и том же направлении, магнитное поле, генерируемое двумя соседними параллельными катушками, накладывается друг на друга, образуя почти однородное магнитное поле (рис. 2.4(б)).

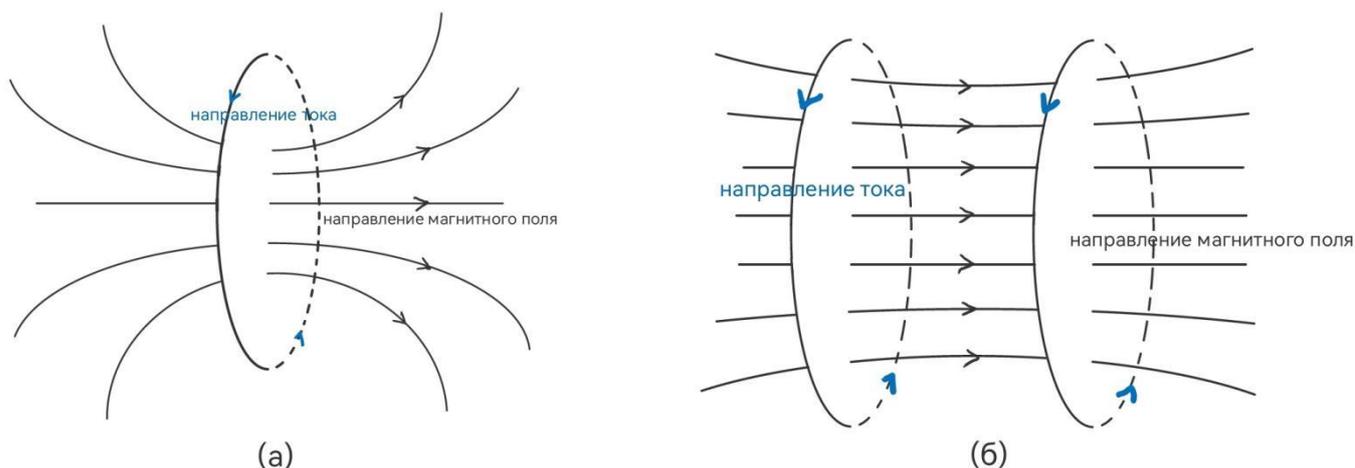


Рисунок 2.4 – Принципиальная схема магнитного поля, генерируемого катушкой под напряжением: (а) Одна катушка под напряжением; (б) Параллельные одинаковые катушки, оси которых находятся на одной горизонтальной линии.

Камеру 12 (рис. 2.2), содержащую образец, пропускают через середину катушки так, чтобы образец находился в магнитном поле. Напряженность приложенного магнитного поля изменяют путем изменения тока катушки, находящейся под напряжением, для изучения влияния магнитного поля на десорбированный водород из палладия и сплавы палладий-серебро.

Это устройство, создающее однородное магнитное поле на небольшой площади, называется катушкой Гельмгольца.

Пара Гельмгольца состоит из двух идентичных круглых магнитных катушек, которые расположены симметрично вдоль общей оси, по одной с каждой стороны экспериментальной области, и разделены расстоянием  $h$ , равным радиусу  $R$  катушки. Каждая катушка пропускает одинаковый электрический ток в одном и том же направлении [76].

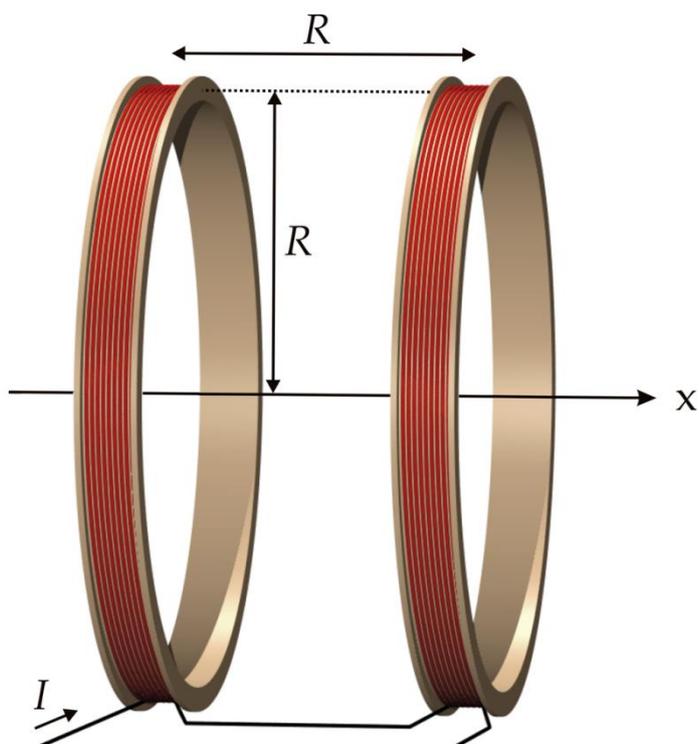


Рисунок 2.5 – Принципиальная схема катушки Гельмгольца.

Установите  $h = R$ , это определение катушки Гельмгольца, которое сводит к минимуму неравномерность центрального поля катушки в смысле настройки.

Полный модуль индукции магнитного поля может быть получен из Закона Био-Савара-Лапласа [77]:

$$B = \frac{\mu_0 2\pi I R^2}{4\pi(R^2 + x^2)^{\frac{3}{2}}} = \frac{\mu_0 I R^2}{2(R^2 + x^2)^{\frac{3}{2}}}$$

где,  $\mu_0$  - магнитная постоянная =  $4\pi \times 10^{-7} \text{ Т} \cdot \text{м}/\text{А} = 1,257 \times 10^{-6} \text{ Т} \cdot \text{м}/\text{А}$ ;  
 $I$  - ток через катушку, в амперах;  $R$  - радиус катушки, в метрах;  $x$  - расстояние по оси катушек, в метрах.

Каждая катушка состоит из  $n$  витков. Общий ток:  $nI$ .

$$B = \frac{\mu_0 n I R^2}{2(R^2 + x^2)^{\frac{3}{2}}} \quad (1)$$

И расстояние от катушки до центра вдоль оси:  $x=R/2$ .

$B =$

$$\frac{\mu_0 n I R^2}{2(R^2 + (\frac{R}{2})^2)^{\frac{3}{2}}} \quad (2)$$

Прибор состоит из двух катушек, поэтому

$$B = \frac{\mu_0 n I R^2}{\left(R^2 + \left(\frac{R}{2}\right)^2\right)^{\frac{3}{2}}} \quad (3)$$

То есть,

$$B = \left(\frac{4}{5}\right)^{\frac{3}{2}} \frac{\mu_0 n I}{R} \quad (4)$$

Диаметр катушки, используемой в этом эксперименте, равен расстоянию между двумя катушками:  $2R=h$ , то расстояние от катушки до центра вдоль оси:  $x=R$ . Используя процесс получения формулы магнитной индукции катушки Гельмгольца (формула 2), получается расчетная формула:

$$B = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{3}{2}} \frac{\mu_0 n I}{R} \quad (5)$$

Измеренный радиус катушки  $R$  равен 0,093 метра, и каждая катушка состоит из  $n=396$  витков.

То есть,

$$B = 1,892 \cdot I \quad (6)$$

$I$  (мТл)

Где  $I$  - ток через катушку, в амперах.

Эксперименты будут проводиться с использованием четырех различных интенсивностей тока 0,5 А, 1 А, 1,5 А и 2 А для изучения влияния магнитного поля генерируемого катушкой Гельмгольца, на десорбцию водорода из палладия при этих интенсивностях тока.

Значения рассчитанных значений магнитной индукции приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1

Взаимосвязь между силой тока и магнитной индукцией

$I(A)$	0	0,5	1	1,5	2
$B(мТл)$	0	0,946	1,892	2,838	3,784

Эксперимент разделен на две части: для изучения влияния переменного магнитного поля, генерируемого переменным током, и для изучения влияния постоянного магнитного поля, генерируемого постоянным током.

### **Вывод**

В этой главе показан набор экспериментальных устройств для изучения десорбированного водорода, которые были использованы для исследования экспериментальных образцов.

Представлены исследуемые образцы, представлена схема установки для электролитического наводороживания образца, приведена схема устройства для изучения процесса термостимулированного выхода водорода с использованием магнитного поля, определены переменные магнитного поля для анализа данных в следующей главе.

## ГЛАВА 3. ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ДЕСОРБЦИЮ ВОДОРОДА ИЗ ПАЛЛАДИЯ

### 3.1 Влияние температуры на десорбцию водорода из палладия

Сначала было проведено несколько экспериментов для определения влияния температуры на десорбированный из чистого палладия водород.

Из трех проведенных серий экспериментов (рис. 3.1) видно, что водород начинает десорбироваться из чистого палладия при  $T=140^{\circ}\text{C}$ , а выход водорода достигает своего пика при  $T=259\pm 1^{\circ}\text{C}$ .

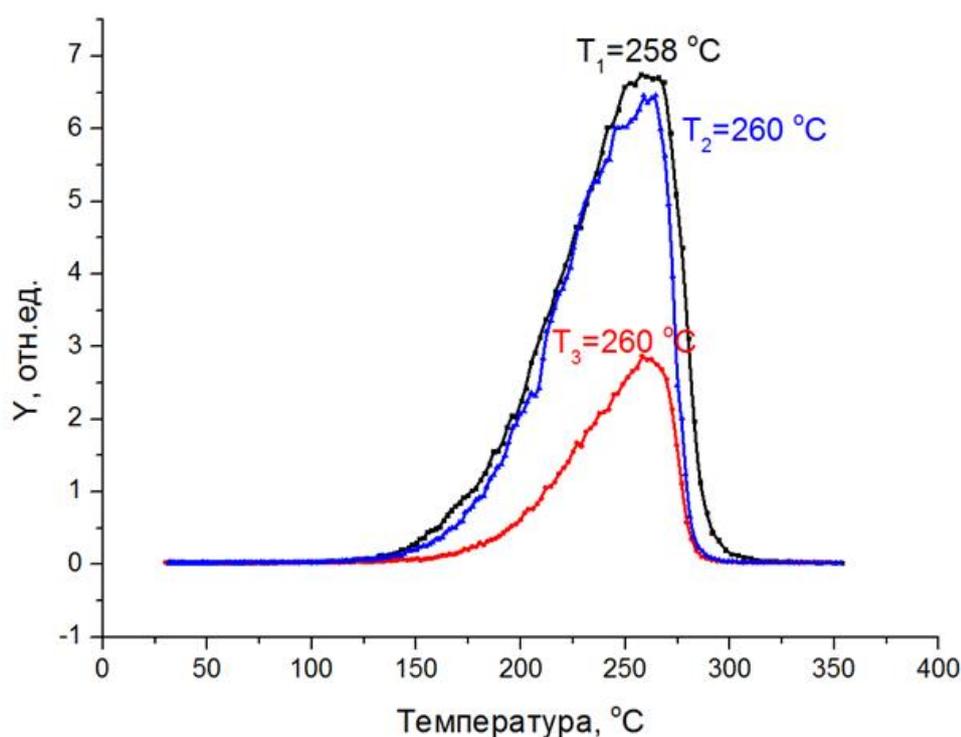


Рисунок 3.1 – Зависимость интенсивности выхода  $\text{H}_2$  от температуры.

Поскольку условия электролитического насыщения водородом не могут строго контролироваться и полностью оставаться неизменными, в сочетании с многочисленными экспериментами на одном и том же образце, чистый палладий вызывает изменения свойств, вызванные водородным охрупчиванием, что приводит к различному содержанию водорода, поглощаемого образцом после каждого электролиза насыщения водородом.

Однако из приведенных выше результатов видно, что различное содержание насыщенного водорода при электролизе не оказывает влияния на положение температурного пика, соответствующему максимальному значению десорбированного водорода.

### **3.2 Влияние переменного магнитного поля на десорбцию водорода из палладия**

При исследовании влияния переменного магнитного поля на десорбцию водорода из палладия был создан источник переменного магнитного поля. Для этого использовали внешний источник питания переменного тока и катушки Гельмгольца. Эксперименты проводились с использованием четырех различных сил тока 0,5 А, 1А, 1,5 А и 2А.

Для каждого значения силы тока проводилась серия измерений, и усредненный результат с учетом погрешности проведен на рис. 3. 2.

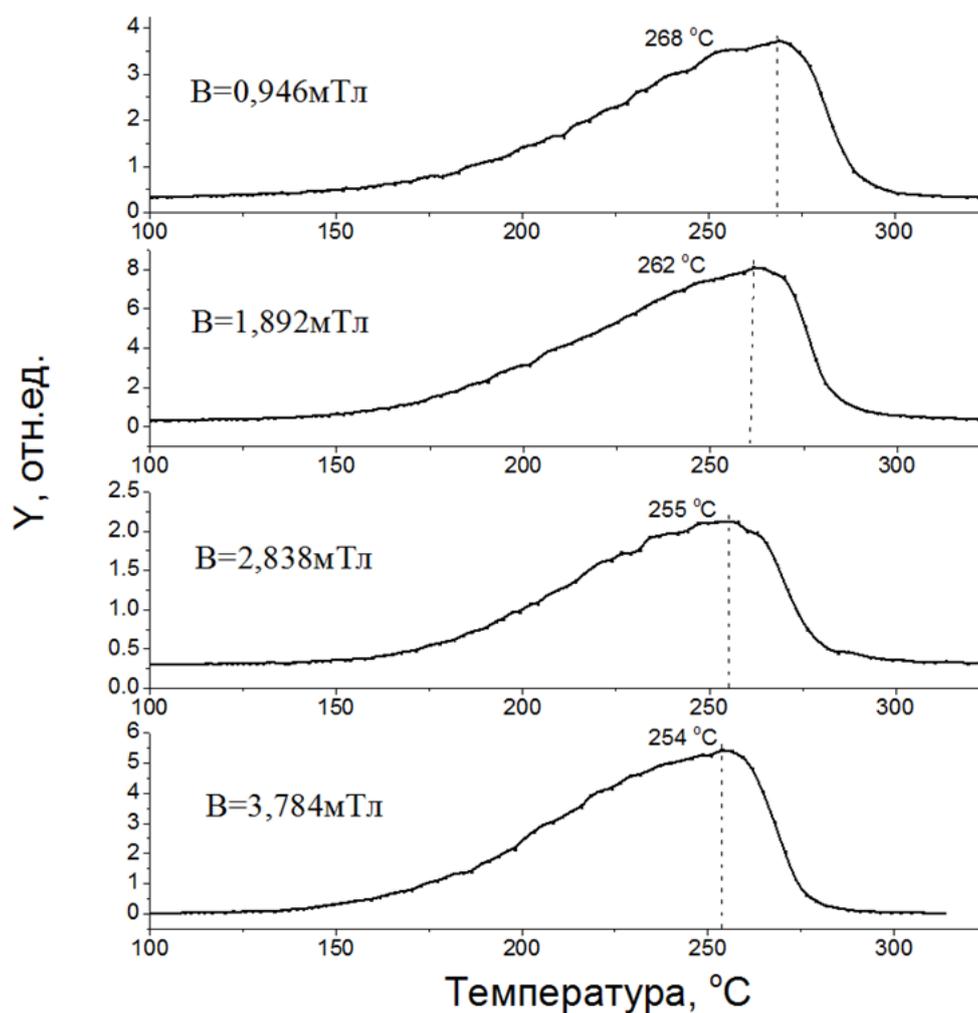


Рисунок 3.2 – Термодесорбционный спектр водорода из Pd при переменном магнитном поле.

Температура и погрешность, соответствующие максимальному значению десорбированного водорода при различных магнитные индукции в переменном магнитном поле, приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1

Температура и погрешность, соответствующие максимальному значению десорбированного водорода в переменном магнитном поле

I, А	0,5	1	1,5	2
B, мТл	0,946	1,892	2,838	3,784
T <sub>max</sub> , °C	268±2	262±1,5	255±0,5	254±1

Результаты эксперимента показывают, что в процессе десорбции водорода из палладия при воздействии переменного магнитного поля наблюдается сдвиг

температуры, соответствующей максимальному значению десорбированного водорода в область более низких температур.

### 3.2 Влияние постоянного магнитного поля на десорбцию водорода из палладия

При исследовании влияния переменного магнитного поля на десорбцию водорода из палладия был создан источник переменного магнитного поля. Для этого использовали внешний источник питания постоянного тока и катушки Гельмгольца. Эксперименты проводились с использованием четырех различных сил тока 0,5 А, 1А, 1,5 А и 2А.

Для каждого значения силы тока проводилась серия измерений и усредненный результат с учетом погрешности проведен на рис. 3.3.

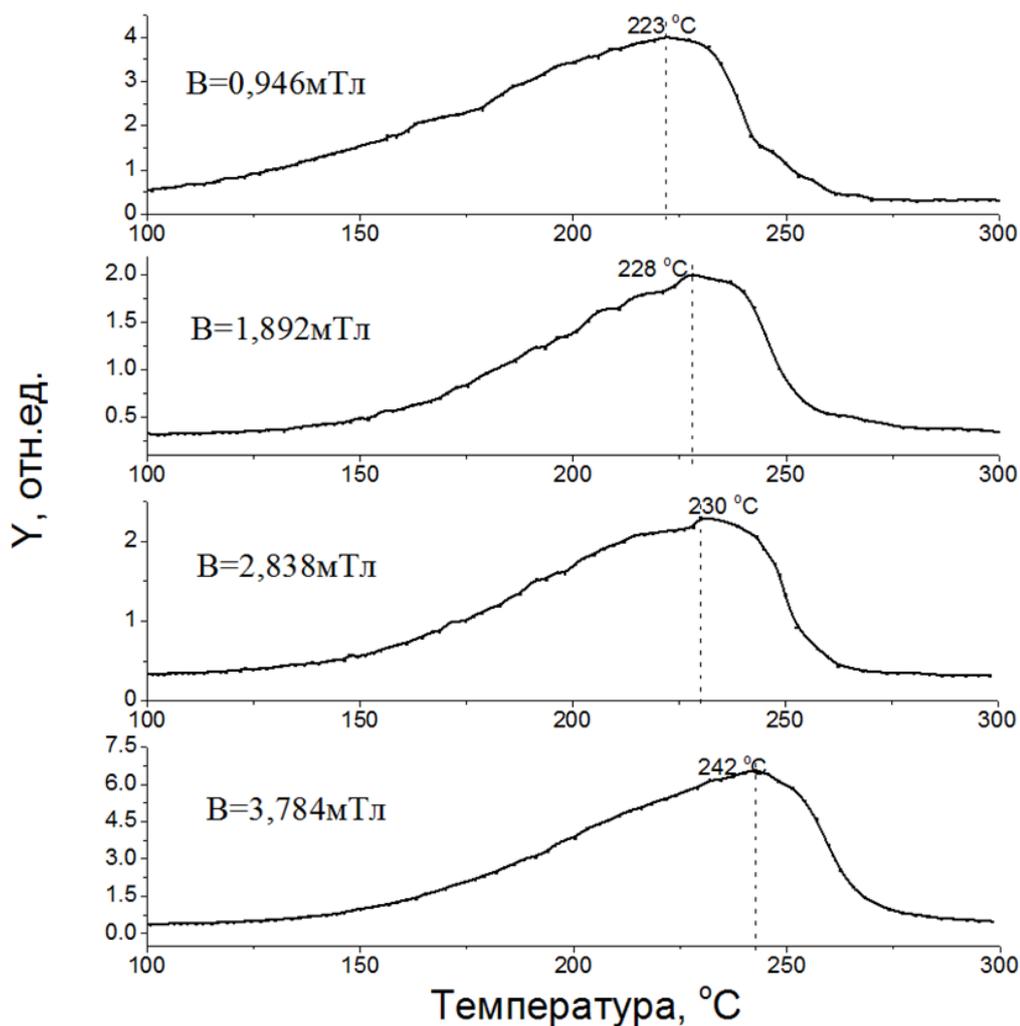


Рисунок 3.3 – Термодесорбционный спектр водорода из Pd при постоянном магнитном поле.

Температура и погрешность, соответствующие максимальному значению десорбированного водорода при различных магнитных индукции в постоянном магнитном поле, приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2

Температура и погрешность, соответствующие максимальному значению десорбированного водорода в постоянном магнитном поле

I, А	0,5	1	1,5	2
B, мТл	0,946	1,892	2,838	3,784
T <sub>max</sub> , °C	223±1,5	228±1,5	230±1	242±2,5

Экспериментальные результаты показывают, что в процессе десорбции водорода из палладия при воздействии постоянного магнитного поля наблюдается сдвиг температуры, соответствующей максимальному значению десорбированного водорода в область более высоких температур.

### 3.3 Сравнительный анализ влияния переменного магнитного поля и постоянного магнитного поля на десорбцию водорода из палладия

Объедините таблицу 3.1 и таблицу 3.2, чтобы получить таблицу 3.3.

Таблица 3.3

Температура и погрешность, соответствующие максимальному значению десорбированного водорода с магнитным полем или без него

I, А	B, мТл	T <sub>max</sub> , °C	
		Переменное поле	Постоянное поле
0	0	259±1	
0,5	0,946	268±2	223±1,5
1	1,892	262±1,5	228±1,5
1,5	2,838	255±0,5	230±1
2	3,784	254±1	242±2,5

Из таблицы 3.3 получена зависимость между магнитной индукцией и температурой, соответствующий максимальному значению десорбированного водорода (рис. 3.4).

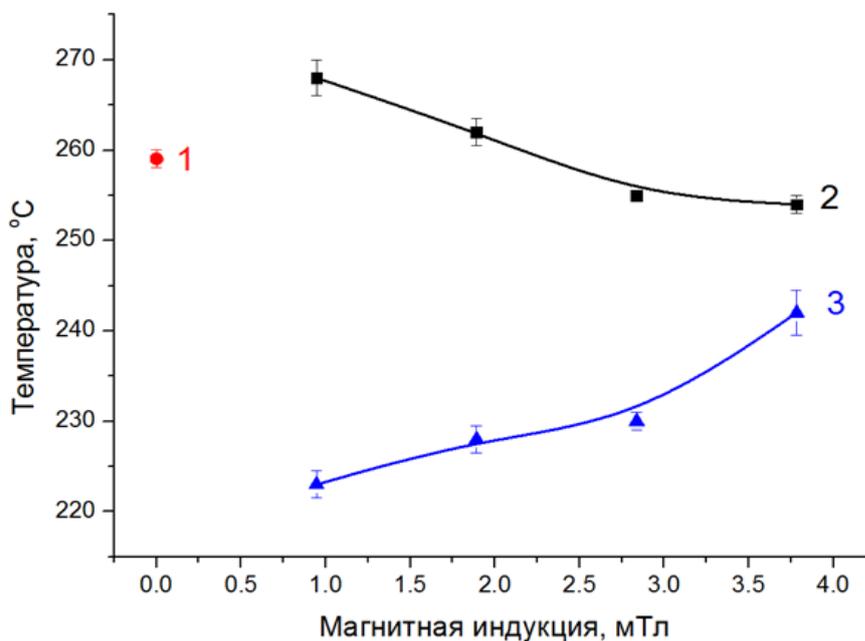


Рисунок 3.4 – Зависимость между магнитной индукцией и температурой, соответствующей максимальному значению десорбированного водорода: 1 – без магнитного поля, 2 – с переменным магнитным полем, 3 – с постоянным магнитным полем.

На основе полученных результатов представленных на рис. 3.4 можно сделать следующие выводы:

Сравнивая влияния отсутствия магнитного поля и присутствие переменного магнитного поля (т.е. 1 и 2 на рис. 3.4) на десорбцию водорода из палладия, обнаружено, что:

1) Температура, соответствующая максимальному значению десорбированного водорода под воздействием переменного магнитного поля, на (5-9) °C отличается от температуры, соответствующей максимальному значению десорбированного водорода без воздействия магнитного поля.

2) При величине магнитной индукции  $V_1=0,946$  мТл и  $V_2=1,892$  мТл температура пика, соответствующая максимальному значению десорбированного водорода под воздействием переменного магнитного поля,

больше температуры, соответствующей максимальному значению десорбированного водорода без воздействия магнитного поля.

3) При значении магнитной индукции  $B_3=2,838$  мТл и  $B_4=3,784$  мТл температура, соответствующая максимальному значению десорбированного водорода под воздействием переменного магнитного поля, меньше температуры, соответствующей максимальному значению десорбированного водорода без воздействия магнитного поля.

Сравнивая влияния отсутствия магнитного поля и наличие постоянного магнитного поля (т.е. 1 и 3 на рис. 3.4) на десорбцию водорода из палладия, обнаружено, что:

4) Температура, соответствующая максимальному значению десорбированного водорода под воздействием постоянного магнитного поля, на  $(16-36)$  °С отличается от температуры, соответствующей максимальному значению десорбированного водорода без воздействия магнитного поля.

5) Во всех проведенных экспериментах температура, соответствующая максимальному значению десорбированного водорода под воздействием постоянного магнитного поля, меньше температуры, соответствующей максимальному значению десорбированного водорода без воздействия магнитного поля.

Сравнивая влияния переменного магнитного поля и постоянного магнитного поля (т.е. 2 и 3 на рис. 3.4) на десорбцию водорода из палладия, обнаружено, что:

6) Под действием переменного магнитного поля температура, соответствующая максимальному значению десорбированного водорода, снижается с увеличением значения магнитной индукции.

7) Под действием постоянного магнитного поля температура, соответствующая максимальному значению десорбированного водорода, повышается с увеличением магнитной индукции.

Объяснение приведенных выше результатов могут заключаться в следующем:

Причина для пункта (4) заключается в том, что приложенное постоянное магнитное поле может определять направление квантового магнитного спина системы. В этом случае неупорядоченное состояние является слабым, что помогает водороду проникать в металлическую матрицу и покидать ее (см. 1.3.2). Следовательно, постоянное магнитное поле способствует десорбции водорода из палладия, поэтому температура, соответствующая максимальному значению десорбированного водорода под воздействием постоянного магнитного поля, является низкой.

Сравнивая пункты (1) и (3) в приведенных выше анализ, можно сказать, что влияние постоянного магнитного поля на десорбцию водорода из палладия больше, чем влияние переменного магнитного поля. Это происходит потому, что при приложении переменного магнитного поля направление квантового магнитного спина системы изменяется в соответствии с направлением переменного магнитного поля. При приложении постоянного магнитного поля направление квантового магнитного спина системы согласуется с направлением постоянного магнитного поля и является постоянным. Следовательно, влияние постоянного магнитного поля на десорбцию водорода из палладия больше, чем влияние переменного магнитного поля.

Причина для пункта (5) заключается в том, что магнитное поле может определять направление квантового магнитного спина системы. Чем больше значение магнитной индукции, тем быстрее определяется направление квантового магнитного спина. При условии, что частота изменения переменного магнитного поля остается неизменной, чем больше магнитная индукция, тем больше времени направление квантового магнитного спина фиксируется во время периодического изменения магнитного поля и тем более благоприятно для поступления водорода в металлическую матрицу и выхода из нее. Следовательно, чем больше магнитная индукция переменного магнитного поля, тем больше оно способствует десорбции водорода из палладия, и температура, соответствующая максимальному значению десорбированного водорода, станет ниже.

С нашей точки зрения, причина пункта (2) заключается в том, что при магнитным индукциям  $B_1=0,946$  мТл и  $B_2=1,892$  мТл эффект разупорядочения квантового магнитного спина системы, из-за изменения направления переменного магнитного поля, больше, чем эффект ориентации квантового спина системы магнитным полем, поэтому в это время температура, соответствующая максимальному значению десорбированного водорода, больше температуры без влияния магнитного поля, то есть при магнитным индукциям  $B_1=0,946$  мТл и  $B_2=1,892$  мТл переменное магнитное поле не способствует десорбции водорода, а замедляет ее.

Однако при магнитным индукциям  $B_3=2,838$  мТл и  $B_4=3,784$  мТл, поскольку чем больше значение магнитной индукции, тем дольше «фиксируется» направление квантового магнитного спина при периодическом изменении магнитного поля, тем «благоприятнее» водород входит и выходит из металлической матрицы, в связи с чем влияние магнитного поля на ориентацию квантового спина системы больше, чем влияние разупорядочения квантового магнитного спина системы, вызванного изменением направления переменного магнитного поля. Это означает, что при магнитным индукциям  $B_3=2,838$  мТл и  $B_4=3,784$  мТл. переменное магнитное поле способствует десорбции водорода.

### **Вывод**

На основании проделанной работы можно сделать следующие выводы:

- в отсутствие магнитного поля водород начинает десорбироваться из чистого палладия при  $T=140^\circ\text{C}$ , а выход водорода достигает своего пика при  $T=259\pm 1^\circ\text{C}$ ;
- температура, соответствующая максимальному значению десорбированного водорода под воздействием переменного магнитного поля, на  $(5-9)^\circ\text{C}$  отличается от температуры, соответствующей максимальному значению десорбированного водорода без воздействия магнитного поля;

– температура, соответствующая максимальному значению десорбированного водорода под воздействием постоянного магнитного поля, на (16-36) °С отличается от температуры, соответствующей максимальному значению десорбированного водорода без воздействия магнитного поля;

– в процессе десорбции водорода из палладия при воздействии переменного магнитного поля наблюдается сдвиг температуры, соответствующей максимальному значению десорбированного водорода в область более низких температур;

– в процессе десорбции водорода из палладия при воздействии постоянного магнитного поля наблюдается сдвиг температуры, соответствующей максимальному значению десорбированного водорода в область более высоких температур.

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
150Б95	Ян Вэньсинь

<b>Школа</b>	Инженерная Школа ядерных технологий	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	Отделение Экспериментальной физики
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<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>	<i>Финансовые ресурсы 75000 руб.; Человеческие ресурсы 2 чел.;</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Ставки социального налога (30%) и НДС (20%)</i>

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

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

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

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

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

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
доцент	Верховская М.В.	к.э.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
150Б95	Ян Вэньсинь		

## **Глава 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

Темой настоящей ВКР является: Исследование влияния переменного и постоянного магнитного поля на десорбцию водорода из палладия. Было изучено влияние наличия или отсутствия магнитных полей на десорбцию водорода из палладия и проведено сравнение различных эффектов переменных магнитных полей и постоянных магнитных полей.

В процессе поиска источников финансирования научных исследований и коммерциализации их результатов оценка коммерческой ценности работы является обязательным условием. Помимо превосходства над предыдущими разработками, необходимо также понимать коммерческую привлекательность научных исследований.

Целью выполнения финансово-экономической части выпускной квалификационной работы является формирование навыков оценки результата научной работы и поиск источников финансирования для проведения научного исследования. Данный раздел, предусматривает рассмотрение следующих задач:

- Оценка коммерческого потенциала разработки;
- Планирование научно-исследовательской работы;
- Расчет бюджета научно-исследовательской работы;
- Определение ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности исследования.

### **4.1. Потенциальные потребители результатов исследования**

Основные потребители результатов исследований находятся в области водородных технологий. Палладиевые материалы имеют большой потенциал для многих применений, связанных с водородом, таких как водородное зондирование, разделение водорода (тонкие пленки для фильтрации водорода), катализ, производство водорода и хранение водорода. Результаты исследования способствуют разработке более совершенных водородных материалов и

технологий хранения водородной энергии. Это также может способствовать развитию таких областей, как возобновляемые источники энергии, топливные элементы и металлический катализ.

#### 4.2 Экономическая эффективность исследования

Эксперимент не представляет коммерческого потенциала, его целью является только получение закона влияния магнитного поля на десорбцию водорода из палладия. Следовательно, оценить его экономический эффект невозможно.

В связи с этим оценить его экономический эффект не представляется возможным.

#### 4.3 Планирование научно-технического исследования

При организации выполнения конкретных проектов важно грамотно спланировать занятость участников и рабочее время каждого. Проводя исследования для диссертации, необходимо создавать рабочие группы для достижения и выполнения конкретных целей. Для различных видов работ необходимо создать соответствующую должность для человека, который будет выполнять эту работу.

Таблица 4.1 – Перечень работ и продолжительность их выполнения

Этапы работы	Исполнители	Загрузка исполнителей
Постановка целей и задач, получение исходных данных	Научный руководитель	Научный руководитель– 100%
Составление и утверждение ТЗ	Научный руководитель	Научный руководитель– 100%
Выбор направления исследований	Научный руководитель, Исполнитель	Научный руководитель– 35% Исполнитель– 100%

Разработать экспериментальный план и график	Научный руководитель	Научный руководитель– 100%
Обсуждение литературы	Научный руководитель, Исполнитель	Научный руководитель– 30% Исполнитель– 100%
Выбор структурной схемы устройства	Научный руководитель, Исполнитель	Научный руководитель– 100% Исполнитель– 65%
Выбор принципиальной схемы устройства	Научный руководитель, Исполнитель	Научный руководитель– 100% Исполнитель– 90%
Насыщение образцов водородом электролитическим методом	Научный руководитель, Исполнитель	Научный руководитель– 100% Исполнитель– 100%
Экспериментальный анализ данных	Научный руководитель, Исполнитель	Научный руководитель– 20% Исполнитель– 100%
Оформление расчетно-пояснительной записки	Научный руководитель, Исполнитель	Научный руководитель– 40% Исполнитель– 100%
Оформление графического материала	Научный руководитель, Исполнитель	Научный руководитель– 80% Исполнитель– 100%
Подведение итогов	Научный руководитель, Исполнитель	Научный руководитель– 60% Исполнитель– 100%

### 4.3.1 Продолжительность этапов работ

Существует два способа расчета трудоемкости этапа работ.

Первый способ является технико-экономическим: данный способ относится к нормативной базе трудоемкости полностью разработанного процесса планирования, что в свою очередь обусловлено их высокой повторяемостью в

стабильных условиях. Мы отказываемся от использования данного метода, так как подрядчики зачастую не имеют соответствующих критериев.

Второй метод является экспериментально-статистическим методом, который может быть реализован двумя способами: 1) аналоговыми 2) экспертным. Метод моделирования возможен только в том случае, если в поле зрения исполнителя имеется устаревший тренажер. В основном он может применяться только локально по отдельным элементам (этапам работ). Именно поэтому для оценки выбран экспертный метод. Метод экспертов пригоден для применения в ситуациях, когда не хватает информационных ресурсов, и эксперты в конкретных предметных областях проводят необходимые количественные оценки на основе своего профессионального опыта.

Рассчитайте необходимое время для выполнения каждого этапа работы, используя следующую формулу:

$$t_{ож} = \frac{t_{min} + 4t_{prob} + t_{max}}{6} \quad (4.1)$$

Где  $t_{min}$  – Минимальное время работы, дн.;  $t_{max}$  – максимальная время работы, дн.;  $t_{prob}$  – наиболее вероятная продолжительность работы, дн.

$$T_{рд} = \frac{t_{ож}}{K_{вн}} \cdot K_{д} \quad (4.2)$$

Где  $t_{ож}$  – продолжительность работы, дн.;  $K_{вн}$  – коэффициент завершения работ,  $K_{вн} = 1,2$ ;  $K_{д}$  - Коэффициент дополнительного времени для компенсации непредвиденных задержек и согласования,  $K_{д} = 1,1$

Продолжительность этого этапа измеряется в календарных днях и в соответствии с формулой:

$$T_{кд} = T_{рд} \cdot T_{к} \quad (4.3)$$

Где  $T_{кд}$  - продолжительность этапа в календарных днях;  $T_{к}$  - календарный коэффициент, рассчитываемый по формуле:

$$T_{к} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вд} - T_{пд}} = \frac{365}{365 - 52 - 14} = 1,22 \quad (4.4)$$

Где  $T_{\text{КАЛ}}$  – календарные дни ( $T_{\text{КАЛ}} = 365$ );  $T_{\text{ВД}}$  – выходные дни по кадровым вопросам. Вопросы применения ст. 111 ТК РФ, ( $T_{\text{ВД}} = 52$ );  $T_{\text{ПД}}$  – праздничные дни по кадровым вопросам. Вопросы применения ст. 112 ТК РФ, ( $T_{\text{ПД}} = 14$ ).

Таблицы 4.2

Затраты на оплату труда для реализации проекта

№	Этап	Исполнители	Продолжительность работ, дни			Трудоемкость работ по исполнителям чел.- дн.			
						$T_{\text{РД}}$		$T_{\text{КД}}$	
			$t_{\text{min}}$	$t_{\text{max}}$	$t_{\text{ож}}$	НР	И	НР	И
1	Постановка целей и задач	НР	3	4	3.4	3.12	-	3.802	-
2	Составление и утверждение ТЗ	НР	2	3	2.4	2.2	-	2.684	-
3	Выбор направления исследований	НР, И	7	10	8.2	2.26	7.52	2.75	9.17
4	Разработать экспериментальный план и график	НР, И	2	4	2.8	2.57	0.26	3.13	0.31
5	Обсуждение литературы	НР, И	3	6	4.2	1.16	3.85	1.41	4.70
6	Выбор структурной схемы устройства	НР, И	7	14	9.8	8.98	4.49	10.96	5.48
7	Выбор принципиальной схемы устройства	НР, И	4	10	6.4	5.87	4.69	7.16	5.73

8	Насыщение образцов водородом электролитическим методом	НР,И	30	45	36	32.85	26.28	40.08	32.06
9	Экспериментальный анализ данных	НР, И	15	20	17	3.12	12.46	3.80	15.21
10	Оформление расчетно-пояснительной записки	НР, И	5	6	5.4	1.98	3.96	2.42	4.83
11	Оформление графического материала	НР, И	10	15	12	11	8.8	13.42	10.74
12	Подведение итогов	НР, И	4	6	4.8	2.64	4.4	3.2208	5.368
	<b>Итого:</b>				<b>112.4</b>	<b>77.73</b>	<b>76.71</b>	<b>94.83</b>	<b>93.59</b>

где, НР — это научный руководитель, И — это исполнитель

№	НР	И	Март			Апрель			Май			Июнь		
			10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
1	3.80	-	■											
2	2.68	-		■										
3	2.75	9.17			■									
4	3.13	0.31				■								
5	1.41	4.70					■							
6	10.96	5.48						■						
7	7.16	5.73							■					
8	40.08	32.06								■	■	■	■	



#### 4.4 Расчет сметы затрат на выполнение проекта

Затраты на создание проекта включают в себя все расходы, необходимые для выполнения каждой из задач, составляющих проект. Сметная стоимость его выполнения рассчитывается на основе следующих статей расходов: материалы и покупные изделия; заработная плата; социальные налоги; расходы на электроэнергию (за исключением освещения); амортизация; командировочные расходы; расходы на связь.

##### 4.4.1 Расчет затрат на материалы

В первую очередь, затраты включают в себя стоимость материалов, покупных изделий, полуфабрикатов и других материальных ценностей, которые непосредственно потребляются при эксплуатации объекта проектирования. При покупке большого количества изделий, например, при определении цены за штуку палладия марки ПД-99, мы используем метод взвешивания. За цену единицы принимается средняя рыночная цена. Несмотря на то, что оптовая цена будет значительно ниже среднерыночной, это не окажет существенного влияния на небольшое количество исследуемых образцов.

Таблицы 4.3

Расчет затрат на материалы

Наименование материалов	Единица измерения	Цена за ед., руб.	Кол-во	Сумма, руб.
Сплав палладия с серебром марки ПД-400	мм <sup>3</sup>	20000	1	20000
Раствор H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	л	20	1	20
Наждчная бумага (А4)	штук	60	20	1200
Транспортно-заготовительные расходы (10-20%)				780

<b>Итого:</b>				<b>22000</b>
---------------	--	--	--	--------------

#### 4.4.2 Расчет заработной платы

Среднедневная тарифная заработная плата ( $ЗП_{дн-т}$ ) рассчитывается по формуле:

$$ЗП_{дн-т} = \frac{МО}{\frac{298}{12}} = \frac{МО}{24,83}$$

При учете премий, дополнительной заработной платы и региональных надбавок используются следующие коэффициенты:

$$К_{ПР} = 1,1; К_{доп. ЗП} = 1,188; К_{р} = 1,3.$$

Таким образом, необходимо добавить эти ставки к базовой заработной плате, чтобы рассчитать соответствующий коэффициент. Формула расчета данного коэффициента выглядит следующим образом

$$К_{и} = К_{ПР} * К_{доп. ЗП} * К_{р} = 1,1 * 1,188 * 1,3 = 1,699.$$

Таблицы 4.4

Затраты на заработную плату

Исполнитель	Оклад, руб./мес	Среднедневная ставка, руб./раб.день	Затраты времени, раб.дни	Коэффициент	Фонд з/платы, руб.
НР	33 664	1343	77,73	1,699	95640,54
И	15 470	617	76,71	1,620	10415,58
<b>Итого:</b>					<b>106056,12</b>

#### 4.4.3 Расчет затрат на социальный налог

Стоимость Единого социального налога (ЕСН), который включает в себя взносы в Пенсионный фонд, социальное и медицинское страхование, составляет 30% от общего фонда оплаты труда проекта.

$$C_{\text{соц.}} = C_{\text{зп}} * 0,3 = 106056,12 * 0,3 = 31816,84 \text{ руб.}$$

#### 4.4.4 Расчет затрат на электроэнергию

Подсчитайте стоимость электроэнергии, необходимой для проведения теста. Необходимо знать местную цену на электроэнергию, мощность прибора и количество времени, в течение которого он будет использоваться, используя формулу:

$$C_{\text{эл. об.}} = P_{\text{об}} \cdot t_{\text{об}} \cdot C_{\text{э}}$$

Где  $P_{\text{об}}$  – мощность кВт;  $t_{\text{об}}$  – время работы оборудования, час.  $C_{\text{э}}$  – цена на 1 кВт·час;  $C_{\text{э}} = 5,748 \text{ руб./кВт.час}$  (в ТПУ).

После регистрации спектральных данных экспериментальное оборудование было запущено на 24 часа с использованием удаленного компьютера для получения данных в режиме реального времени. Так как экспериментальный метод имеет излучение частиц высокой энергии, то контакт человека с оборудованием будет сведен к минимуму. В результате такой операции экспериментальное оборудование будет работать больше, чем человек.

При этом стоимость  $t_{\text{об}}$  определяется путем прямого учета, особенно в тех случаях, когда использование соответствующего оборудования ограничено.

Мощность, которую потребляет оборудование, определяется по формуле

$$P_{\text{об}} = P_{\text{ном.}} * K_{\text{с}}$$

Где  $P_{\text{ном.}}$  – номинальная мощность оборудования, кВт;  $K_{\text{с}} = 1$  (оборудование малой мощности).

Расчет платы за электроэнергию производится следующим образом

№	Наименование оборудования	Время работы $t_{об}$ (ч)	Потребляемая Мощность $P_{об}$ (кВт)	Цена единицы оборудования, $Ц_э$ (кВт/ч);	Затраты на электроэнергию, руб.
1.	Установка насыщения водорода электрическим	864	0,09	5,748	447,0
2.	турбомолекулярный насос (НВТ 100 ФО)	864	0,07		347,6
3.	гибридный турбомолекулярный насос (АТН 300)	864	0,07		347,6
4.	форвакуумный насос (ISP-250 С)	864	0,40		1986,5
5.	массспектрометр	840	0,09		434,5
6.	Компьютер	600	0,2		689,8
	Итого	4896	0,92		4253

#### 4.4.5 Расчет амортизационных расходов

При расчете стоимости учитываются не только затраты на электроэнергию, но и амортизация оборудования. Для этого используется формула.

$$C_{AM} = \frac{H_A * Ц_{ОБ} * t_{рф} * n}{F_D}$$

где  $N_A$  – годовая норма амортизации; ( $N_A=12,5\%$  по приложению 1, для ПК  $N_A=40\%$ ),  $C_{OB}$  – балансовая стоимость единицы оборудования с учетом ТЗР.  $F_d$  – действительный годовой фонд времени работы соответствующего оборудования. ( $301*24=7224$  ч),  $t_{рф}$  – фактическое время работы оборудования в ходе выполнения проекта, задается исполнителем проекта;  $n$  – число задействованных однотипных единиц оборудования.

Результаты расчета амортизации в таблице 4.6

Таблицы 4.6  
Расчета амортизации

№	Наименование оборудования	Количество (n).	Цена единицы оборудования, руб ( $C_{OB}$ )	Общая стоимость оборудования, руб.	Время работы, $t_{рф}$ (ч)	Амортизация, руб.
1.	установка насыщения водорода электрическим	1	2000	2000	864	29,9
2.	турбомолекулярный насос (НВТ 100 ФО)	1	43000	43000	864	643
3.	гибридный турбомолекулярный насос (АТН 300)	1	58000	58000	864	867
4.	форвакуумный насос (ISP-250С)	1	10000	10000	864	149,5
5.	массспектрометр	1	50000	50000	840	72,7
6.	Компьютер	1	20000	20000	600	221,3

	Итого		183000		1983,4
--	-------	--	--------	--	--------

#### 4.4.6 Стоимость всего проекта

Затраты на каждый из этих компонентов объединяются и суммируются. Стоимость всех затрат для данного эксперимента приведена в таблице 4.7 ниже.

Таблицы 4.7

Смета затрат на разработку проекта

Статья затрат	Условное обозначение	Сумма, руб.
Материалы и покупные изделия	$C_{\text{мат}}$	22000
Основная заработная плата	$C_{\text{зп}}$	106056,12
Отчисления в социальные фонды	$C_{\text{соц}}$	31816,84
Расходы на электроэнергию	$C_{\text{эл.}}$	4253
Амортизационные отчисления	$C_{\text{ам}}$	1983,4
<b>Итого:</b>		<b>166109,4</b>

#### Вывод

Данный эксперимент не имеет коммерческого потенциала, он предназначен лишь для получения закона влияния магнитного поля на десорбцию водорода из палладия. Следовательно, оценить его экономический эффект невозможно.

При планировании исследовательской работы бюджет исследования исходил из стоимости материалов (22 000 руб.), стоимости электроэнергии для оборудования для научной работы (4 253 руб.), стоимости основной заработной платы исполнителя темы (106 056,12 руб.), расходы на социальное обеспечение (31 816,84 руб.) и расходы на амортизацию (1983,4 руб.). Общий бюджет составляет 166109,4 руб.

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b> 150Б95		<b>ФИО</b> Ян Вэньсинь	
<b>Школа</b>	Инженерная Школа ядерных технологий	<b>Отделение (НОЦ)</b>	Отделение Экспериментальной физики
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	03.03.02 «Физика»

Тема ВКР:

Влияние переменного и постоянного магнитного поля на десорбцию водорода из палладия	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
<p><b>Введение</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения.</li> <li>– Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации</li> </ul>	<p><i>Объектом исследования является технический чистый палладий По 99</i>  <i>Область применения: извлечение водорода и водородная энергия</i>  <i>Рабочая зона: офис/лаборатория</i>  <i>Размеры помещения (климатическая зона*): 5*7 м</i></p> <p><i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны: 1.Устройство для исследования производства водорода с термическим возбуждением; 2.Устройство для насыщения водородом; 3.катушка Гельмгольца</i></p> <p><i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне: Сначала образец насыщается устройством для насыщения водородом, а затем используется устройство для исследования образования водорода с термическим возбуждением для регистрации зависимости между водородом, полученным при нагревании образца, и температурой. Условия эксперимента изменяются путем установки катушки Гельмгольца для создания магнитного поля.</i></p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p><b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке проектного решения/при эксплуатации</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, 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. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений СанПиН 2.2.4-548-96;</li> <li>2. Нормы естественного и искусственного освещения предприятий, СНиП 23-05-95;</li> <li>3. Допустимые уровни шумов в производственных помещениях.ГОСТ 12.1.003-83. ССБТ;</li> </ol>
<p><b>2. Производственная безопасность при разработке проектного решения/при эксплуатации:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Отклонение показателей микроклимата на рабочем месте;</li> <li>2. Пожар взрывоопасность;</li> <li>3. Электромагнитные излучения;</li> <li>4. Шум</li> </ol>
<p><b>3. Экологическая безопасность при разработке проектного решения/при эксплуатации</b></p>	<p>Воздействие на селитебную зону: Работая в лаборатории, мы не загрязняем окружающую среду обитания;          Воздействие на литосферу: Образец не загрязняет окружающую среду;          Воздействие на гидросферу: Загрязнение от сбрасываемых отходов разбавленной серной кислотой;</p>

	<p>Воздействие на атмосферу: Образование газообразных сульфидов, содержащих низкие концентрации, при насыщении водородом.</p> <p>Кроме того, применение компьютеров и экспериментального оборудования напрямую связано с использованием электроэнергии. Использование энергии привело к различным загрязнениям воздуха, воды, поверхности и подземелья.</p>
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при разработке проектного решения/при эксплуатации</b>	<p>Возможные ЧС - пожары, вызванные неэлектрическими и электрическими причинами.</p> <p>Наиболее типичная ЧС - Пожар, вызванный коротким замыканием электронных компонентов</p>
<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор	Сечин А.И.	д.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
150Б95	Ян Вэньсинь		

## **ГЛАВА 5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ**

### **Введение**

Для изучения влияния переменного и постоянного магнитных полей на десорбцию водорода из палладия используется различная лабораторная аппаратура. Металлические образцы палладия насыщались электролизом в аппарате для насыщения водородом. Эффект выделения водорода исследовался путем нагревания для десорбции образца. Внешняя катушка Гельмгольца генерирует магнитное поле, окружающее образец, а тип магнитного поля и магнитная индукция варьируются путем изменения типа источника питания (переменного и постоянного тока) и силы тока, подключенного к катушке Гельмгольца.

Работа основана на получении законов, определяющих влияние приложенного переменного магнитного поля и постоянного магнитного поля на десорбцию водорода из палладия. В этой связи изучение исследовательского аппарата для получения водорода с термическим возбуждением было очень важным при проведении данного исследования. Анализ и обработка результатов, построение графиков проводились с помощью персонального компьютера.

Актуальность: это необходимость исследовать их социальную ответственность. А также экологическая безопасность, типичные чрезвычайные ситуации и меры, принимаемые при их возникновении.

### **5.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

#### **5.1.1 Особые правовые положения в трудовом законодательстве**

Нормы трудового права представляют собой правила отношений в сфере занятости, которые установлены или санкционированы государством в законодательном порядке.

Нормы трудового права определяют всякие взаимоотношения, которые

связаны с применением рабочей силы человека.

Эти нормы реализуются в различных формах:

- сами трудовые отношения;
- организация и регулирование труда;
- наем работников;
- социально-партнерские, коллективно-совместные отношения;
- стимулирование труда для безработных;
- организационная работа по профессиональному обучению и повышению квалификации;
- гарантирование мероприятий по защите трудовых прав граждан;
- контроль и надзор за соблюдением законодательства;
- социально-правовая защита работника и разрешение трудящихся споров;
- ответственность за деятельность профсоюзов;
- взаимосвязь материальной ответственности работников и работодателей.
- обеспечение защиты прав и интересов работодателей.

Выполнение требований охраны труда и обязательную аттестацию рабочих мест определяет глава 34 Трудового кодекса Российской Федерации.

### **5.1.2 Организация пространственной планировки работы исследователей**

Для использования тепловой стимуляции для проведения исследования выделения водорода необходимо соблюдение следующих условий: возраст 18 лет и старше, отсутствие медицинских противопоказаний, обучение технике безопасности и инструктаж на рабочем месте.

После специального обучения и тестирования оператор допускается к самостоятельной работе. Оператор понимает принципы работы устройства и правила безопасности при работе с вакуумными устройствами, приобретает навыки работы с устройством для выделения газов с тепловой стимуляцией, знакомится с безопасными методами решения проблем в случае их

возникновения и получает разрешение на самостоятельное использование вакуумного устройства.

Минимум раз в год проводится повторная проверка знаний правил электробезопасности и безопасной эксплуатации вакуумного оборудования, а также не реже одного раза в три месяца.

Все виды инструктажа должны быть занесены в стандартизированный инструкционный лист, который должен быть подписан лицом, получающим инструктаж, и лицом, ответственным за проведение инструктажа, в котором указывается дата проведения инструктажа, название и номер инструкции по виду работ, в отношении которых проводится инструктаж.

К законодательным и нормативным документам по данному вопросу относятся:

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

Документы о влиянии персональных компьютеров:

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

Документы, связанные с микроклиматом:

1. ГОСТ 12.1.005 Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны;

2. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.

Документы, связанные с шумом:

1. СП 52.13330.2011 Естественное и искусственное освещение.
2. СНиП П-12-77. Защита от шума.

## 5.2. Производственная безопасность

### 5.2.1 Оценка потенциальных вредных и опасных факторов для объектов исследований

В соответствии с ГОСТ 12.0.003-74, опасности и вредности могут быть классифицированы как физические, химические, психофизиологические и биологические в соответствии с их воздействием на организм.

Исследовательская установка включает высоковакуумную камеру и вакуумный насос, нагревательную и облучательную установки, масс-спектрометр и систему регистрации параметров процессов разделения растворенных и поглощенных атомных и молекулярных соединений. Высоковакуумная система состоит из трех ступеней откачки для достижения высокого вакуума: форвакуумный насос (ISP-250 C), TMN (Shimadzu EI-S04M) и гибридный TMN (ATH 300).

В таблице 5.1 указаны опасные и вредные факторы, присутствующие в данной работе.

Таблица 5.1

Список опасных и вредных объектов

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	

Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	ГОСТ 12.1.003-2014 ССБГ. Шум. Общие требования безопасности [78], СанПин 2.2.4.548-96.
Превышение уровня шума	+	+		Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений [79],
Отсутствие или недостаток	+	+	+	СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95* [80],
Недостаточная освещенность рабочей зоны		+	+	ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление [81].
Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	+	+	+	

Эти факторы могут иметь последствия для здоровья, а также могут привести к аварийным и опасным ситуациям, поэтому их необходимо контролировать в соответствии с критериями и требованиями, перечисленными в таблице.

## 5.2.2 Анализ возможных опасностей в лаборатории

### 5.2.2.1 Отклонения от показателей микроклимата в рабочих помещениях

Микроклимат на производственном участке включает в себя температуру, влажность и скорость движения воздуха. Отклонения от стандартов могут оказывать неблагоприятное воздействие на людей, часто приводя к ухудшению здоровья сотрудников, снижению производительности труда и различным заболеваниям.

При неблагоприятных условиях может возникнуть перегрузка терморегуляционных механизмов, приводящая к перегреву или переохлаждению организма:

Высокая температура может вызвать быструю утомляемость работников и привести к тепловому удару.

В то время как низкие температуры могут привести к местному или общему охлаждению организма и стать причиной простуды или обморожения.

Низкая влажность может привести к сухости слизистых оболочек дыхательных путей работника и вызвать дискомфорт.

### 5.2.2.2 Электромагнитное излучение

Исследования проводятся с использованием персональных компьютеров. Основным вредным фактором для инженеров-исследователей является электромагнитное излучение, которое воздействует на костную ткань, ухудшает зрение, повышает утомляемость, а также может привести к ухудшению памяти и развитию рака.

Таблица 5.2

Допустимые уровни электромагнитных полей, генерируемых персональными компьютерами на рабочих местах

Наименование параметров	ВДУ ЭМП
-------------------------	---------

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 электрического поля		5 В/см

Безопасность уровней радиации определена СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 и приведена в таблице 5.2.

### 5.2.2.3 Шум

Продолжительное воздействие шума может приводить к повреждению слуха, а в некоторых случаях к развитию глухоты. Загрязнение шумом на рабочем месте оказывает неблагоприятное воздействие на работников: снижение концентрации внимания, увеличение затрат энергии на ту же физическую работу, замедление времени психической реакции и т.д. Результатом является уменьшение производительности и ухудшение качества работы.

Различные виды шума нормируются по-разному. В случае непрерывного шума уровень звукового давления указывается в виде октавных полос со средней частотой 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 и 8000 Гц. В случае прерывистого шума также указываются эквивалентные уровни звука. Для офисных рабочих мест и для жилых и общественных зданий и их территорий допустимые уровни звукового давления отличаются.

К методам и средствам коллективной защиты, которые в зависимости от способа реализации можно разделить на архитектурно-акустические,

архитектурно-планировочные и организационно-технические, относятся:

1. определение направленности шумовых излучений;
2. рациональная планировка территорий предприятий и производств;
3. акустическое оформление помещений;
4. использование звукоизоляции.

Средства индивидуальной защиты (СИЗ) обычно наиболее эффективны в высокочастотном диапазоне. К СИЗ относятся беруши, наушники, каски и шлемы, а также специальные костюмы.

#### **5.2.2.4 Взрывоопасность при пожаре**

Используемые помещения относятся к категории пожарной опасности В4 по НПБ 105-03, а именно содержат горючие и негорючие жидкости, вещества и материалы (в том числе пыль и волокна), однако величина удельной пожарной нагрузки на площади составляет в пределах 1-180 МДж · м<sup>-2</sup>. Для каждой взрывопожароопасной зоны (цех, установка и т.д.) в лаборатории разработано описание мер пожарной безопасности в соответствии с Федеральным законом № 123 - ФЗ от 22 июля 2013 года.

Пожарное оборудование для пожарных кранов, огнетушители и другие защитные установки в соответствии с ГОСТ 12.1.004-91, пересмотренный 21.10.1993.

Порошковыми огнетушителями пользуются как основным средством тушения пожаров класса А (твердые), класса В (жидкие) и класса С (газовые) и электрооборудования до 1000 вольт; они не подходят для щелочных и щелочноземельных металлов и других материалов, которые будут гореть при отсутствии доступа воздуха.

### **5.2.3 Обоснование мер защиты исследователей от опасностей и вредных факторов**

Чтобы обеспечить безопасность, до начала работы важно одеть правильную защитную одежду, привести в готовность инструменты и оборудование, необходимые для работы, и подготовку рабочей поверхности. Электрооборудование также должно быть проверено на наличие внешних повреждений, наличие и пригодность контрольных, измерительных и сигнальных приборов, компьютеров, тумблеров и т.д. Если обнаружены какие-либо неисправности, необходимо сообщить об этом ответственному за лабораторию. Не приступайте к работе, если какие-либо из используемых приборов неисправны, если истек период периодической аттестации баллонов, истек срок годности манометров и если персонал не прошел надлежащее обучение и проверку знаний по охране труда. Производство работ с оборудованием должно осуществляться в чистом помещении, не содержащем пыли, паров, кислот и щелочей, агрессивных газов и других вредных примесей, которые вызывают коррозию. Вблизи оборудования не должно быть открытого огня. После завершения работ на приборе следует::

1. удостовериться, что все вентили на контроллере закрыты;
2. завершить работу программы и отсоединить компьютер от источника питания;
3. отсоединить систему и насос от источника питания.

## **5.3. Экологическая безопасность**

### **5.3.1 Анализ воздействия на экологическую обстановку на исследуемой территории**

В разработанном макете лабораторной работы предусмотрено использование компьютеров. Применение этого оборудования напрямую связано с использованием электроэнергии. Энергетика оказывает большое влияние на окружающую среду, будучи источником различных загрязнений воздуха, воды,

земной поверхности и ее недр, и основным потребителем топливных ресурсов, которые определяют степень ее производства.

### **5.3.2 Анализ воздействия на экологическую обстановку в процессе исследования**

Компьютеры и устройства соответствуют самым высоким требованиям эксплуатационной безопасности. Они соответствуют следующим международным стандартам безопасности для электрооборудования, используемого для измерений, контроля и лабораторных испытаний:

IEC 61010-1, EN 61010-1;

UL 61010-1, CSA 61010-1.

Основным воздействием на экологическую обстановку является образование и поступление твердых отходов в форме отработанных ПК, их компонентов и содержащихся в них опасных веществ.

### **5.3.3 Обоснованность мер по охране природы**

В этой статье скрап - это металлический порошок, образующийся во время очистки печных камер и остальных элементов установки. Эти порошки в основном включают в себя сталь, палладий и окси-нитриды. Для того чтобы переработать эти отходы, их необходимо сначала разделить, для чего могут использоваться магниты. После того чтобы разделить отходы на 2 подгруппы: сталь и оксинитриды, их следует передать на специальный участок переработки.

## **5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

### **5.4.1 Анализ возможных непредвиденных ситуаций, инициированных субъектом**

Самая возможная чрезвычайная ситуация при работе с развитыми комплексами — это пожар, поскольку современные компьютеры имеют высокую

плотность электронных схемных компонентов, а соединения и кабели расположены так близко друг к другу, что при протекании по ним тока выделяется большое количество тепла и изоляция может расплавиться и вызвать пожар. зона ПК относится к классу пожарной опасности "В". Необходимо соблюдать правила и нормы пожарной безопасности (НПБ 105-03) и выполнять требования по защите и тушению пожара согласно ГОСТ 12.1.004-91 и СНиП 21-01-97.

Помещения, в которых установлены ПК, принадлежат к категории II - помещения повышенной опасности, поскольку возможно прикосновение людей, не изолированных от пола, к уже находящемуся под напряжением корпусу ПК. максимально допустимые уровни напряжения и тока прикосновения приведены в ГОСТ 12.1.038-82.

#### **5.4.2 Анализ возможных причин несчастных случаев на производстве в ходе реализации объекта исследования**

Пожары в помещениях могут быть вызваны неэлектрическими и электрическими причинами.

К неэлектрическим причинам относятся:

- неисправность и перерывы в процессе эксплуатации оборудования;
- небрежность, неосторожное обращение с огнем ( копчение, без присмотра нагревательное оборудование);
- неисправность оборудования или систем вентиляции;
- самопроизвольное возгорание или самовозгорание веществ.

К электрическим причинам относятся:

- короткие замыкания;
- избыточная нагрузка на провода;
- высокое переходное сопротивление;
- искры;

-статический электрический ток.

Маловероятно, что возникнут другие виды чрезвычайных ситуаций.

#### **5.4.3 Основание для принятия мер предосторожности в чрезвычайных ситуациях и разработка аварийных процедур**

Противопожарная безопасность учреждения на объекте должна гарантироваться системой пожарной профилактики и защиты от пожара, включающей организационные и технические меры. Пожарная безопасность должна обеспечиваться за счет применения средств пожаротушения и использования автоматической пожарной сигнализации.

Необходимо принимать следующие меры противопожарной защиты:

- обеспечения эффективной эвакуации воздуха от дыма, поскольку в комнатах с офисным оборудованием находится значительное количество пластмассовых веществ, которые при горении выделяют легколетучие токсичные вещества и резкий запах дыма;
- обеспечение наличия хороших путей эвакуации;
- огнетушители и пожарная сигнализация;
- соблюдение требований пожарной безопасности для систем обогрева и вентиляции.

При пожаре в производственных помещениях следует использовать углекислотные огнетушители (ОУ-5 или ОУ-10) и порошковые огнетушители (например, типа ОП-10). Эти огнетушители быстродействующие, работают длительное время, способны тушить электроустановки и обладают высокой эффективностью при тушении пожаров.

В случае чрезвычайных и непредвиденных ситуаций необходимо предпринимать следующие действия:

- Любой сотрудник, которому стало известно о нарушении настоящих инструкций и правил охраны труда или о неисправности оборудования,

представляющей опасность для людей, должен сообщить об этом своему непосредственному руководителю.

- В случае неисправности оборудования, представляющей опасность для людей или самого оборудования, работник, обнаруживший неисправность, должен принять меры к остановке оборудования, а затем сообщить об этом своему руководителю. Неисправность должна быть устранена в порядке, соответствующем требованиям безопасности.

### **Вывод**

В результате анализа безопасности и здоровья работников, занятых на исследовательской установке по изучению выброса газа термического раздражителя, были определены вредные и опасные факторы в рабочей зоне, предписаны защитные меры и средства, проанализированы и оценены возникающие аварийные ситуации и их поведение, а также предложен порядок работы на установке. В целях обеспечения безопасности жизни необходимо, чтобы работа проводилась в соответствии с правилами.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе выполнения ВКР для достижения цели в работе были определены и решены следующие задачи:

1. Проведение литературного обзора по теме ВКР.

2. Освоить экспериментальное оборудование и методику электролитического наводороживания металлов. Ознакомиться с методикой выделения водорода из металлов.

3. Провести исследования по влиянию переменного и постоянного магнитного поля на десорбцию водорода из палладия.

По результатам проведенного исследования делаются следующие выводы:

– Температура, соответствующая максимальному значению десорбированного водорода под воздействием переменного магнитного поля, на 5-9°C отличается от температуры, соответствующей максимальному значению десорбированного водорода без воздействия магнитного поля.

– Температура, соответствующая максимальному значению десорбированного водорода под воздействием постоянного магнитного поля, на 16-36°C отличается от температуры, соответствующей максимальному значению десорбированного водорода без воздействия магнитного поля.

– В процессе десорбции водорода из палладия при воздействии переменного магнитного поля наблюдается сдвиг температуры, соответствующей максимальному значению десорбированного водорода в область более низких температур.

– В процессе десорбции водорода из палладия при воздействии постоянного магнитного поля наблюдается сдвиг температуры, соответствующей максимальному значению десорбированного водорода в область более высоких температур.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. R. Mohtadi, S.I. Orimo. The renaissance of hydrides as energy materials. *Nat. Rev. Mater.*, 2 (2016), pp. 1-16.
2. S. Chu, Y. Cui, N. Liu. The path towards sustainable energy. *Nat. Mater.*, 16 (2016), pp. 16-22.
3. S.E. Hosseini, M.A. Wahid. Hydrogen production from renewable and sustainable energy resources: promising green energy carrier for clean development. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 57 (2016), pp. 850-866.
4. A. Mirzaei, H.R. Yousefi, F. Falsafi, M. Bonyani, J.H. Lee, J.H. Kim, H.W. Kim, S.S. Kim. An overview on how Pd on resistive-based nanomaterial gas sensors can enhance response toward hydrogen gas. *Int J Hydrogen Energy*, 44 (2019), pp. 20552-20571.
5. H.J. Noh, H.J. Kim, Y.M. Park, J.S. Park, H.N. Lee. Complex behavior of hydrogen sensor using nanoporous palladium film prepared by evaporation. *Appl Surf Sci*, 480 (2019), pp. 52-56.
6. M.L. Bosko, A. Dalla Fontana, A. Tarditi, L. Cornaglia. Advances in hydrogen selective membranes based on palladium ternary alloys. *Int J Hydrogen Energy*, 46 (2021), pp. 15572-15594.
7. Y. H. Zhang, J. L. Gao, S. Xu, Z. M. Yuan, T. Yang, D. L. Zhao. Application and development of hydrogen storage materials. *Metallic Functional Materials*, (2014), Vol. 21, p. 3.
8. S. Anbarsu, P. Muthukumar, C.M. Subhash. Thermal modeling of  $\text{LaNi}_{44.91}\text{Sn}_{0.15}$  based solid state hydrogen storage device with embedded cooling tubes. *Int J Hydrogen Energy*, 39 (2014), pp. 15549-15562.
9. H. Barthelemy, M. Weber, F. Barbier. Hydrogen storage: recent improvements and industrial perspectives. *Int J Hydrogen Energy*, 42 (2017), pp. 7254-7262.
10. R. Prabhukhot Prachi, M. Wagh Mahesh. A review on solid state hydrogen storage material. *Adv Energy Power*, 4 (2016), pp. 11-22.

11. N.A.A. Rusman, M. Dahari. A review on the current progress of metal hydrides material for solid-state hydrogen storage applications. *Int J Hydrogen Energy*, 41 (2016), pp. 12108-12126.
12. Das P., Lee Y.S., Lee S.C., Bhattacharjee S. (2022). A new palladium alloy with near-ideal hydrogen storage performance. *arXiv preprint arXiv:2207.05330*.
13. Z. Jovanović, M. De Francesco, S. Tosti, A. Pozio. Structural modification of PdAg alloy induced by electrolytic hydrogen absorption. *Int J Hydrogen Energy*, 36 (2011), pp. 7728-7736.
14. A.A.B. Padama, H. Kasai, Y.W. Budhi. Hydrogen absorption and hydrogen-induced reverse segregation in palladium-silver surface. *Int J Hydrogen Energy*, 38 (2013), pp. 14715-14724.
15. A.K.M. Fazle Kibria, Y. Sakamoto. Effect of alloying of palladium with silver and rhodium on the hydrogen solubility, miscibility gap and hysteresis. *Int J Hydrogen Energy*, 25 (2000), pp. 853-859.
16. K. Zhang, S.K. Gade, Ø. Hatlevik, J.D. Way. A sorption rate hypothesis for the increase in H<sub>2</sub> permeability of palladium-silver (Pd-Ag) membranes caused by air oxidation. *Int J Hydrogen Energy*, 37 (2012), pp. 583-593.
17. S. Belkhiria, C. Briki, M.H. Dhaou, A. Jemni. Experimental study of a metal hydrogen reactor's behavior under the action of an external magnetostatic field during absorption and desorption. *Int J Hydrogen Energy*, 45 (7) (2020), pp. 4673-4684.
18. Y.F. Liu, S.S. Zhang, R. Li, M.X. Gao, K. Zhong, H. Miao, H.G. Pan. Electrochemical performances of the Pd-added Ti-V-based hydrogen storage alloys. *Int. J. Hydrogen Energy*, 33 (2008), pp. 728-734.
19. T. Graham. On the Absorption and Dialytic Separation of Gases by Colloid Septa. *Proc. R. Soc. London* iii (1866).

20. B. Ingham, et al. Particle size effect of hydrogen-induced lattice expansion of palladium nanoclusters. *Phys. Rev. B - Condens. Matter Mater. Phys.*, 78 (2008), pp. 1-5.
21. M. Yamauchi, R. Ikeda, H. Kitagawa, M. Takata. Nanosize effects on hydrogen storage in palladium. *J. Phys. Chem. C*, 112 (2008), pp. 3294-3299
22. T.C. Narayan, et al. Direct visualization of hydrogen absorption dynamics in individual palladium nanoparticles. *Nat. Commun.*, 8 (2017), pp. 1-8.
23. A. Barnoush, H. Vehoff. Recent developments in the study of hydrogen embrittlement: hydrogen effect on dislocation nucleation. *Acta Mater.*, 58 (2010), pp. 5274-5285.
24. M. Wang, Y. Feng. Palladium-silver thin film for hydrogen sensing. *Sens Actuat B Chem*, 123 (2007), pp. 101-106.
25. R. Panta, C. Nanthamathee, V. Ruangpornvisuti. Adsorption of hydrogen and hydrogen-containing gases on Pd- and Ag-single atoms doped on anatase TiO<sub>2</sub> (1 0 1) surfaces and their sensing performance. *Appl Surf Sci*, 450 (2018), pp. 112-121.
26. L.J. Bannenberg, B. Boshuizen, F.A. Ardy Nugroho, H. Schreuders. Hydrogenation kinetics of metal hydride catalytic layers. *ACS Appl Mater Interfaces*, 13 (2021), pp. 52530-52541.
27. H. Deepti, A. Kumar, A.B. Tripathi, M. Dey, R. Gupta, D.K. Krishna. Avasthi, Improved hydrogen sensing behaviour in ion-irradiated Pd-Au alloy thin films. *Sens Actuat B Chem*, 301 (2019), p. 127006.
28. J.A. Zamora Zeledón, M.B. Stevens, G.T.K.K. Gunasooriya, A. Gallo, A.T. Landers, M.E. Kreider, C. Hahn, J.K. Nørskov, T.F. Jaramillo. Tuning the electronic structure of Ag-Pd alloys to enhance performance for alkaline oxygen reduction. *Nat Commun*, 12 (2021), pp. 1-9.
29. B. Sharma, S. Harini. A possibility of Pd based high entropy alloy for hydrogen gas sensing applications. *Mater Res Express*, 6 (2019).

30. Y.O.N. Nishijima, T.A.K. Urotsu, N.A.Y. Amasaku, H.A.T. Akahashii, K.E.K. Urihara, T.A.B. Eni. Improvement and stabilization of optical hydrogen sensing ability of Au-Pd alloys. *28* (2020), pp. 25383-25391.
31. M. Łukaszewski, A. Żurowski, A. Czerwiński. *J. Power Sources*, **185** (2008), p. 1598.
32. M. Łukaszewski, K. Klimeka, A. Żurowski, T. Kędra, A. Czerwińska. Kinetics and mechanism of hydrogen electrosorption in palladium-based alloys. *Solid State Ionics*, Vol.190, Iss.1, (2011), pp.18-24.
33. R. Delmelle, B. Amin-Ahmadi, M. Sinnaeve, H. Idrissi, T. Pardoën, D. Schryvers, et al.. Effect of structural defects on the hydriding kinetics of nanocrystalline Pd thin films. *Int J Hydrogen Energy*, **40** (2015), pp. 7335-7347.
34. K. Hubkowska, M. Łukaszewski, A. Czerwiński. Thermodynamics of hydride formation and decomposition in electrodeposited Pd-rich Pd–Ru alloys. *Electrochem Commun*, **48** (2014), pp. 40-43.
35. U. Koss, M. Łukaszewski, K. Hubkowska, A. Czerwiński. Thermodynamic aspects of hydrogen electrosorption into Pd–Rh alloys. *J Electroanal Chem*, **756** (2015), pp. 124-130.
36. K. Hubkowska, M. Łukaszewski, A. Czerwiński. Properties of Pd–Ru–Rh electrodeposits studied by electrochemical, structural and spectroscopic methods. *J Electroanal Chem*, **757** (2015), pp. 80-87.
37. B. Łosiewicz, A. Lasia. Study of the hydrogen absorption/diffusion in Pd<sub>80</sub>Rh<sub>20</sub> alloy in acidic solution. *J Electroanal Chem*, **822** (2018), pp. 153-162.
38. A. Żurowski, M. Łukaszewski, A. Czerwiński. Electrosorption of hydrogen into palladium-rhodium alloys: Part 2. Pd-rich electrodes of various thickness. *Electrochim Acta*, **53** (2008), pp. 7812-7816.
39. M. Ramanathan, G. Skudlarek, H.H. Wang, S.B. Darling. Crossover behavior in the hydrogen sensing mechanism for palladium ultrathin films. *Nanotechnology*, **21** (2010), p. 125501.

- 40.D. Matsumura, Y. Okajima, Y. Nishihata, J. Mizuki. Fast and real-time observation of hydrogen absorption kinetics for palladium nanoparticles. *Journal of Alloys and Compounds*, 509 (2011), pp. S849-S852.
- 41.E. Kowalska, E. Czerwosz, M. Kozłowski, W. Surga, J. Radomska, H. Wronka. Structural, thermal and electrical properties of carbonaceous films containing palladium nanocrystals. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 101 (2010), pp. 737-742.
- 42.W. Sheng, H.A. Gasteiger, Y. Shao-Horn. *J. Electrochem. Soc.*, 157 (2010), pp. 1529-1536.
- 43.J. Wang, J. Liu, B. Zhang, et al. *J. Mater. Chem. A*, 9 (2021), pp. 22934-22942.
- 44.N. Danilovic, R. Subbaraman, D. Strmcnik, et al. *Angew. Chem.*, 51 (2012), pp. 12495-12498.
- 45.J. Ohyama, D. Kumada, A. Satsuma. *J. Mater. Chem. A*, 4 (2016), pp. 15980-15985.
- 46.M. Łukaszewski, A. Czerwiński. *J. Electroanal. Chem.*, 589 (2006), p. 87.
- 47.M. Łukaszewski, A. Czerwiński. *Pol. J. Chem.*, 81 (2007), p. 847.
- 48.S. St. John, R.W. Atkinson, R.R. Unocic, et al. *J. Phys. Chem. C*, 119 (2015), pp. 13481-13487.
- 49.J. Zheng, S. Zhou, S. Gu, et al. *J. Electrochem. Soc.*, 163 (2016), pp. 499-506.
- 50.H. Song, M. Wu, Z. Tang, et al. *Angew. Chem.*, 60 (2021), pp. 7234-7244.
- 51.H. Duncan, A. Lasia. *Electrochim. Acta*, 52 (2007), p. 6195.
- 52.M.H. Martin, A. Lasia. *Electrochim. Acta*, 54 (2009), p. 5292.
- 53.K. Kusada, H. Kobayashi, R. Ikeda, et al. *J. Am. Chem. Soc.*, 136 (2014), pp. 1864-1871.
- 54.L. Zeng, H. Peng, W. Liu, et al. *J. Power Sources*, 461 (2020), pp. 228147-228154.
- 55.J. Zheng, J. Nash, B. Xu, et al. *J. Electrochem. Soc.*, 165 (2018), pp. 27-29.
- 56.Y. Liu, Q. Feng, W. Liu, et al. *Nano Energy*, 81 (2021), Article 105641.
- 57.D. Li, L. Liao, H. Zhou, et al. *Mater. Today Phys.*, 16 (2021), Article 100314.
- 58.B.G. Skorodumov, V.N. Serebryakov, V.G. Ulanov, E.V. Zhukovska, O.A. Zhukovsky. *Int. J. Hydrogen Energy*, 21 (1996), p. 961.

- 59.J.-W. Lee, S.-I. Pyun. *Electrochim. Acta*, 50 (2005), p. 1777.
- 60.A. Czerwiński, M. Grdeń, M. Łukaszewski. *J. Solid State Electrochem.*, 8 (2004), p. 411.
- 61.M. Łukaszewski, M. Grdeń, A. Czerwiński. *J. New Mat. Elect. Syst.*, 9 (2006), p. 409.
- 62.W.E. Wallace. Bonding of metal hydrides in relation to the characteristics of hydrogen storage materials. *J Less Common Met*, 88 (1) (1982), pp. 141-157.
- 63.G. Adachi, K. Niki, H. Nagai, J. Shiokawa. The effect of hydrogen absorption on the electrical resistivities of  $\text{LaNi}_5$  and  $\text{MmNi}_{4.5}\text{Mn}_{0.5}$  films (Mm misch metal). *J Less Common Met*, 88 (1) (1982), pp. 213-216.
- 64.S.K. Singh, K. Ramakrishna, A.K. Singh, O.N. Srivastava. The hydrogenation behaviour of  $\text{RNi}_5$  type materials in thin film and bulk form. *Int J Hydrogen Energy*, 14 (8) (1989), pp. 573-577.
- 65.Ivan Romanov, Vasily Borzenko, Alexey Eronin, Alexey Kazakov. Influence of electrostatic field on the interaction of  $\text{AB}_5$ -type alloy  $\text{LaNi}_{4.4}\text{Al}_{0.3}\text{Fe}_{0.3}$  with hydrogen. *Int J Hydrogen Energy*, 46 (25) (2021), pp. 13632-13637.
- 66.Jakub Adam Koza, Margitta Uhlemann, Annett Gebert, Ludwig Schultz. Desorption of hydrogen from the electrode surface under influence of an external magnetic field. *Electrochemistry Communications*, 10 (9) (2008), pp. 1330-1333.
- 67.L. Schlapbach. Magnetic properties of  $\text{LaNi}_5$  and their variation with hydrogen absorption and desorption. *J Phys F Met Phys*, 10 (1980), pp. 2477-2490.
- 68.A. Goudy, D. Stockes, J. Gazzillo. The effect of heat transfer on the desorption kinetics of  $\text{LaNi}_5\text{H}_6$ . *J Less common*, 91 (1983), pp. 49-158.
- 69.H. Dhaou, A. Souahlia, S. Mellouli, F. Askri, A. Jemni, S. Ben Nasrallah. Experimental study of a metal hydride vessel based on a finned spiral heat exchange. *Int J Hydrogen Energy*, 35 (2010), pp. 1674-1680.
- 70.A. Souahlia, H. Dhaou, S. Mellouli, F. Askri, A. Jemni, S. Ben Nasrallah. Experimental study of metal hydride-based hydrogen storage tank at constant supply pressure. *Int J Hydrogen Energy*, 39 (2014), pp. 7365-737.

71. H. Dhaou, S. Belkhiria, N. Sdiri, M. Abdulrahman, S. Al-Thoyaib, A. Jemni, S. Ben Nasrallah. Thermodynamic and electric study of the  $\text{LaNi}_3, 6\text{Al}_{10}, 4\text{Co}_{0,7}\text{Mn}_{0,3}$  alloy. *Int J Hydrogen Energy*, 42 (2016), pp. 2209-2214.
72. Якименко Л.М., Модылевская И.Д., Ткачек З.А. Электролиз воды.// – М.: Химия, 2012.
73. Хашхаш А.М. Исследование поведения водорода в нержавеющей стали при температурном и радиационном воздействии: автореф. дис. канд. техн. наук. – Томск, 2010. – 19 с.
74. Никитенков Н.Н., Хоружий В.Д., Хашхаш А.М., Чернов И.П., Тюрин Ю.И. Термостимулированная десорбция из образцов, насыщенных атомарным и молекулярным водородом // Труды XIX Междунар. конф. Взаимодействие ионов с поверхностью. ВИП-2009, Звенигород, 2009. М: 2009, Т.1. – С. 152–154.
75. Nikitenkov N.N., Hashhash A.M., Shoulepov I.A., Khoruzhii V.D., Tyurin Yu.I., Chernov I.P., Kudryavtseva E. N. A Plant for Study Radiation and Thermal Desorption of Gases from Inorganic Materials // *Instruments and Experimental Techniques*, 2009. – V. 52. – № 6. –P. 865-870.
76. Ramsden, Edward (2006). *Hall-effect sensors: theory and applications* (2nd ed.). Amsterdam: Elsevier/Newnes. p. 195. ISBN 978-0-75067934-3.
77. Field on Axis of Current Loop Архивная копия от 17 октября 2018 на Wayback Machine.
78. ГОСТ 12.1.003-2014 ССБГ. Шум. Общие требования безопасности.
79. СанПин 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
80. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95\*
81. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление.