

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

Институт Физико-технический
Направление подготовки Физика
Кафедра Общей физики

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Разработка метода формирования гидридного слоя на внешней поверхности оболочки ТВЭЛа УДК _____

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0Б21	Орлов Сергей Викторович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент	Кудияров В.Н.			

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Сечина А.А.	к-т хим. наук		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор	Федорчук Ю.М.	д-р тех. наук		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
общей физики	Лидер А.М.	к.ф.-м.н.		

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

Код результата	Результат обучения (компетенции выпускника)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Общекультурные (универсальные) компетенции</i>		
P1	Способен самостоятельно приобретать новые знания, использовать современные образовательные и информационные технологии, совершенствовать и развивать свой профессиональный уровень, поддерживать здоровый образ жизни	Требования ФГОС (ОК-1, ОК-2, ОК-7, ОК-8, ОК-11, ОК-19) [2], Критерий 5 АИОР (п. 1.1, 2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P2	Способен к поиску, обработке и интерпретации с использованием современных информационных технологий данных, необходимых для формирования суждений по соответствующим социальным, научным и этическим проблемам, как в коллективе, так и индивидуально (на родном и иностранном языке)	Требования ФГОС (ОК-3, ОК-4, ОК-8, ОК-14, ОК-15, ПК-10, ПК-12, ПК-13,), Критерий 5 АИОР (пп. 2.1, 2.2, 2.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P3	Способен критически переосмысливать свой накопленный социальный и профессиональный опыт, изменять при необходимости профиль своей профессиональной деятельности, следовать этическим и правовым нормам и нести ответственность за последствия своей инженерной деятельности	Требования ФГОС (ОК-5, ОК-6, ОК-7, ОК-9, ОК-10, ПК-5, ПК-18), Критерий 5 АИОР (пп. 2.4, 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P4	Способен к овладению и применению базовых знаний в области естественных наук и математики для решения профессиональных задач, к усвоению основных педагогических моделей, форм и приемов педагогического воздействия на личность;	Требования ФГОС (ОК-1, ОК-9, ОК-10, ОК-11, ПК-1, ПК-2, ПК-10), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P5	Способен применить в проектах по тематике, заданной заинтересованными организациями, экспериментальные методы исследования конденсированного состояния вещества, методы анализа поверхности твердых тел и тонких пленок	Требования ФГОС (ОК-12, ПК-3, ПК-4, ПК-6, ПК-14) , Критерий 5 АИОР (п. 1.1, 1.4, 2.2, 2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P6	Способен применить в проектах по тематике, заданной заинтересованными организациями, современную электронику в электрофизических и плазменных установках, а также учесть взаимодействие излучения и плазмы с веществом, современные достижения водородной энергетики и плазменных технологий	Требования ФГОС (ОК-10, ОК-11, ПК-1, ПК-2), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P7	Способен применить в проектах по тематике, заданной заинтересованными организациями, базовые естественнонаучные и математические знания при получении и исследовании наноматериалов	Требования ФГОС (ОК-12, ПК-3, ПК-4, ПК-6, ПК-14) , Критерий 5 АИОР (п. 1.1, 1.4, 2.2, 2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P8	Способен понимать сущность и значение	Требования ФГОС

	информации в развитии современного информационного общества, к применению на практике полученных знаний при обработке, анализе и синтезе полученных физических данных в соответствии с профилем профессиональной деятельности	(<i>ОК-12, ОК-16, ОК-21.ПК-1, ПК-2, , ПК-5, ПК-6, ПК-7</i>), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P9	Способен понимать и использовать на практике теоретические основы планирования и организации физических исследований, представлять результаты и применять на практике методы управления в сфере природопользования	Требования ФГОС (<i>ОК-12, ПК-3, ПК-4, ПК-6, ПК-7, ПК-8, ПК-9, ПК-14</i>) , Критерий 5 АИОР (п. 1.1, 1.4, 2.2, 2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P10	Способен формировать суждения о значении и последствиях своей профессиональной деятельности с учетом социальных, правовых, этических и природоохранных аспектов, при необходимости применить ресурсо- и энергосберегающие технологии	Требования ФГОС (<i>ОК-10, ОК-11, ПК-1, ПК-2, ПК-7, ПК-9</i>), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

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

Институт Физико-технический
Направление подготовки (специальность) Физика
Кафедра Общей физики

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой
Лидер А.М.
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
0Б21	Орлову Сергею Викторовичу

Тема работы:

Разработка метода формирования гидридного слоя на внешней поверхности оболочки ТВЭЛа

Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	– образцы циркониевого сплава Э-110;
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	– проведение литературного обзора; – проведение насыщения образцов из газовой фазы по методу Сивертса; – исследование для определения содержания фаз в слое образцов после насыщения водородом; – исследование твердости по толщине сплава циркония Э-110 после насыщения водородом; – анализ полученных результатов; – дополнительные разделы: «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение», «Социальная ответственность».

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Литературный обзор	Кудияров В.Н. ассистент каф. ОФ ФТИ ТПУ
Экспериментальная часть	Кудияров В.Н. ассистент каф. ОФ ФТИ ТПУ
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Сечина А.А. доцент каф. МЕН ИСГТ ТПУ
Социальная ответственность	Федорчук Ю.М. профессор каф. ЭБЖ ИНК ТПУ
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Глава 1 Литературный обзор	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	1.03.15
---	---------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент	Кудияров В.Н.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0Б21	Орлов Сергей Викторович		

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

Студенту:

Группа	ФИО
0Б21	Орлову Сергею Викторовичу

Институт	ФТИ	Кафедра	Общая физика
Уровень образования	бакалавр	Направление/специальность	011200

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

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

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

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

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

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

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Сечина Ася Александровна	Кандидат химических наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0Б21	Орлов Сергей Викторович		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
0Б21	Орлову Сергею Викторовичу

Институт	Физико-технический	Кафедра	Общая физика
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/ специальность	Физика

ЗАДАНИЕ

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	<p>1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</p> <ul style="list-style-type: none"> – вредных проявлений факторов производственной среды (производственный шум, микроклимат, освещенность) – опасных проявлений факторов производственной среды (электрической, пожарной природы)
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке	<p>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства) <p>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды в следующей последовательности</p> <ul style="list-style-type: none"> – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность – пожаробезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения) <p>3. Охрана окружающей среды:</p> <ul style="list-style-type: none"> – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); <p>4. Защита в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС на объекте; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;

	<ul style="list-style-type: none"> – разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий <p>5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) – правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны
--	--

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор кафедры ЭБЖ	Федорчук Юрий Митрофанович	доктор технических наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0Б21	Орлов Сергей Викторович		

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

Институт Физико-технический

Направление подготовки (специальность) Физика

Уровень образования бакалавриат

Кафедра Общей физики

Период выполнения _____ (осенний / весенний семестр 2015/2016 учебного года)

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

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

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:

Дата контроля	Название раздела (модуля)/ вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
15.05.2015 г.	Обзор литературы	20
20.05.2015 г.	Объект и методы исследования	25
23.05.2015 г.	Расчет и аналитика	25
15.05.2015 г.	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
12.05.2015 г.	Социальная ответственность	15

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент КОФ	Лаптев Р.С.			

СОГЛАСОВАНО:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Общей физики	Лидер А.М.	к.ф.-м.н.		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 94 с., 22 рис., 14 табл., 67 источников, 1 прил.

Ключевые слова: циркониевый сплав Э110, водород, тепловыделяющий элемент, водородное охрупчивание, градиент концентрации гидридов.

Объектом исследования являются образцы циркониевого сплава Э110 цилиндрической формы (полые) размерами $L = 20$ мм, $D = 9$ мм, $d = 1$ мм (L – длина, D – диаметр, d – толщина).

Цель работы – подготовка образцов сплава Zr с градиентом распределения гидридов по толщине.

Работа посвящена разработке метода наводороживания циркониевых оболочек тепловыделяющих элементов для формирования градиента концентрации водорода и гидридов по толщине.

В результате работы были получены образцы с плотным гидридным слоем вблизи его внешней поверхности и подобран метод и режим насыщения для формирования градиента концентрации гидридов на установке PCI «Gas Reaction Controller» методом Сивертса.

Область применения: результаты исследования могут быть использованы для подготовки модельных образцов циркониевых сплавов с различным распределением водорода и гидридов по толщине для проведения механических испытаний.

Содержание

Введение	13
Глава 1 Литературный обзор	15
1.1 Взаимодействие водорода с металлом	15
1.1.1 Фазовая диаграмма	17
1.2 Циркониевые сплавы в реакторостроении.....	18
1.2.1 Влияние основных легирующих элементов на поглощение водорода.....	20
1.2.2 Влияние основных легирующих элементов на коррозионную стойкость ..	22
1.3 Механизм окисления	24
1.4 Основные деградирующие явления с участием водорода	25
1.4.1 Разрушение гидрированных сплавов циркония	27
1.5 Методы насыщения	29
1.5.1 Электролитический метод	29
1.5.2 Метод насыщения в смеси газов	31
1.5.3 Метод перераспределения водорода	33
Глава 2 Материал и методы исследования	35
2.1 Материал.....	35
2.2 Насыщение из газовой атмосферы.....	36
2.3 Рентгеноструктурный анализ	40
2.4 Измерение твердости по методу Виккерса	41
Глава 3 Экспериментальная часть	43
3.1 Результаты исследований	43
Глава 4 Социальная ответственность	49
4.1 Вредные факторы проектируемой производственной среды	49
4.1.1 Производственный шум.....	49
4.1.2 Микроклимат.....	51
4.1.3 Расчет искусственной освещенности	53
4.2 Выявление опасных факторов проектируемой производственной среды.....	56
4.2.1 Электробезопасность.....	56

4.2.2 Пожаровзрывобезопасность	58
4.2.3 Сосуды, находящиеся под высоким давлением	59
4.3 Чрезвычайные ситуации	60
4.4 Охрана окружающей среды	65
4.5 Перечень нормативных документов	66
Глава 5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсоснабжение	68
5.1 Структура работ в рамках научного исследования.....	68
5.2 Планирование управления научно-техническим проектом	70
5.3 Бюджет научного исследования.....	73
5.4 Расчет материальных затрат исследования	73
5.5 Основная заработная плата.....	74
5.6 Дополнительная заработная плата.....	75
5.7 Отчисления на социальные нужды	76
5.8 Расчет затрат на научные и производственные командировки	76
5.9 Накладные расходы	76
Заключение	80
Список литературы.....	81
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	87

Введение

Цирконий, имеющий уникальные свойства, такие как прочность, высокая коррозионная стойкость и нейтронная прозрачность, стал незаменимым конструкционным материалом для активных зон (АЗ) легководных ядерных реакторов [1-4]. Тепловыделяющий элемент (ТВЭЛ) является главным конструкционным элементом АЗ реактора, содержащий ядерное топливо. В отечественном реакторостроении оболочки ТВЭЛов обычно изготавливаются из циркониевого сплава Э110 [4]. Одним из важных требований к изделиям из циркониевых сплавов активной зоны реакторов является низкое поглощение водорода, поскольку водородное охрупчивание может служить одной из причин разгерметизации циркониевой оболочки. В зависимости от уровня содержания водорода в виде твердого или в виде гидридов. Степень наводороживания циркониевых сплавов зависит от многих факторов, в частности от температуры эксплуатации и интенсивности коррозии [5]. Растворимость водорода в цирконии и его сплавах при температуре 300 К не превышает 0,09 ppm, а при температуре 660 К – до 200 ppm, остальная часть водорода выделяется в виде гидридной фазы. Наибольший охрупчивающий эффект на циркониевые сплавы оказывает гидридная фаза, так как гидриды обладают более низкой пластичностью, чем циркониевая матрица, и могут служить участками образования и развития трещин [6-9]. Степень влияния водорода будет определяться количеством и строением выделившихся гидридов, равномерностью их распределения и ориентацией относительно направления деформации. Зачастую гидрирование оболочки твэла происходит неравномерно, имеют место локальные мощные скопления гидридов. Так, при эксплуатации в BWR и PWR по толщине образуется градиент концентрации водорода и выделения гидридов с формированием плотного гидридного слоя толщиной 50-100 мкм у внешней поверхности [10]. Такой гидридный слой является потенциальным местом зарождения хрупкой гидридной трещины в оболочке твэла, что может приводить к попаданию ядерного топлива или, по меньшей мере, газообразных и легколетучих продуктов деления в теплоноситель.

Поэтому, учет влияния распределения водорода на свойства оболочки является важной задачей при техническом проектировании твэла, особенно в режимах нарушения нормальных условий эксплуатации топлива. Для этого необходимо проведение комплексных исследований влияния градиента концентрации водорода на прочностные характеристики оболочек твэлов. Таким образом, возникает необходимость подготовки образца сплава Zr, абсорбирующего водород, для анализа механических свойств с учетом распределения гидридов.

Глава 1 Литературный обзор

1.1 Взаимодействие водорода с металлом

Исследование систем металл-водород имеет ряд специфических особенностей, связанных с характером взаимодействия водорода с металлами. Водород в металлах может находиться в различных состояниях: в форме гидридов, в растворенном состоянии, захватываться дефектами, входить в состав гидроокиси или воды, поглощенной поверхностью [11-13]. Это разнообразие форм нахождения водорода в металлах связано с тем, что водород обладает высокой подвижностью в металлических телах и с тем, что реальные твердые тела никогда не имеют однородной структуры; обычно они обладают широким набором равновесных (вакансии, междоузлия) и неравновесных (границы зерен, дислокации и т. п.) дефектов.

Известно, что водород во всех металлах ионизируется и диффундирует в виде протонов. Поскольку размеры протонов намного меньше размеров атомов, диффузия протекает чрезвычайно быстро.

Водород, попадая в металлическое тело, ионизируется под влиянием потенциального поля металла. Ионизация в предельных случаях может заканчиваться образованием отрицательно заряженного иона H, в связи с чем образуется химическое соединение с ионным типом связи, или образованием положительного иона – протона, в этом случае ион входит в кристаллическую решетку металла, не нарушая ее. Во втором случае сохраняются металлические свойства металла и тип решетки [14].

1.1.1 Фазовая диаграмма

При реакциях водорода с металлами группы титана и ванадия не всегда удается получить соединения стехиометрического состава. При исследовании группы титана фазы, приближающиеся к стехиометрическому составу MH_2 , были получены в особых условиях: при минимальной температуре и высоком давлении водорода. Вследствие особого интереса к цирконию система цирконий-водород изучена наиболее тщательно. Чистый цирконий имеет две

аллотропические формы [15]. При температуре до 863 °С он имеет α -модификацию, а при температурах от 863 °С до 1860 °С (температура плавления) – β -модификацию. На рисунке 1 представлена фазовая диаграмма.

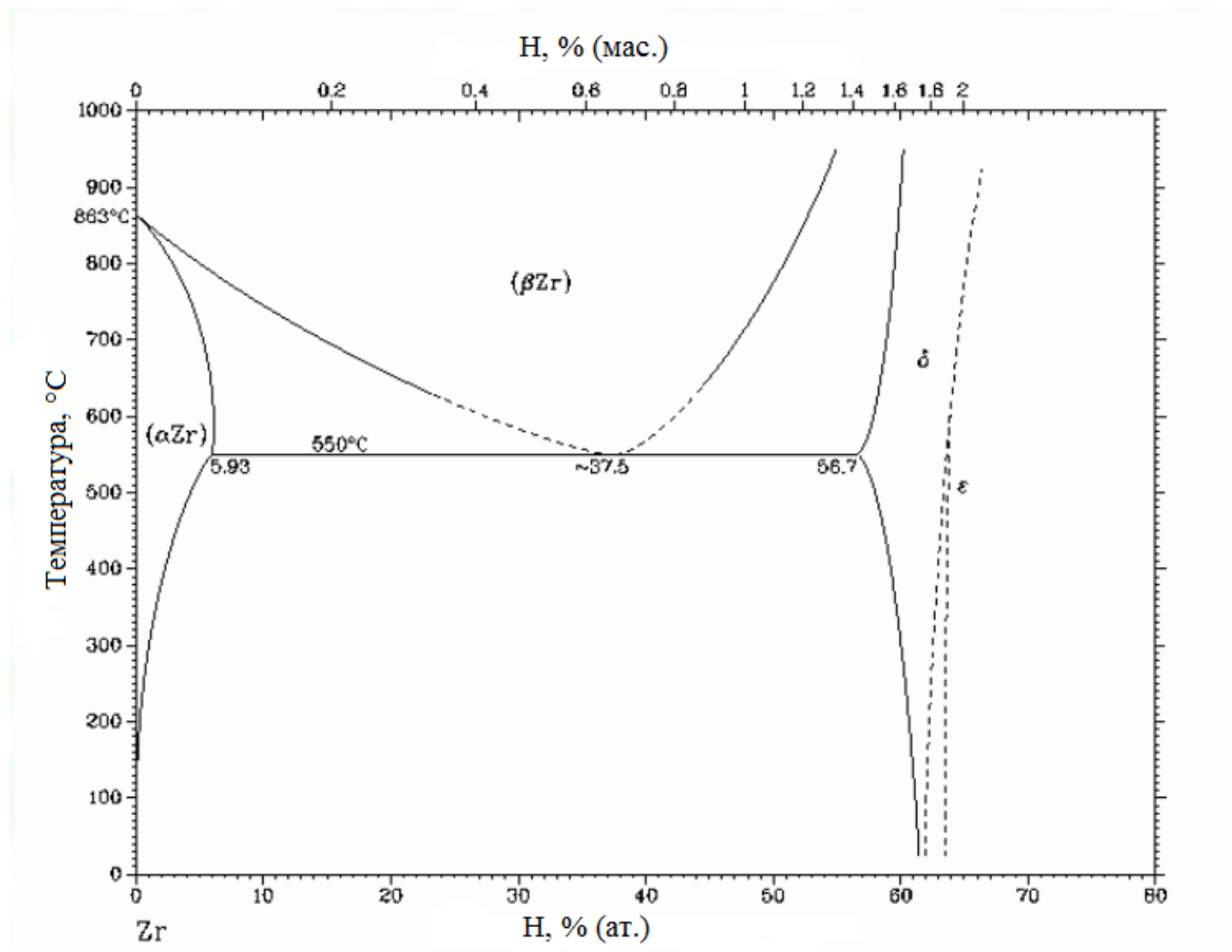


Рисунок 1 – Диаграмма состояния системы цирконий – водород [18]

По состоянию на сегодня принято считать равновесными четыре фазы [16-20]:

1. Твердый раствор водорода в гексагональном плотноупакованном α -Zr, фаза, у которой максимальная водородная растворимость $X = 0,06$ при 550 °С ($X = \text{H/Zr}$ - водород/цирконий атомное отношение);
2. Твердый раствор водорода на основе объемно центрированной кубической высокотемпературной фазы β -Zr. β -фаза находится в эвтектоидном равновесии с α -Zr(H) и δ -ZrH_{2-y} при 550 °С и водородной концентрации $X = 0,60$ или 37,5 ат.% H. В дополнение к этому при определенных условиях образуется

метастабильная γ -фаза с тетрагональной (ГЦТ, $c/a > 1$) решеткой, которая распадается на α -Zr + δ -ZrH_{2-y} с повышением температуры до 255 °С [16];

3. Нестехиометрический дигидрид δ -ZrH_{2-y} с гранецентрированной кубической (ГЦК) подрешеткой Zr, в которой ядра водорода занимают некоторые тетраэдрические пустоты;

4. Дигидрид ε -ZrH_{2-x} с тетрагональной (ГЦТ, $c/a < 1$), у которого область гомогенности простирается вплоть до стехиометрического состава ($X = 2$).

Кристаллографические данные о фазах системы Zr–H можно представить в виде таблицы:

Таблица 1. Кристаллографические данные о фазах системы Zr–H:

Фаза	Формула	Структура	Параметры решетки
α -Zr	Zr	ГПУ	$a = 0,323$ нм $c = 0,515$ нм
β -Zr	Zr	ОЦК	$0,361$ нм ($t = 862$ °С) $0,355$ нм ($t = 20$ °С)
δ	ZrH _{1,66}	ГЦК	$0,478$ нм
ε	ZrH ₂	ГЦТ	$a = 0,352$ нм $c = 0,445$ нм
Метастабильная фаза			
γ	ZrH	ГЦТ	$a = 0,352$ нм $c = 0,445$ нм

В зависимости от влияния на полиморфные превращения в Zr все легирующие элементы и примеси разделяются на α - и β - стабилизаторы. Водород относится к очень сильным β -стабилизаторам – с повышением содержания водорода температура превращения $\alpha \rightarrow \beta$ уменьшается от 863 °С для нелегированного Zr до 550 °С при концентрации водорода в Zr ~ 6 ат.% [18], [19].

Насыщение циркония водородом при температуре несколько ниже

температуры $\alpha \rightarrow \beta$ -превращения (например, при 800 °С) приводит к концентрационному превращению, заключающемуся в переходе от α - в двухфазную ($\alpha + \beta$)-область с последующим переходом в однофазную β -область при дальнейшем повышении содержания водорода [21].

В α -Zr термическая растворимость водорода очень низкая, она равна ~ 6 ат.% (~600 ppm) при температуре эвтектоидного превращения и быстро уменьшается с понижением температуры [22]. При комнатной температуре термическая растворимость водорода α -Zr не превышает 1 ppm [18].

В реакторостроении используется не чистый цирконий, а его сплавы (например, Zr-1%Nb). В связи с этим, необходимо рассмотреть влияние входящих в состав сплавов элементов на поглощение водорода.

1.2 Циркониевые сплавы в реакторостроении

Циркониевые сплавы широко используются в реакторостроении, в частности для изготовления ТВЭЛов, тепловыделяющих сборок, дистанцирующих решеток и других элементов активной зоны реактора. В мире существует огромное число всевозможных сплавов на основе циркония, используемых для этих целей. Цирконий получил широкое распространение в области атомной энергетики за счет своих уникальных свойств. К числу позитивных для атомной энергетики свойств циркония относят:

1. высокую прочность;
2. коррозионную стойкость;
3. нейтронную прозрачность.

Именно эти свойства циркония выдвинули его на лидирующее место в качестве материала для изготовления различных элементов активной зоны реактора.

Следует отметить, что в реакторостроении используются циркониевые сплавы, а не чистый цирконий. Исторически сложилось так, что для отечественного реакторостроения базой стала система цирконий-ниобий (сплавы Э110, Э125), а за рубежом стали использовать сплавы, основанные на

легировании циркония оловом – циркалои (Zry-2, Zry-4). Из сплава Э110 изготавливаются оболочечные трубы и прутки для заглушек твэлов реакторов ВВЭР и РБМК, а также изделия, образующие каркас ТВС. Сплав Э125 служит, главным образом, для производства труб для технологических каналов реакторов типа РБМК [23]. В настоящее время в России появляются и другие сплавы (типа Э635), основанные на комбинации зарубежных сплавов (система Zr-Sn) и отечественных (система Zr-Nb). Уже имеющиеся сплавы проигрывают новым по коррозионной и радиационной стойкости. Сплавы нового типа необходимы для дальнейшего развития энергетики. Данные о составах некоторых сплавов приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Составы циркониевых сплавов:

Сплав	Легирующий элемент, % (мас.)					
	Sn	Fe	Cr	Nb	Ni	O
Э110	–	–	–	0,9 – 1,1	–	–
Э125	–	–	–	2,3 – 2,5	–	–
Э625	1,0 – 1,5	0,3 – 0,5	–	0,9 – 1,1	–	–
Циркалой-2	1,2 – 1,7	0,07 – 0,2	0,05 – 0,15	–	0,05	0,13
Циркалой-4	1,2 – 1,7	0,18 – 0,24	0,07 – 0,13	–	–	0,13
M5®	–	0,04	–	1	–	0,14
ZIRLO™	1	0,1	–	1	–	0,12

Легирование циркония именно такими химическими элементами не случайно. Каждый выбранный элемент совершенно по-разному влияет на различные свойства циркония. Химический состав сплава также является основным фактором, влияющим на скорость коррозии. Например, такие новые сплавы, как ZIRLO™ и M5®, были разработаны специально для того, чтобы снизить скорость коррозии [24]. В книге [25] разобрано влияние огромного количества легирующих элементов на свойства циркониевых сплавов. В данной работе приводятся примеры влияния некоторых из них в следующих пунктах. Будут рассматриваться элементы, входящие, в основном, в состав сплава Э110, для лучшего ознакомления с материалом, с которым придется работать в дальнейшем.

1.2.1 Влияние основных легирующих элементов на поглощение водорода

В работе [23] отмечается, что склонность сплава к поглощению водорода, который выделяется согласно реакции, можно характеризовать соотношением $F = N_{\text{погл}}/N_{\text{осв}}$, где $N_{\text{погл}}$ и $N_{\text{осв}}$ – количество водорода, поглощаемого и освобождаемого при коррозии соответственно. Как полагают исследователи, значение параметра определяются свойствами оксидов (количеством и геометрией несплошностей в оксиде). Влияние основных легирующих элементов на значение F представлено на рисунке 1. Легирующие элементы изменяют абсорбционную способность циркония, образуя интерметаллические включения или твердые растворы. В работе [26] измеряли привес массы в зависимости от времени для основных сплавов циркония. На рисунке 2 показано влияние некоторых легирующих элементов на абсорбционную способность циркония.

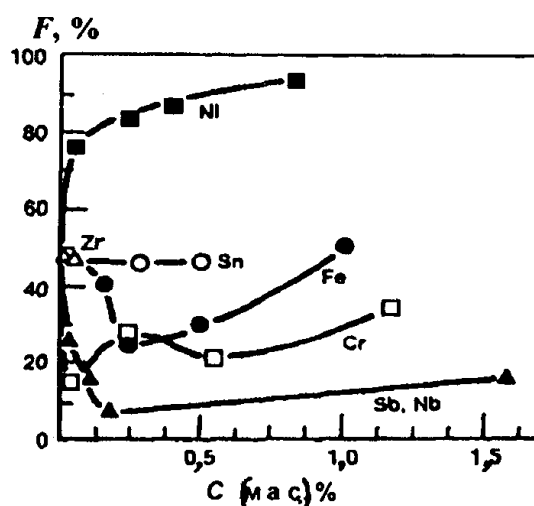


Рисунок 2 – Влияние легирующих элементов на поглощение водорода [27]

Как видно из рисунка 3, включение азота в состав циркония увеличивает абсорбционную способность сплава, а включение ниобия наоборот снижает. Кислород, который диффундировал в цирконий в процессе окисления, также снижает растворимость водорода [28]. В книге [25] рассмотрено влияние многих легирующих элементов на поглощающую способность циркония.

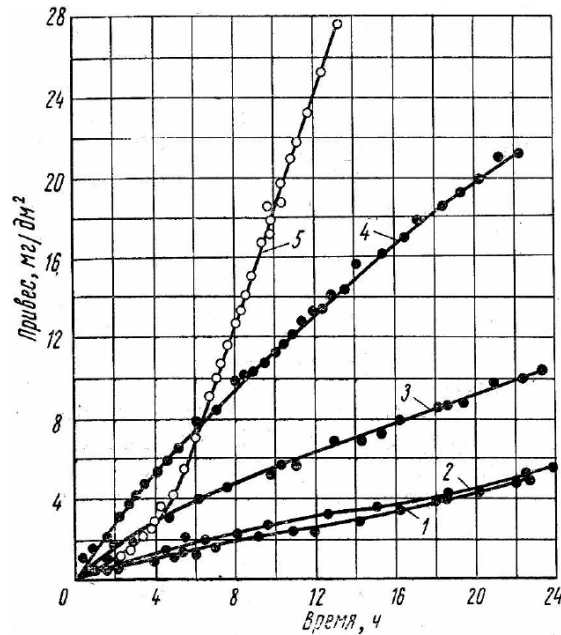


Рисунок 3 – Поглощение водорода цирконием его сплавами при 400°C и давлении водорода 160 мм рт. ст. [26]: 1 – сплав Zr – 1% Sn – 0,2% Fe – 0,3% Ni; 2 – сплав Zr – 2,5% Nb; 3 – сплав Zr – 1% Nb; 4 – иодидный цирконий (0,002% N); 5 – иодидный цирконий (0,015% N)

В таблице 3 показано поглощение водорода сплавами циркония в воде при температуре 350 °C и давлении 168 атм. за 18000 часов.

Таблица 3 – Поглощение водорода сплавами циркония в воде при температуре 350 °C и давлении 168 атм. за 18000 часов [29]:

Содержание ниобия, %	Поглощение водорода (от выделившегося при коррозии), %
0	89
0,5	36
1,0	24
1,5	21

Как видно из таблицы 3, чем выше содержание ниобия Nb в сплаве, тем больше снижается его склонность к поглощению водорода. Однако, следует отметить, что такая закономерность наблюдается не всегда. Так в работе [30], было установлено, что сплав Zr – 0,5 ат.% Nb поглощает 3 – 5% водорода при испытании в воде при температуре 360 °C и в паре при 400 °C за 2352 часа, а сплав Zr – 2 ат.% Nb поглощает 4 – 12% водорода.

1.2.2 Влияние основных легирующих элементов на коррозионную стойкость

Выбор легирующих элементов и их количество зависит от совокупности требований, которые предъявляются к цирконию в качестве конструкционного материала для реакторостроения:

1. Легирующий элемент не должен значительно увеличивать поглощение тепловых нейтронов;
2. В сплаве не должны присутствовать элементы, дающие после облучения долгоживущие радиоактивные изотопы;
3. Легирование должно повышать и стабилизировать коррозионную стойкость сплава;
4. Легирование должно понижать склонность сплава к поглощению водорода;
5. Легирующие элементы должны увеличивать механические свойства при сохранении высоких пластических характеристик;
6. Легирование не должно ухудшать высокие технологические свойства циркония.

Легирование оловом. При легировании циркония оловом повышается прочность сплава [31, 32] и несущественно увеличивается поглощение тепловых нейтронов.

При изучении сплавов с оловом было отмечено, что введение его в губчатый цирконий повышает коррозионную стойкость сплавов. Такое поведение олова объясняется его способностью уменьшать, блокировать действие наиболее вредных примесей. В работах [33] было установлено, что для получения оптимальной коррозионной стойкости в сплав должно вводиться определенное количество, зависящее от содержания в нем азота.

Положительное влияние олова именно на коррозионную стойкость губчатого циркония легло в основу создания серии сплавов – циркалоев.

На рисунке 4 приведены данные по коррозионной стойкости циркалоя-2 в

воде и паре при различных температурах, взятые из работы [27].

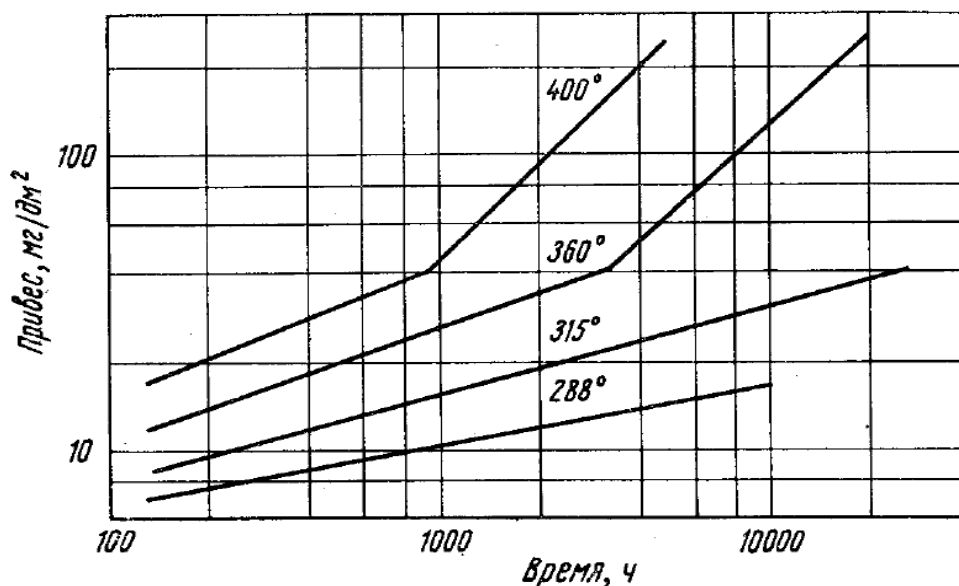


Рисунок 4 – Коррозионная стойкость сплава циркалой-2 в воде при 288, 315, 360 °С, в паре 400 °С и давлении 105 атм.

Начальные привесы, образуемые на циркалой-2, несколько выше, чем для чистого циркония, однако скорости коррозии ниже и более стабильны.

Влияние ниобия. С целью экономии тепловых нейтронов желательно легирование циркония ниобием. Ниобий увеличивает прочностные характеристики сплавов на основе циркония при комнатной и повышенных температурах. Также ниобий повышает коррозионную стойкость в воде и перегретом паре. Однако ниобий снижает температуру превращения $\alpha \rightarrow \beta$ модификации до 615 °С, что делает использование таких сплавов ограниченным.

В работе [31] было установлено, что количество ниобия, которое необходимо вводить в сплав для повышения коррозионной стойкости, зависит от температуры: при 350 °С – 0,2%, при 400 °С – 0,5%, при 500 °С – 1,0%.

На рисунке 5 приведены данные по коррозионной стойкости сплава Zr – 1%Nb в воде и паре при различных температурах, взятые из работы [29].

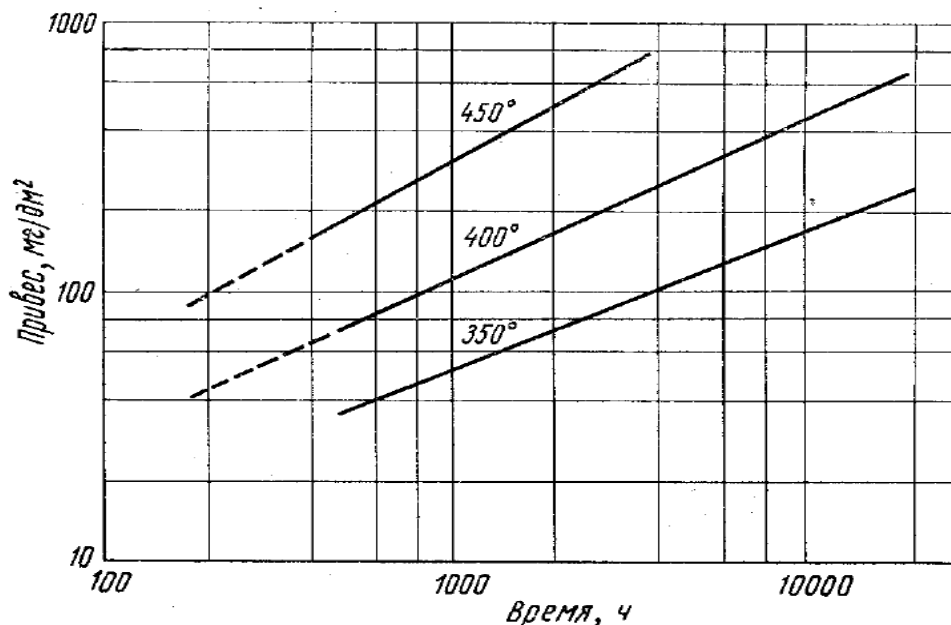


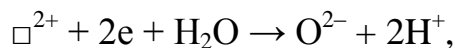
Рисунок 5 – Коррозионная стойкость сплава Zr – 1%Nb в воде при 350°C, давлении 168 атм. и в паре 400 и 450 °С, давлении 300 атм.

В отличие от цирколия-2 кинетика окисления сплава Zr – 1%Nb не обнаруживает изменения в скорости окисления, перелома.

Также, следует отметить, что повышение содержания ниобия в сплаве значительно увеличивает его прочностные качества.

1.3 Механизм окисления

Коррозия циркониевых сплавов в воде и паре заключается в их окислении и наводороживании. На начальной стадии окисления, молекулы воды адсорбируются поверхностью образца и, захватывая электроны диссоциируют на ионы кислорода и протона по следующей реакции:



где \square – анионная (кислородная) вакансия. Затем O_2 растворяется в металле и при достижении концентрации ~ 30 ат.% (или ~ 7 мас.%) образуется диоксид циркония ZrO_2 :



Далее вновь образовавшиеся ионы кислорода диффундируют внутрь пленки, тем самым наращивая ее толщину.

Кинетика окисления характеризуется в общем случае наличием двух периодов. В первый период окисления проходит образование защитной окисной пленки, плотно прилегающей к металлу. Через некоторое время наступает второй период, который характеризуется резким возрастанием скорости коррозии, что часто приводит к разрушению металла.

Установившийся на первом и втором этапах процесс окисления циркония описывается уравнением:

$$\Delta m = k * t^n, \quad (1)$$

где Δm – привес массы за счет образования окисной пленки за время t . Коэффициент k определяет минимальную толщину окисной пленки, которая необходима для защиты металла и стабилизации процесса коррозии. Для сплава Zr – 1% Nb при испытании в воде с температурой 350°C данный коэффициент равен 0,2, в паре при температуре 400°C $k = 0,3$, а при 450°C $k = 0,35$ [23]. Таким образом, делается вывод, что повышение температуры приводит к образованию более толстой окисной пленки для надежной защиты.

В начальный период времени показатель степени n в уравнении (1) близок к 0,5 или 0,33. Когда толщина пленки достигает 2-3 мкм, наблюдается практически линейная зависимость между привесом массы и временем, показатель степени $n \approx 1$.

1.4 Основные деградирующие явления с участием водорода

Более чем полувековой опыт эксплуатации водоохлаждаемых ядерных реакторов показал, иногда болезненно, что водород, накапливаемый в циркониевых элементах конструкции (ЦЭК) при эксплуатации, по достижении критической концентрации (общей или локальной) является одним из базовых критериев предельного состояния этих элементов [34, 35]. Опасность усугубляется еще и тем, что присутствие накопленного в процессе эксплуатации водорода может пагубно отразиться на состоянии циркониевых комплектующих ТВС при последующих операциях обращения с отработавшим ядерным топливом (ОЯТ) и его длительном хранении [36].

К основным деградирующим явлениям с участием водорода, происходящим в ЦЭК при эксплуатации, относятся: водородное охрупчивание (резкое уменьшение пластичности при гидрировании), образование крупных массивных гидридов (дефектов типа солнечная корона, блистеров) (рис. 1) и замедленное гидридное растрескивание (постепенное ступенчатое подрастание трещин, обусловленное одновременным действием напряжения и водорода) (рис. 2). В основе каждого из этих явлений лежит физико-химическое взаимодействие водорода с цирконием: физическая адсорбция, хемосорбция, растворение водорода и его диффузия, образование гидридов и т. д. [37]. Поэтому развитию представления о замедленном гидридном растрескивании (ЗГР), являющемся предметом нашего интереса, должно предшествовать и его сопровождать информационное обеспечение данными о химико-физическом взаимодействии водорода с цирконием.

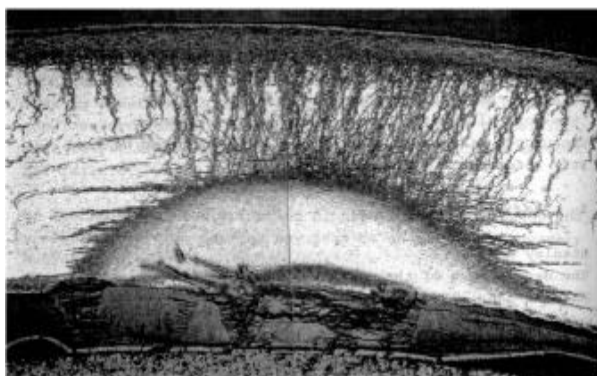


Рисунок 6 – Массивный гидрид в оболочке твэла (дефект типа солнечная корона) [38]

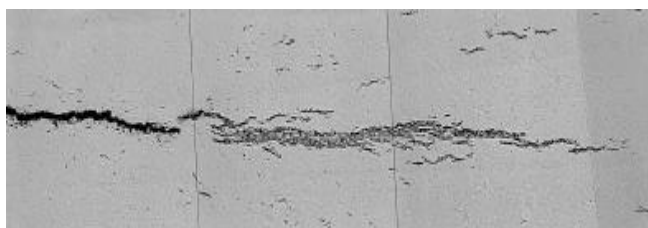


Рисунок 7 – «Split effect» – растрескивание оболочки твэла, обусловленное разрушением с участием водорода [39, 40]

1.4.1 Разрушение гидрированных сплавов циркония

Диффузионный поток водорода в твердом растворе на основе α -цирконии определяется выражением [41]:

$$J_H = -D_H \nabla C_H - D_H C_H Q \nabla T / RT^2 + D_H C_H V_H \nabla \sigma / RT,$$

где C_H – концентрация водорода; R – молярная газовая постоянная; T – абсолютная температура; σ – гидростатическое напряжение; V_H – парциальный молярный объем; Q – теплота переноса, D_H – коэффициент диффузии.

Когда концентрация водорода превышает предел растворимости, образуются гидриды γ -ZrH и δ -ZrH₂. Ориентация гидридов определяется текстурой матрицы и напряжениями, действующими в процессе их образования [42, 43]. Оценка ориентации гидридов проводится на металлографических шлифах (рис. 1), при этом рассчитывается доля гидридных пластин (иголок), угол наклона которых к радиальному направлению меньше 45°.

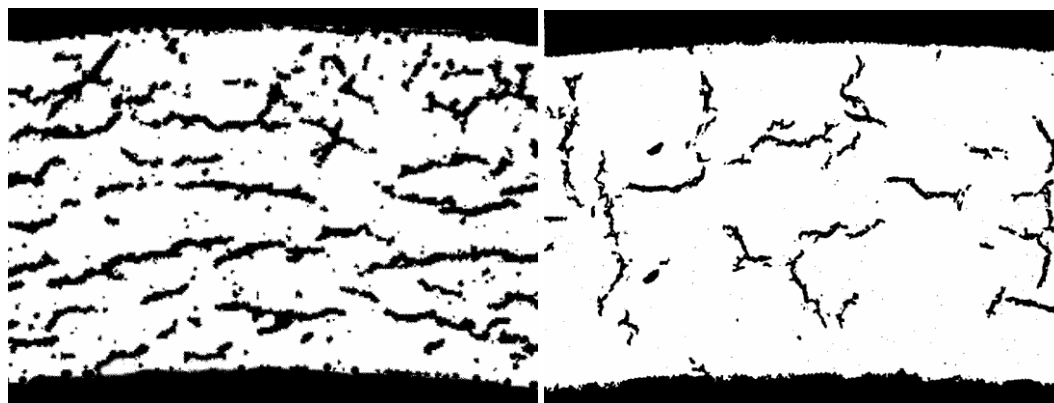


Рисунок 8 – Примеры расположения гидридов в оболочечных трубах из сплава Zr-1%Nb [42]

Скоростью диффузии водорода определяется также скорость образования и роста гидридов в вершине трещины и, соответственно, скорость распространения трещин в циркониевых изделиях при замедленном гидридном растрескивании (ЗГР). Для ЗГР необходима комбинация критической концентрации водорода и действующих напряжений. Критическая концентрация водорода в вершине трещины создается его направленной диффузией в эту область.

Диффузионное накопление водорода на участках с пониженной температурой и повышенным уровнем растягивающих напряжений приводит к образованию зон с повышенным содержанием гидридов, вызывающих охрупчивание и разрушение изделий по механизму замедленного гидридного растрескивания (ЗГР).

Ввиду того что в целом гидриды более хрупкие, чем матрица недргоценных металлов, механические свойства поверхности, на которую адсорбировался гидрид, представляют серьезную проблему для эффективной работы реактора, наряду с выгоранием топлива. В облученных оболочках ТВЭЛов из-за увеличения концентрации адсорбированного водорода на многих участках окисленной поверхности, а также из-за повышения температуры оболочки во время работы, осаждаются гидриды. Из-за этого, по причине радиального распределения температуры по оболочке во время движения, а также высокой концентрации водорода в верхнем слое, на более холодной внешней поверхности формируется зона концентрирования гидридов. Механические свойства сплавов Zr, абсорбирующих водород, исследуются очень давно, и, как правило, в исследуемых образцах распределение зон накопления водорода равномерное. Между тем, как уже сообщалось, оболочки с равномерно распределенными зонами концентрации гидридов в поверхностном слое могут иметь различные механические свойства. Таким образом, возникает необходимость подготовки образца сплава Zr, абсорбирующего водород, для анализа механических свойств с учетом распределения гидридов.

Существует несколько путей абсорбции водорода сплавом Zr, при которых создается градиент концентрации водорода внутри образца: (1) помещение образца в газовую смесь водорода и аргона, нагретую до высокой температуры, (2) перераспределение гидридов в образце с помощью изменения температуры после формирования гидридного слоя вблизи поверхности образца методом низкотемпературного электролиза и другие; при этом поддержание достаточной концентрации при проведении обработки при низкой температуре часто сопряжено с некоторыми сложностями. Кроме того, направление распределения

водорода также зависит от диаметра трубы ТВЭЛа, проектирование которой вызывает большие трудности.

Известно, что диффузия водорода в Zr зависит от температуры, концентрации и градиента напряжений [44]. В таком случае, так как полагают, что в основном распределение концентрации водорода внутри может быть определено через скорость абсорбции водорода с поверхности, а также скорость и коэффициент диффузии растворенного внутри водорода, при подборе подходящей комбинации этих факторов предположительно возможно смоделировать градиент концентрации.

1.5 Методы насыщения

С самого начала изучения вопросов, связанных с системой металл-водород, исследователи данной области искали различные методы насыщения металлов водородом. В связи с тем, что у водорода очень маленький атомный размер, он имеет возможность быстро и легко двигаться сквозь кристаллическую структуру. Водород может легко проникать в тетраэдрические и октаэдрические пустоты, а также в междоузлия большинства металлических сплавов. Существует несколько путей абсорбции водорода сплавом Zr, при которых создается градиент концентрации водорода внутри образца: (1) помещение образца в газовую смесь водорода и аргона, нагретую до высокой температуры, (2) перераспределение гидридов в образце с помощью изменения температуры после формирования гидридного слоя вблизи поверхности образца методом низкотемпературного электролиза и другие; при этом поддержание достаточной концентрации при проведении обработки при низкой температуре часто сопряжено с некоторыми сложностями. Кроме того, направление распределения водорода также зависит от диаметра трубы ТВЭЛа, проектирование которой вызывает большие трудности.

1.5.1 Электролитический метод

Электролитические методы, которые включают в себя ванны серной

кислоты или расплавленных солей, используются для того, чтобы покрыть наружную поверхность образца слоем гидрида. Эти образцы помещают в печь при температурах в интервале от 300 до 400 °С на время от 1 до 4 часов. С помощью данного метода создается однородный гидридный слой в материале [45, 46].

В работе [47] описывается электрохимический метод получения гидридного слоя на поверхности образца. На рисунке 7 представлено фото экспериментальной установки, которая использовалась в данной работе.



Рисунок 9 – Фотография экспериментальной установки [47]

Как видно из рисунка, стакан служил в качестве основного реакционного сосуда для данного эксперимента. Для того, чтобы получить равномерную температуру раствора, реакционный стакан помещали на нагреваемую плиту. Крышка из тефлона была использована для герметизации стакана, чтобы при нагреве раствора пары кислоты не проникали наружу. Раствор, состоящий из серной кислоты и воды, в течение всего эксперимента служил электролитом, а также источником водорода.

Эксперимент проводился при 120 °С в течение трех часов и при анодной плотности 0,5 А/см². На рисунке 9 отчетливо виден плотный гидридный слой (эффект под названием Hydride rim).

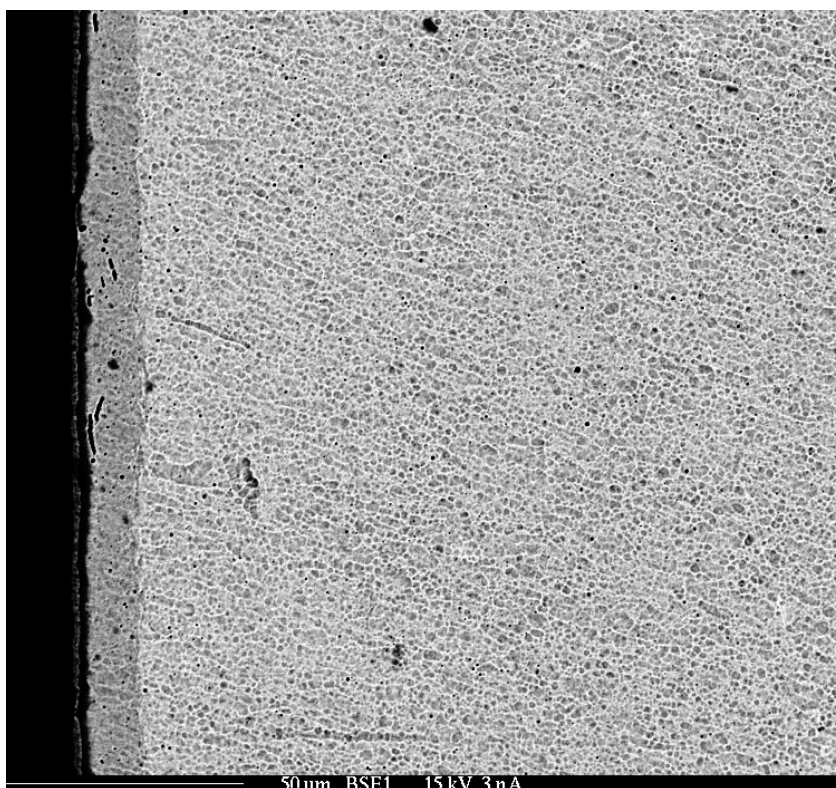


Рисунок 11 – Изображение образца, сделанное с помощью электронного микроскопа [47]

К плюсам данного метода можно отнести относительно короткое время проведения эксперимента, а также хорошее качество получения гидридного слоя. Этот метод также имеет несколько отрицательных факторов. Во-первых, это очень опасный метод, так как в нем используется концентрированная серная кислота при высокой температуре. Второй минус этого метода заключается в том, что после каждого эксперимента необходимо будет менять раствор.

1.5.2 Метод насыщения в смеси газов

В работах [48, 49] сообщается об относительно простом разработанном авторами способе абсорбции водорода с поверхности трубы из циркалоя, который позволяет формировать поверхностный слой с высоким содержанием гидрида.

Адсорбция водорода, предположительно, проходит тремя путями:

1. физическая адсорбция молекул водорода к поверхности металла,
2. химическая адсорбция и диссоциация молекул водорода,

3. диффузия атомов водорода в металлах.

Известно, что в сплавах Zr поверхностная оксидная пленка влияет на адсорбцию водорода, и влияет во многих случаях. Напротив, никель (Ni) имеет высокую физическую и химическую адсорбционную активность по отношению к водороду [50], и обладает высокой степенью проницаемости для водорода. Кроме того, оксидная пленка, образуется хуже, чем на Zr, что, вероятно, способствует абсорбции водорода, осажденного на поверхности Zr. Авторы предполагают, что слой Ni на поверхности Zr позволяет увеличить скорость абсорбции водорода с образованием поверхностного слоя сегрегации гидрида.

Таким образом, чтобы повысить скорость абсорбции водорода с поверхности, поверхностная оболочка образца трубы из циркалоя-4, которая используется в топливных реакторах типа PWR, была подвергнута химической металлизации Ni, с образованием покрытия микронного порядка, образец был помещен в аппарат, изображенный на рисунке 12, в газовую смесь водород + аргон при заданной температуре на заданное время. От начала до конца нагрева подавался постоянный поток газовой смеси ($0,5 \text{ дм}^3/\text{мин}$) при соотношении компонентов смеси водорода и аргона 1:50.

На рисунке 13 представлена часть металлографической микрофотографии среза оболочки трубы после выдержки в течение 168 часов при температуре 300°C . Гидриды осаждены на внешней поверхности оболочки, адсорбировавшей водород, а на внутренней поверхности наблюдаются редко.

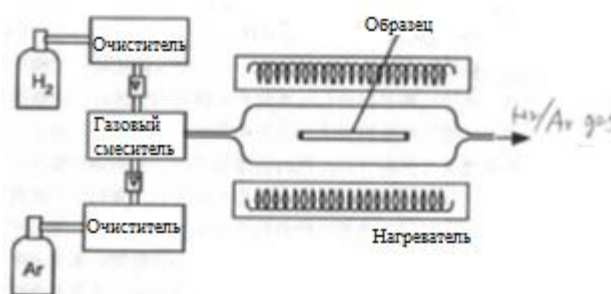


Рисунок 12 – Схема аппарата для наводороживания [48]

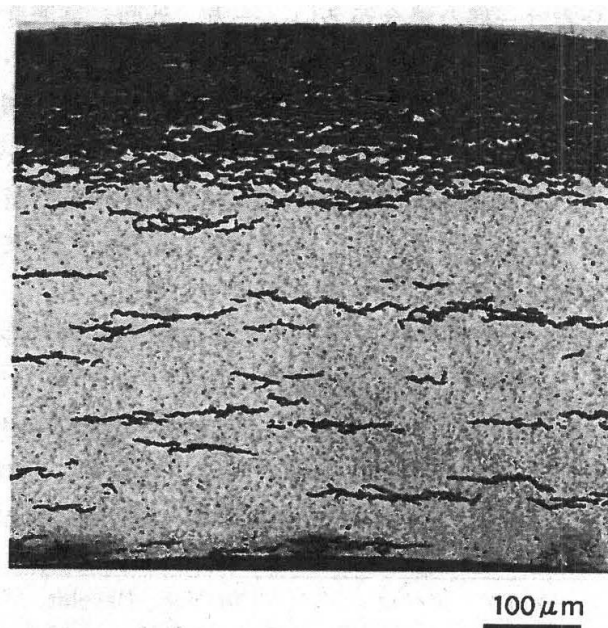


Рисунок 13 – Распределение водорода в образце, покрытом Ni [49]

К явным недостаткам данного метода насыщения можно отнести время формирования гидридного слоя на поверхности образца (Hydride rim). Также к минусам можно отнести то, что в течение такого продолжительного времени должна постоянно подаваться смесь газа (аргон + водород). Последний недостаток заключается в том, что перед насыщением на образец необходимо нанести слой Ni для лучшей сорбции водорода. К плюсам метода можно отнести только то, что получается качественный гидридный слой.

1.5.3 Метод перераспределения водорода

В работе [51] проводили эксперименты с полыми цилиндрами из сплава циркалой-2. Образцы нагревали до температуры 900 °С и насыщали их нужным количеством газообразного водорода. После шести часового насыщения получали однородное распределение водорода. Затем один конец цилиндра нагревали до 500 °С, а другой конец до 300 °С и выдерживали в течение 44 дней.

Перераспределение водорода на самом деле очень сложный процесс, так как на перераспределение влияет не только градиент температур, но и градиенты напряжений, которые в свою очередь зависят от таких факторов, как радиационное повреждение, гидридные выделения и т.д.

С помощью данного метода можно получить градиент распределения гидридов, но это весьма длительный и, как уже упоминалось выше, очень сложный процесс, который зависит от многих факторов.

Также в данной работе были описаны эксперименты по предварительному гидрированию образцов. С помощью этого предварительного насыщения уже удавалось получить гидридный слой на поверхности образца. Эксперименты заключались в пропускании потока газа через камеру, в которой находился образец. Сначала образцы шлифовались с наружной стороны, для лучшего проникновения водорода. С внутренней стороны образцы оставались в состоянии поставки. Далее образцы помещали в печь, которую нагревали до температуры $\sim 280 - 300$ °С, и через камеру, в которую был помещен образец пропускали поток чистого водорода в течение 24 часов. Результаты одной из таких предварительных обработок представлены на рисунке 11.

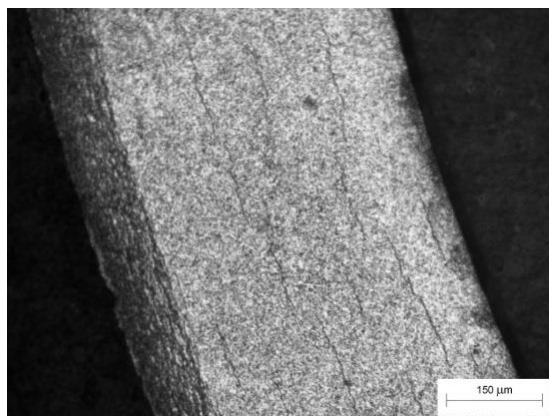


Рисунок 14 – Оптическое изображение образца в 100-кратном увеличении [51]

Как видно из рисунка, действительно можно наблюдать гидридный слой вблизи наружной поверхности образца (Hydride rim). Данный эффект получения гидридного слоя у поверхности связывают с градиентом температур, который формируется в камере из-за неравномерного нагревания всего объема внутри камеры.

Глава 2 Материал и методы исследования

2.1 Материал

В качестве объектов исследования были выбраны образцы цилиндрической формы из сплава циркония Э110 (Zr-1%Nb).

Размеры, использованных для исследования образцов, составляли примерно 9 мм в диаметре, 20 мм длиной и толщиной стенки 1 мм.

Перед помещением в камеру образцы шлифовались для лучшего поглощения водорода. В ходе шлифования удалялась окисная пленка с внешней стороны тонкостенной трубы, возникшая вследствие взаимодействия циркония с воздухом. Внутренняя сторона трубки оставалась в состоянии поставки.

Для проведения исследования на микротвердомере необходимо было сделать поперечный шлиф образца. Сначала вырезалась труба большего диаметра, чем диаметр образца. Затем образец ставили в центр трубы большего диаметра и заливали эпоксидной смолой. Процесс шлифования, независимо от способа, заключается в механическом снятии тонкого поверхностного слоя металла. При этом уменьшение шероховатости происходит, главным образом, за счет срезания абразивными зернами высоты микровыступов. Шлифование шкуркой осуществляют на плоском основании или на вращающемся круге, на поверхность которого либо наклеена шкурка, либо закреплена на ней зажимным кольцом.

Для получения качественной поверхности микрошлифа при шлифовании последовательно переходят от одной шкурки к другой с непрерывно уменьшающимися размерами абразивных частиц. Движение образца при шлифовании вручную производят под углом 90° к направлению царапин от предшествовавшей обработки. При уменьшении размеров абразивных частиц снижается глубина рисок на поверхности и уменьшается толщина деформированного поверхностного слоя, получаемого в результате шлифования.

2.2 Насыщение из газовой атмосферы

Одним из самых старых методов насыщения является метод Сиверса, при котором насыщение металла водородом идет из газовой фазы при нагреве. Для насыщения образцов из газовой атмосферы использовался автоматизированный комплекс «Gas Reaction Controller», фирмы «Advanced Materials Corporation».

Некоторые материалы вступают в реакцию с водородом и азотом, образуя новые соединения при соответствующих условиях. Объем поглощенного газа может достигать больших значений. Например, один см³ $LaNi_5$ поглощает около тысячи см³ водорода, формируя гидрид $LaNi_5H_6$. В данном случае, реакция может быть легко обратимой для восстановления водорода, что привело к интенсивным исследованиям этого замечательного материала в качестве системы хранения водорода. В настоящее время, металл-гидридные батареи широко используются для питания электрических и гибридных транспортных средств из-за их высокой мощности и плотности энергии. Вновь созданный материал с помощью реакции газового сплава иногда показывает замечательные свойства. Значительное улучшение магнитных свойств было достигнуто для $Sm_2Fe_{17}N_x$ за счет взаимодействия Sm_2Fe_{17} с азотом. Сплав часто разбивается на мелкие частицы за счет расширения кристаллической решетки при адсорбции. Такой процесс заинтересовал отрасль производства постоянных магнитов. Вместо механического измельчения сплава $Nd-Fe-B$, который является основным материалом современных постоянных магнитов, используется технология измельчения до мелких порошков при помощи реакции с водородом. Основой для этих исследований является построение изотермы давление-состав (PCI) реакции, то есть связь между давлением газа и количеством атомов газа в твердой фазе при данной температуре. Из кривой PCI , можно получить важную информацию о характере реакции. Ее температурная зависимость показывает теплоту образования. Система GRC предназначена для автоматического выполнения таких измерений. Кроме того, не термодинамические свойства, такие как гистерезис сорбции и последующего процесса десорбции газа, и

скорость сорбции и десорбции представляют большой интерес для исследователей. *GRC* собирает необходимые данные для проведения такого исследования. Молярный объем газа может быть найден из его объема, давления и температуры. Хотя закон идеального газа дает хорошее приближение для широкого диапазона температур и давлений, установленная программа *GrcLV* использует уравнение расширения для лучшей точности. Принцип работы автоматизированной системы можно легко понять из рисунка 15.

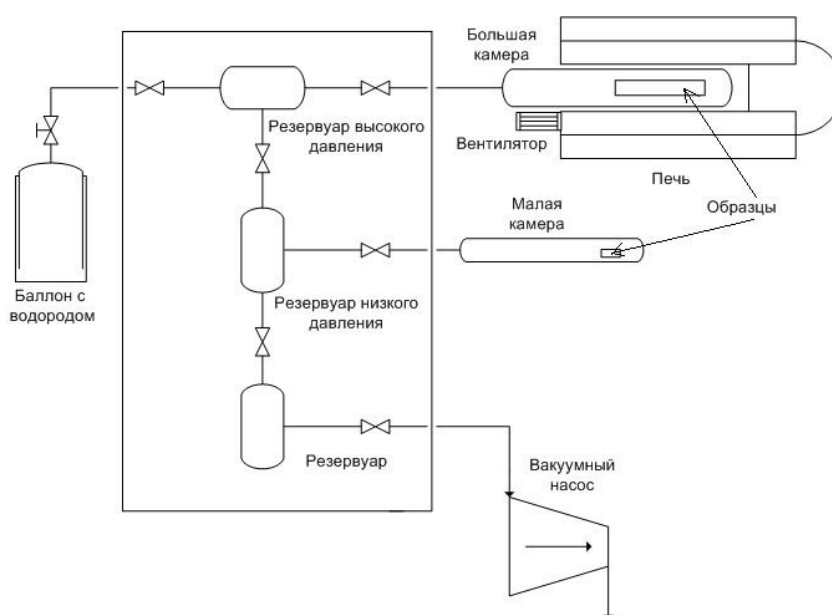


Рисунок 15 – Схема работы Gas Reaction Controller

GRC напускает соответствующее количество газа в резервуар и определяет его молярный объем N_0 по его давлению и температуре. Затем система открывает клапаны между резервуаром и реакционной камерой и передает необходимое количество газа из резервуара в реакционную камеру. После внедрения газа в твердое тело реакция завершается, система вычисляет общее молярное количество газа N_g в камере с образцом и в резервуаре. Молярный объем газа поглощенного твердым телом N_s находится по формуле:

$$N_s = N_0 - N_g \quad (2.1)$$

Здесь предполагается, что начальное количество атомов газа в твердом теле равно нулю. Если это не так, уравнение 2.1 должно быть изменено:

$$N_s = N_{s0} + (N_0 - N_g) \quad (2.2)$$

где N_{s0} - начальный молярный объем газа в твердом теле. Управляющая

программа *GrcLV* изначально предполагает $N_{s0} = 0$, но сохраняет значение N_{s0} в последующих шагах, таких, как запуск десорбции и перезапуск при различных температурах. Значение может быть обнулено за счет вакуумирования. В процессе вакуумирования газ из камеры с образцом откачивается *GrcLV* и устанавливает N_{s0} равным нулю. Поскольку молярный объем газа рассчитывается по закону идеального газа:

$$N = p V / R T \quad (2.3)$$

Точность системы ограничивается точностью измерений давления и температуры. Когда температура хорошо регулируется, измерение давления является ограничивающим фактором. При измерении сорбции точность давления составляет 0,1 бар в объеме около 50 см³. Поэтому точность измерения составляет 0,1 бар · 50 см³ / 15 бар = 0,3 см³. При измерении десорбции давление газа в объеме большем 500 см³ измеряется с помощью более чувствительного датчика с точностью 0,01 бар в результате с той же точностью измерения 0,01 бар · 500 см³ / 15 бар = 0,3 см³. Для образцов, которые поглощают большое количество газа (например, до 150 см³ H₂ на грамм *LaNi₅*), его количество может быть определено с высокой точностью. Однако точность *PCI* измерения может быть ограничена медленной кинетикой. *GrcLVS* сообщает, что количество газа, вступившего в реакцию с образцом, по абсолютной величине в *ccstp* столько же, сколько и в массовых процентах. Абсолютное значение V в *ccstp* связано с N_s просто

$$V = 22413,6 \cdot N_s \quad (2.4)$$

Относительное количество газа по массе (веса процентов, вес) берется

$$wt = N_s \cdot M_G / m \cdot 100 \quad (2.5)$$

где m – масса образца и M_G – молярная масса газа (например, 1,0079 · 2 для водорода).

Для ясности, закон идеального газа использовался в вышестоящем обсуждении. Программное обеспечение имеет уравнение третьего порядка для вычисления количества газа при данных давлении, температуре и объеме которое он занимает. Уравнение для одного моля газа может быть представлено

В ВИДЕ:

$$\frac{pV}{RT} = 1 + B(T) \frac{1}{V} + C(T) \frac{1}{V^2} + D(T) \frac{1}{V^3} \quad (2.6)$$

где $B(T)$, $C(T)$, и $D(T)$ – второй, третий и четвертый коэффициент, зависящий от температуры. Эти коэффициенты могут быть посчитаны, используя уравнение Битти-Бриджман из пяти констант. Эти соотношения:

$$\begin{aligned} B(T) &= B_0 - \frac{A_0}{RT} - \frac{c}{T^3} \\ C(T) &= -B_0b + \frac{A_0a}{RT} - B_0c/T^3 \\ D(T) &= \frac{B_0bc}{T^3} \end{aligned} \quad (2.7)$$

Пять коэффициентов представлены в таблице 4 для нескольких газов. Значения этих коэффициентов имеют размерность давление, температура, давление в атмосферах, кельвины и литры, соответственно.

Таблица 4 – Коэффициенты для разных газов

Gas	A_0	a	B_0	b	c
He	0,0216	0,05984	0014	0	40
Ar	1,2907	0,02328	0,03931	0	$5,99 \cdot 10^4$
H ₂	0,1975	-0,00506	0,02096	-0,04359	504
N ₂	1,3445	0,02617	0,05046	-0,00691	$4,2 \cdot 10^4$
CH ₄	2,2769	0,01855	0,05587	-0,01587	$12,83 \cdot 10^4$
CO ₂	5,0065	0,07132	0,10476	0,07235	$66 \cdot 10^4$

Из уравнения 3 количество молекул газа n в данном объеме V от давления p и температуры T вычисляется по формуле:

$$n = \left(\frac{pv}{RT}\right) / \left(1 + B(T) \frac{n}{v} + C(T) \frac{n^2}{v^2} + D(T) \frac{n^3}{v^3}\right) \quad (2.8)$$

Установка выдает значение абсорбированного газа в абсолютном (*ccstp*) и относительном (*weight %*) значениях. Иногда, необходимо знать соотношение атомов. Если известна молярная масса образца, можно конвертировать массовые проценты (*wt %*) в атомное соотношение газа в формуле. Например, если газ – водород (его атомный вес равен 1,0079 г.). Если образец имеет массовый вес 432

г. ($LaNi_5$) и образец абсорбировал 1,4 массовых процента водорода, то количество водорода на один моль образца равен $432 \text{ г.} \times 1,4 \% = 6,05 \text{ г.}$ Поэтому, молярное количество водорода на один моль образца равно $6,05/1,0079 = 6,00$. Таким образом, в этом примере $LaNi_5$ абсорбирует 6 атомов водорода и формула гидрида будет $LaNi_5H_{6,00}$. В целом, формула перевода будет:

$$x = M * wt \% / 100,79 \quad (2.9)$$

Для водорода, где M – это молярный вес образца, и $wt \%$ – это массовый процент водорода.

Так же представляет интерес изучение десорбции газов при линейном нагреве исследуемого образца. Для этого GRC оснащен квадрупольным масс-спектрометром RGA100 фирмы «Stanford Research Systems». Residual Gas Analyzer (RGA) – это небольшой масс-спектрометр, непосредственно находящийся в вакуумной системе GRC. Принцип работы RGA схож с принципом работы всех масс-спектрометров для измерения давления остаточных газов: небольшое количество молекул газа ионизируются (положительные ионы), ионы разделяются по их массам и измеряются ионные токи для каждой массы. Парциальное давление определяется по предварительно рассчитанной чувствительности (калибровка).

2.3 Рентгеноструктурный анализ

Рентгеноструктурный анализ позволяет определять координаты атомов в трёхмерном пространстве кристаллических веществ. В основе рентгеновской кристаллографии лежит анализ дифракции рентгеновских лучей, проходящих через кристалл [52]. Для получения рентгеновского излучения обычно используют рентгеновские трубки. Накаленная спираль катода, при прикладывании к рентгеновской трубке высокого напряжения, начинает выбрасывать ускоряющийся поток электронов, а затем они резко тормозятся на вольфрамовой пластинке анода, что и приводит к появлению рентгеновских лучей.

При взаимодействии рентгеновских лучей с образцом возникает дифракционная картина (образец изготовлен из металла, следовательно, имеет кристаллическую структуру). Максимумы интенсивности такой картины удовлетворяют условию Брэгга – Вульфа:

$$n \cdot \lambda = 2 \cdot d \cdot \sin \theta,$$

где λ – длина волны, n – целое число, d – расстояние между плоскостями, θ – угол скольжения.

С помощью данного уравнения можно легко вычислить межплоскостное расстояние d , так как все остальные компоненты известны.

2.4 Измерение твердости по методу Виккерса

Основа этого метода заключается во внедрении в образец алмазной пирамидки с углом при вершине между противоположными гранями 136° [53]. На рисунке 16 представлена схема измерения твердости по методу Виккерса.

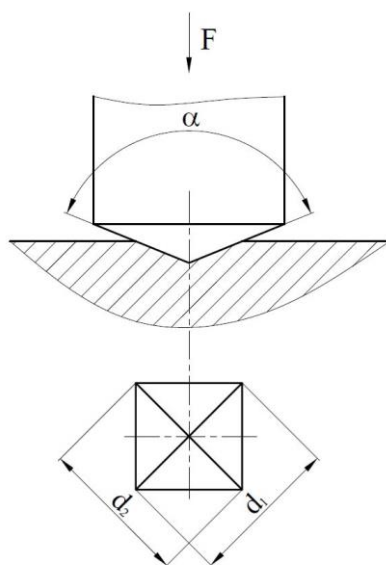


Рисунок 16 – Схема измерения по методу Виккерса

Твердость можно вычислить по следующей формуле:

$$HV = \frac{0,102 \cdot 2F \cdot \sin \frac{\alpha}{2}}{d^2} = 0,189 \frac{F}{d^2} \text{ или } HV = \frac{2P \cdot \sin \frac{\alpha}{2}}{d^2} = 1,854 \frac{F}{d^2},$$

где F – нагрузка, Н; P – нагрузка, кгс; α – угол между противоположными

гранями при вершине, равный 136° ; d – среднее арифметическое значение длин обеих диагоналей отпечатка после снятия нагрузки, мм [53].

Метод используют для определения твердости деталей малой толщины и тонких поверхностных слоев, имеющих высокую твердость. Как правило, используют небольшие нагрузки: 10, 30, 50, 100, 200, 500 Н. Чем тоньше материал, тем меньше должна быть нагрузка.

Схема твердомер Виккерса KB 30S Pruftechnik GmbH представлена на рисунке 2.

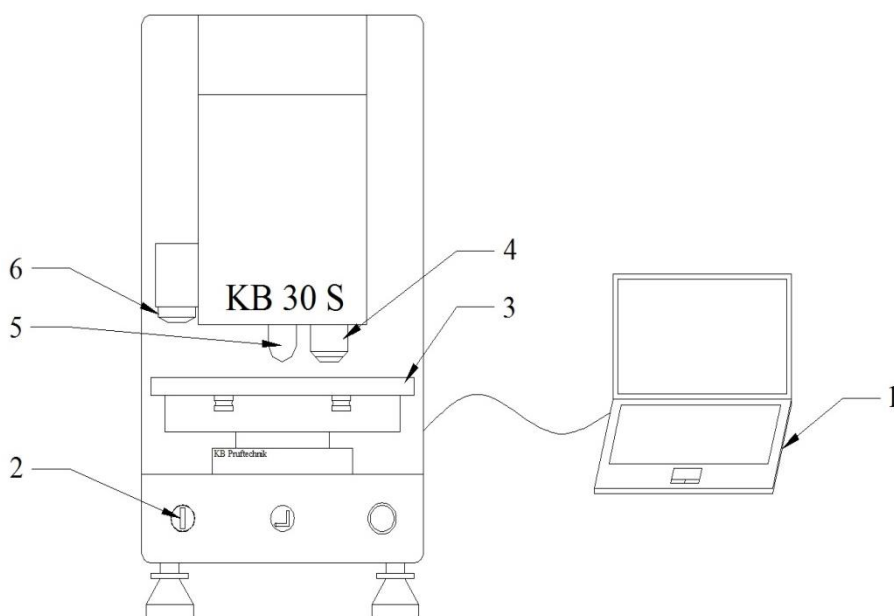


Рисунок 17 – Схема твердомера Виккерса KB 30S Pruftechnik GmbH: 1 – компьютер со специальным программным обеспечением; 2 – кнопка включения питания; 3 – столик; 4 – 20X объектив; 5 – индентор (алмазная пирамидка); 6 – обзорная камера

Твердомер Виккерса KB 30S Pruftechnik GmbH состоит из компьютера со специальным программным обеспечением (1). После включения кнопки питания (2), приступаем к измерению твердости. Для этого помещаем исследуемый образец на столик (3) и поднимаем на нужную высоту с помощью специальных кнопок управления. Затем настраиваем фокус 20X объектива (4), определив нужную поверхность и установив определенную нагрузку, начинаем проводить индентацию поверхности с помощью алмазной пирамидки (5). После проведения индентации автоматически измеряются длины диагоналей отпечатка

и определяется твердость по формуле, представленной выше. Так же можно рассматривать поверхность исследуемого образца при помощи обзорной камеры (6), специально предназначенной для нахождения отпечатков индентаций.

Данный метод является одним из наиболее совершенных и распространенных в лабораторной практике. Большую точность в определении твердости методом Виккерса также обеспечивает высокая твердость и несминаемость алмазной пирамидки и это является особенно важным фактором в проведении исследований. Ценность данного метода также состоит в том, что при малых нагрузках можно проводить исследования особо тонких образцов, а также определять твердость тонких поверхностных слоев. Однако этот метод требует тщательной подготовки поверхности – тонкого шлифования или полировки. Метод нежелателен для измерения крупнозернистых и разнородных структур [54].

Так же с помощью твердомера Виккерса KB 30S Pruftechnik GmbH можно проводить металлографические исследования поверхности образца.

Анализ металлографии позволяют проводить исследования структурных свойств металлических материалов. Структуру образца можно выявить с помощью химического травления, шлифования или полирования.

Глава 3 Экспериментальная часть

3.1 Результаты исследований

Насыщение образцов осуществлялось в автоматизированном комплексе «*Gas Reaction Controller*», фирмы «*Advanced Materials Corporation*» принцип действия которого основан на методе Сивертса, при котором насыщение водородом идет из газовой среды. Образцы циркония помещались в камеру. Камера откачивалась до давления 10^{-6} атм., затем проводился нагрев образца. Температура варьировалась в пределах от 350 до 420 °С. После откачки газов, которые десорбируются из образца во время нагрева, в камеру быстро напускался водород до заданного давления. Начальное давление водорода составляло 2 атм., время выдержки образца в среде водорода – 330 минут. Зависимость давления в камере от времени и температуры автоматически записывались на компьютер.

Таблица 5 – Режимы насыщения образцов и данные по содержанию в них водорода:

№ образца	Температура насыщения, °С	Масса до и после, г	Содержание водорода, масс. %
1	350	$m_1 = 2,8437$ $m_2 = 2,8445$	~0,028
2	400	$m_1 = 2,9232$ $m_2 = 2,9250$	~0,062
3	420	$m_1 = 2,9866$ $m_2 = 2,9913$	~0,157

При насыщении последнего образца в камере поддерживалось давление в ~ 2 атм. на протяжении всего времени насыщения. Как видно из таблицы, таким образом, удалось значительно увеличить массовое содержание водорода.

Из зависимости давления водорода от времени насыщения был сделан вывод, что на протяжении всего времени поглощение водорода проходило с

одинаковой интенсивностью.

Следующим шагом после насыщения стало исследование образцов с помощью рентгеноструктурного анализа (РСА) на дифрактометре «XRD -7000 S». Данное исследование помогло определить фазы, обнаруженные после насыщения, а также их массовое и процентное содержание в образцах. Результаты РСА представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Результаты рентгенографического исследования образцов Zr1%Nb (трубки):

Номер образца	Обнаруженные фазы	Содержание фаз, объем.%	Содержание фаз, масс.%	Параметры решетки
1, внутренняя сторона	Zr_hexagonal	94,16	97,22	a = 3,2284 c = 5,1382
	ZrH ₂ _cubic	5,84	2,78	a = 4,7628
1, внешняя сторона	Zr_hexagonal	72,85	80,59	a = 3,2364 c = 5,1497
	ZrH ₂ _cubic	27,15	19,41	a = 4,7807
2, внутренняя сторона	Zr_hexagonal	17,19	24,87	a = 3,2611 c = 5,1763
	ZrH ₂ _cubic	82,81	75,13	a = 4,8037
2, внешняя сторона	Zr_hexagonal	76,73	83,30	a = 3,2351 c = 5,1411
	ZrH ₂ _cubic	23,27	16,70	a = 4,7727
3, внутренняя сторона	Zr_hexagonal	12,34	21,29	a = 3,2643 c = 5,1852
	ZrH ₂ _cubic	87,66	78,71	a = 4,7989
3, внешняя сторона	Zr_hexagonal	78,21	84,55	a = 3,2328 c = 5,1482
	ZrH ₂ _cubic	21,79	15,45	a = 4,7782

Как видно из таблицы, после насыщения образцов водородом при параметрах из таблицы 6 были обнаружены две фазы: цирконий, имеющий ГЦК решетку с параметрами $a \approx 3,24 \pm 0,02$ и $c \approx 5,16 \pm 0,02$ и гидрид циркония, имеющий кубическую решетку с параметром $a \approx 4,76 \pm 0,02$. По содержанию фаз из таблицы можно видеть, что при измерениях с внутренней стороны у всех образцов наблюдается меньшее содержание гидридной фазы, чем при измерениях с наружной стороны. То есть, на стороне образца, которая подвергалась шлифовке (с наружной стороны) содержание водорода значительно выше, чем со стороны, которая оставалась в состоянии поставки. Также можно заметить, что в образцах с большим массовым содержанием водорода (образцы 3 и 4) значительно возросло содержание гидридной фазы с наружной стороны образцов, чем в первом образце, в который проникло меньшее количество водорода вследствие низкой температуры насыщения.

Далее проводились исследования твердости образца, содержащего 0,15 % мас водорода. Данный образец насыщался также по методу Сиверта при давлении в 2 атмосферы, но в течение 360 минут.

Для проведения исследования на микротвердомере необходимо было сделать поперечный шлиф образца. Сначала вырезалась труба большего диаметра, чем диаметр образца. Затем образец ставили в центр трубы большего диаметра и заливали эпоксидной смолой. Процесс шлифования, независимо от способа, заключается в механическом снятии тонкого поверхностного слоя металла. При этом уменьшение шероховатости происходит, главным образом, за счет срезания абразивными зернами высоты микровыступов. Шлифование шкуркой осуществляют на плоском основании или на вращающемся круге, на поверхность которого либо наклеена шкурка, либо закреплена на ней зажимным кольцом.

Для получения качественной поверхности микрошлифа при шлифовании последовательно переходят от одной шкурки к другой с непрерывно уменьшающимися размерами абразивных частиц. Движение образца при шлифовании вручную производят под углом 90° к направлению царапин от

предшествовавшей обработки. При уменьшении размеров абразивных частиц снижается глубина рисок на поверхности и уменьшается толщина деформированного поверхностного слоя, получаемого в результате шлифования.

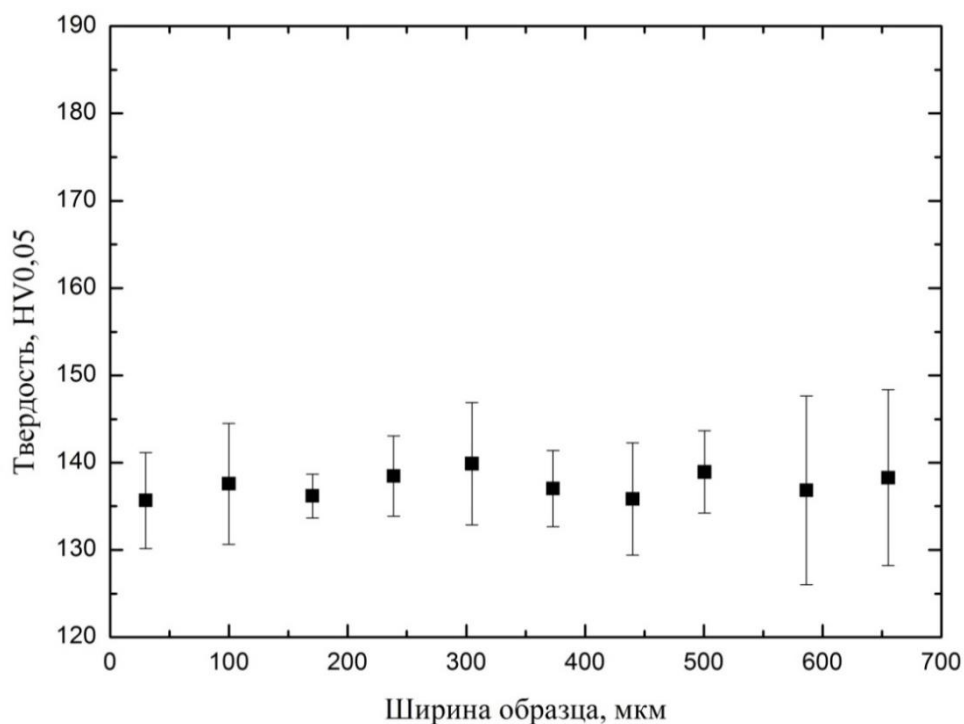


Рисунок 18. Изменение твердости по ширине образца до насыщения

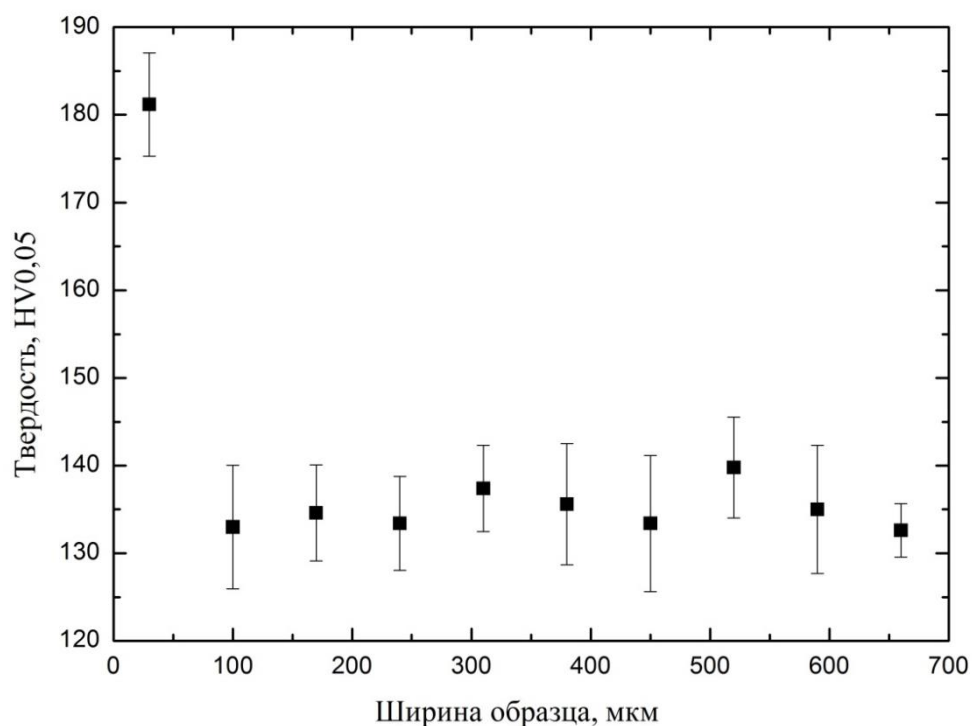


Рисунок 19. Изменение твердости по ширине образца после насыщения

По измерениям твердости по ширине образца видно, что на ширине образца в 50 микрон в образце после насыщения твердость выше, чем в остальном образце, чего не наблюдается в исходном. В литературе есть сведения о том, что гидрид имеет большую твердость, чем ГПУ решетка циркония. Это говорит о том, что на ширине образца 50 микрон был сформирован плотный слой гидридов. По измерениям твердости и рентгенографическому анализу можно сделать вывод, что с помощью метода насыщения из газовой атмосферы при давлении водорода в 2 атм., температуре 420 °С и времени выдержки образца в среде водорода – 330 минут возможно сформировать градиент концентрации гидридов по толщине образца.

Глава 4 Социальная ответственность

В связи с различными чрезвычайными ситуациями происходящими на предприятии, соответственно очень важным является обеспечение безопасности рабочих мест на предприятии, и предотвращение возможных опасных ситуации.

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы на тему «Разработка метода формирования гидридного слоя на внешней поверхности оболочки ТВЭЛа» проводился эксперимент с использованием лабораторной вакуумной установки, применяемой на кафедре общей физики. Для проведения данного эксперимента использовались: ЭВМ, баллоны с газом водородом (H_2), турбомолекулярный и форвакуумный насосы. В результате возникает ряд опасных и вредных факторов, которые могут воздействовать на человека при несоблюдении определенных требований безопасности. Следовательно, требуется разработать комплекс мероприятий технического, организационного, режимного и правового характера, минимизирующих негативные последствия.

4.1 Вредные факторы проектируемой производственной среды

При проведении работ на установке возможно воздействие вредных факторов таких, как [55]:

- 1) Производственный шум.
- 2) Микроклимат.
- 3) Освещенность.

4.1.1 Производственный шум

Производственным шумом называется шум на рабочих местах, на участках или на территориях предприятий, который возникает во время производственного процесса. Следствием вредного действия производственного шума могут быть:

- профессиональные заболевания,
- повышение общей заболеваемости,

- снижение работоспособности,
- повышение степени риска травм и несчастных случаев, связанных с нарушением восприятия предупредительных сигналов,
- нарушение слухового контроля функционирования технологического оборудования,
- снижение производительности труда.

При работе механических и электромеханических изделий часто возникают шумы. Шумы, возникающие при работе экспериментальной установки, связаны с вращением движущихся частей форвакуумного насоса.

Для оценивания шумовой обстановки допускается использовать числовую характеристику, называемую уровнем звука (измеряется в дБ).

В соответствии с ГОСТ 12.1.029-80 [56] допустимый уровень шума при работе, требующей сосредоточенности, работе с повышенными требованиями к процессам наблюдения и дистанционного управления производственными циклами на рабочих местах в помещениях лабораторий с шумным оборудованием, составляет 75 дБ. Следовательно, средства и методы защиты от шума должны обеспечивать уровень шума на рабочем месте не выше 75 дБ. Зоны с уровнем звука 80 дБ должны быть обозначены знаками безопасности согласно ГОСТ 12.4.026-76 [57].

Снижение шума, воздействующего на человека на рабочих местах до значений, не превышающих допустимые, достигается применением средств и методов коллективной защиты, применением средств индивидуальной защиты.

Согласно ГОСТ 12.1.003-83 в качестве средств коллективной защиты применяются следующие методы:

- изменение направленности излучения шума. Установка должна быть сориентирована так, чтобы максимум излучательного шума был направлен в противоположную сторону от рабочего места;
- рациональная планировка помещения позволяет увеличить расстояние до источника шума и уменьшить его воздействие на человека.

Шумные помещения должны располагаться таким образом, чтобы их разделяло несколько других помещений или ограждение с хорошей звукоизоляцией;

- акустическая обработка помещения. Подразумевает облицовку части внутренних ограждающих поверхностей звукопоглощающими материалами или размещение штучных поглотителей (свободно подвешенных объемных тел различной формы);

- применение звукоизоляции. Звукоизоляция достигается созданием герметичной преграды на пути распространения воздушного шума в виде стен, экранов, кожухов, кабин.

Работающих в шумоопасных зонах, администрация снабжает средствами индивидуальной защиты, которыми являются специальные наушники, вкладыши в ушную раковину, противозумовые каски, защитное действие которых основано на изоляции и поглощения звука.

4.1.2 Микроклимат

При работе установки включены охлаждающие системы и одновременно с этим процессом происходит нагрев вакуумной камеры, что приводит к изменению микроклимата в помещении. Параметрами, характеризующими микроклимат, являются [58]:

1. температура воздуха;
2. температура поверхности установки;
3. относительная влажность воздуха;
4. скорость движения воздуха.

Выполняемые работы относятся к Ib категории работ. К данной категории относятся работы с интенсивностью энергозатрат 121-150 ккал/ч (140-174 Вт), производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой и сопровождающиеся некоторым физическим напряжением.

Температура наружных поверхностей технологического оборудования, ограждающих устройств, с которыми соприкасается в процессе труда человек,

не превышает 45 °С.

Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
холодный	21-23	60-40	0,1
теплый	22-24	60-40	0,1

В данном случае, микроклимат в помещении поддерживается: в холодный период года – системой центрального водяного отопления, в теплый период года – системой кондиционирования воздуха. Схема приточно-вытяжной вентиляции показана на рисунке 20.

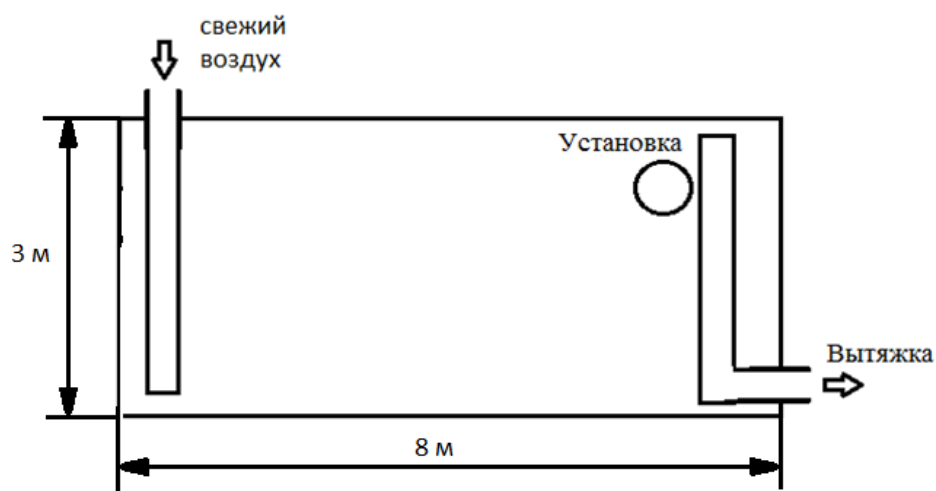


Рисунок 20 – Упрощенная схема вентиляции помещения

В любое время года температура на рабочем месте составляет 20 –24°С, влажность воздуха приблизительно равна 50%, скорость воздуха находится в пределах 0,1 – 0,3 м/с.

4.1.3 Расчет искусственной освещенности

Из светотехнических величин важнейшее значение для гигиенического нормирования, расчета и контроля производственного освещения имеют световой поток, освещенность рабочих поверхностей и коэффициент естественной освещенности. Световым потоком называется поток энергии электромагнитного излучения в видимой части спектра (при длине волны 380...760 нм), оцениваемый глазом по световому ощущению. За единицу светового потока принят люмен (лм) – поток, излучаемый точечным источником света силой 1 кандела (кд), помещенным в вершину телесного угла 1 стерадиан (ср). Кандела (в переводе «свеча») — одна из основных физических единиц в системе СИ.

Для данной рабочей зоны выбираем светильник накладной ЛПО 218/ЛПО 418, крепящийся на поверхность потолка, мощностью 4x18 Вт, производитель «Lightlux». Параметры светильника: 595x595x80 мм.

Пространственное положение светильников в выбранном помещении определяется следующими параметрами: высота помещения $H=3$; расстояние светильников от перекрытия $h_c=0,2$ (м); высота подвеса $h_n=H-h_c$ (м); высота рабочей поверхности над полом $h_p=0,7$ (м); расчетная высота $h= h_n- h_p=2,1$ (м); расстояние между соседними светильниками L (м); расстояние от крайних светильников до стены l (м).

Оптимальное расстояние l от крайнего ряда светильников до стены рекомендуется принимать равным $L/3$.

Наиболее приемлемым расположением светильников является их расположение в шахматном порядке, либо по сторонам квадрата. В данном случае будет использовано размещение по сторонам квадрата.

Люминесцентные светильники при равномерном расположении обычно располагаются рядами. Основным критерием оптимального расположения светильников является величина $\lambda = L/h$ - наивыгоднейшее расстояние между осветительными приборами, уменьшение которого удорожает устройство и

обслуживание освещения, а чрезмерное увеличение ведёт к резкой неравномерности освещённости. Данная величина зависит от кривой света светильника. Для выбранного светильника характерна кривая типа Д, где $\lambda = 1,2 \dots 1,6$. При выполнении расчета принимаем $\lambda = 1,4$.

Расстояние L между светильниками определяется как (4.1):

$$L = \lambda \cdot h = 1,4 \cdot 2,1 = 2,94. \quad (4.1)$$

Расстояние от крайних светильников до стены (4.2):

$$l = L/3 = 2,94/3 = 0,98 \text{ (м)}. \quad (4.2)$$

Количество рядов светильников определим по формуле (4.3):

$$N_A = A/L = 8/2,94 = 2,72 \approx 3, \quad (4.3)$$

где A – ширина помещения, L – расстояние между светильниками.

Так как длина помещения составляет 5 м, учитывая то, что расстояние между светильниками равно 2,94 м, светильники будут располагаться по длине в два ряда.

Расчёт общего равномерного освещения. Для произведения расчёта общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности используется метод коэффициента светового потока, который учитывает световой поток, отражённый от потолка и стен. Световой поток лампы накаливания или группы люминесцентных ламп светильника определяется по формуле:

$$\Phi = \frac{E_n \cdot S \cdot K_z \cdot z}{N \cdot n \cdot \eta} \cdot 100 = \frac{300 \cdot 40 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{4 \cdot 6 \cdot 53} \cdot 100 = 1556 \text{ (лм)}, \quad (5.5)$$

где E_n – нормируемая минимальная освещенность (лк); S – площадь освещаемого помещения (м^2); K_z – коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника; для помещения с малым выделением пыли принимаем равным 1,5; z – коэффициент неравномерности освещения, отношение $E_{\text{ср}}/E_{\text{min}}$ для люминесцентных ламп при расчётах берётся равным 1,1; N – число ламп в светильнике (шт); n – число светильников (шт); η – коэффициент использования светового потока (%).

Коэффициент использования светового потока показывает, какая часть

светового потока лампы попадает на рабочую поверхность. Он зависит от индекса помещения i , типа светильника, высоты светильников над рабочей поверхностью h и коэффициентов отражения стен ρ_c и потолка $\rho_{\text{п}}$.

Индекс помещения определяется по формуле (4.6):

$$i = \frac{S}{H \cdot (A+B)} = \frac{40}{3 \cdot (5+8)} = 1,03. \quad (4.6)$$

Для коэффициентов отражения берутся приблизительные значения: $\rho_c = 50\%$ и потолка $\rho_{\text{п}} = 30\%$. Значения коэффициента использования светового потока η светильников с люминесцентными лампами примем равным 53% .

Согласно полученным расчетным данным, выбираем ближайшую стандартную лампу – Philips TL-D 18W/54-765 мощностью 18 Вт. Характеристики такого типа ламп приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Характеристики лампы Philips TL-D 18W/54-765

Артикул	P, [Вт]	Φ, лм	Цветовая температура	Цоколь	L, мм	D, мм
TL-D 18W/54-765	18	1450	6500	G13	590	26

В соответствии с таблицей 4.2 $\Phi_{\text{л}}=1450$ лм, тогда:

$$n = \frac{E_{\text{н}} \cdot S \cdot K_3 \cdot z}{N \cdot \Phi \cdot \eta} = \frac{300 \cdot 40 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{1450 \cdot 0,53} = 26. \quad (4.7)$$

$$\Phi_{\text{рас}} = \frac{300 \cdot 40 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{26 \cdot 0,53} = 1437,$$

$$\frac{\Phi_{\text{рас}} - \Phi_{\text{л}}}{\Phi_{\text{рас}}} = \frac{1437 - 1450}{1437} = 0,1\% < 10\%.$$

Проведенный расчет вполне соответствует реализованному в настоящее время варианту освещения в помещении – шесть светильников с четырьмя люминесцентными лампами по 18 Вт. План расположения светильников в помещении приведен на рисунке 21 является определением требуемой мощности электрической осветительной установки для создания заданной освещенности.

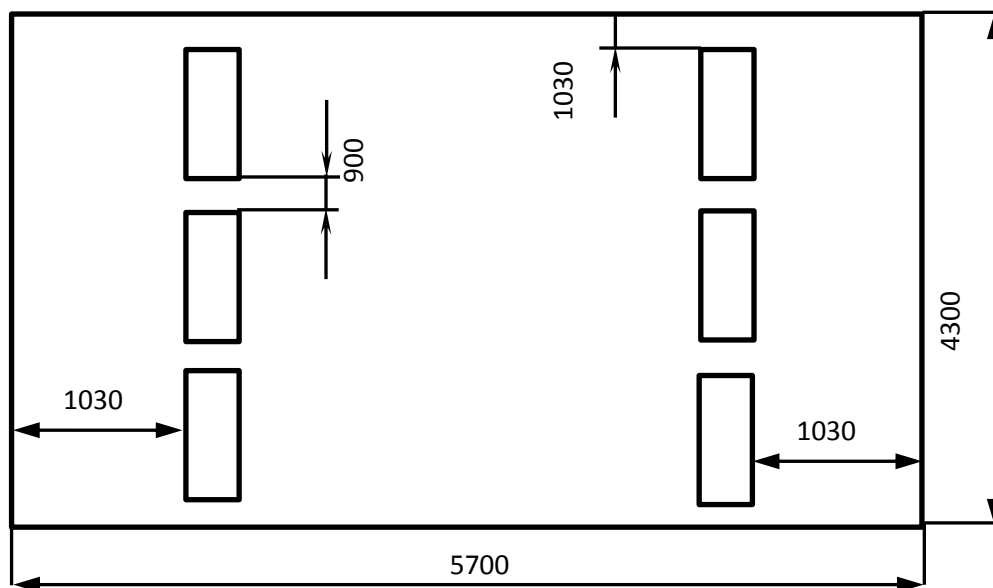


Рисунок 21 – Схема размещения светильников в помещении

4.2 Выявление опасных факторов проектируемой производственной среды

При выполнении работы возможно воздействие следующих опасных производственных факторов:

- 1) Электрическое напряжение.
- 2) Пожаровзрывоопасность.
- 3) Сосуды, находящиеся под высоким давлением.

4.2.1 Электробезопасность

Неисправность проводки установки может стать причиной поражения электрическим током. Прохождение тока может вызывать у человека раздражение и повреждение различных органов. Пороговый не отпускающий ток составляет 50 Гц (6-16мА). Защита от воздействия электрического тока осуществляется путем проведения организационных, инженерно-технических и лечебно-профилактических мероприятий [59].

Электробезопасность должна обеспечиваться конструкцией электроустановок, техническими способами и средствами защиты.

Электроустановки и их части выполнены таким образом, чтобы работающие не подвергались опасным и вредным воздействиям электрического тока и электромагнитных полей, и соответствовать требованиям электробезопасности.

Помещения разделяются на три класса опасности. Используемое помещение относится к классу с повышенной опасностью, так как в данном помещении возможно одновременное прикосновения человека к имеющей соединение с землей металлоконструкцией здания с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования с другой стороны. Граничные значения напряжений, при повышении которых требуется выполнение защиты от косвенного прикосновения для помещений с повышенной опасностью составляет >25 В переменного тока и >60 В постоянного тока [60].

Для предотвращения поражения электрическим током следует проводить следующие мероприятия:

1. содержать оборудование в работоспособном состоянии и эксплуатировать его в соответствии с нормативно-техническими документами;
2. своевременно проводить техническое обслуживание;
3. соблюдать технику безопасности при работе с оборудованием;
4. проводить инструктаж для работников.

В качестве мероприятий по обеспечению безопасности работы с электрооборудованием могут быть использованы:

1. изоляция токоведущих частей;
2. малое напряжение в электрических цепях;
3. защитное заземление, зануление, защитное отключение;
4. применение разделяющих трансформаторов;
5. использование оболочек и блокировок для предотвращения возможности случайного прикосновения к токоведущим частям и ошибочных действий или операций;
6. защитные средства и предохранительные приспособления.

Индивидуальные защитные средства подразделяются на основные и дополнительные. К основным защитным изолирующим средствам в установке

до 1000 В относятся изолирующие штанги, клещи изолирующие и электроизмерительные указатели напряжения, диэлектрические перчатки, слесарно-монтажный инструмент с изолирующими рукоятками. К дополнительным изолирующим защитным средствам относятся средства, которые дополняют основные средства защиты, а также могут служить для защиты от напряжения прикосновения и шагового напряжения. Дополнительными защитными средствами в установках до 1000 В служат диэлектрические галоши, диэлектрические коврики, изолирующие подставки [61].

4.2.2 Пожаровзрывобезопасность

Используемое помещение относится к категории Б по пожарной и взрывопожарной опасности, так в данном помещении расположены горючие легковоспламеняемые материалы, также баллоны с газами. Помещение, в котором находится установка, оснащено аварийными выходами, обеспечено средствами пожаротушения, сигнализацией оповещения пожара. План эвакуации представлен на рисунке 22.

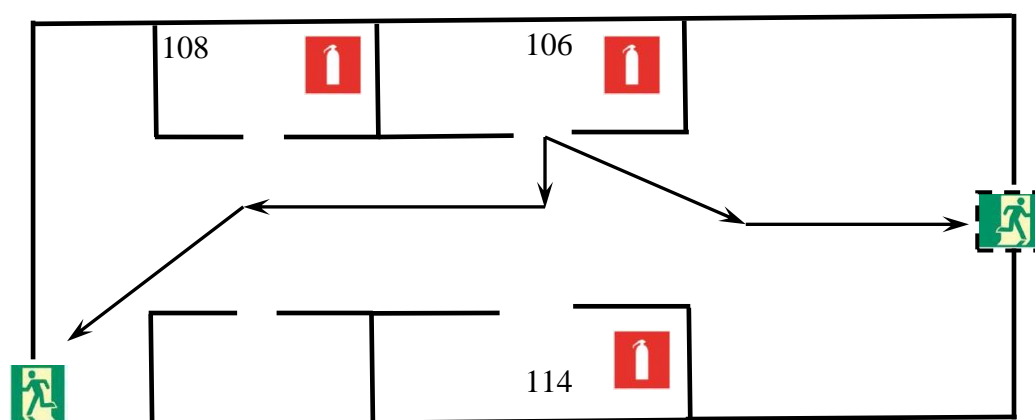


Рисунок 22 – План эвакуации рабочих помещений

Работники допускаются к работе только после прохождения инструктажа о мерах пожарной безопасности, во всех помещениях вывешены таблички с указанием номера телефона вызова пожарной охраны и таблички с направлением пути эвакуации и план эвакуации.

В лаборатории расположены огнетушители порошковые ОП-4(з)-АВСЕ-02 (предназначен для тушения твердых, жидких и газообразных веществ и электроустановок до 1000 вольт) [62, 63].

Причинами возникновения пожара могут быть:

1. Нарушение правил эксплуатации электрического оборудования;
2. Курение в неустановленных местах;
3. Перегрузка электрических сетей;
4. Нарушение правил пожарной безопасности;
5. Неправильное хранение возгорающихся веществ.

При работе на установке используются баллоны с аргоном и азотом. Эксплуатация баллонов связана с рядом опасных факторов. Наполненный сжатым газом баллон обладает большой энергией, и если в нем образуется отверстие, то газ истекает из него с критической скоростью.

Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, находящихся под высоким давлением описаны. В целях безопасности, выполнены общие правила эксплуатации баллонов:

1. Баллоны установлены вертикально и надежно закреплены в таком положении металлическим хомутом, а также защищены от падения на них сверху каких либо предметов.

2. Баллоны с газом, устанавливаемые в помещении находятся от радиаторов отопления и других отопительных приборов на расстоянии не менее 1 метра и от печей и других источников тепла с открытым огнем не менее 5 метров. При невозможности выдержать необходимое расстояние, необходимо применять защитные экраны, предохраняющие баллоны от местного разогрева, располагая баллон не ближе 0.1 м от экрана. Установленные баллоны также необходимо предохранять от действия солнечных лучей [64, 65].

3. Выпуск газов из баллона производится через редуктор, предназначенный исключительно для данного газа и окрашенный в соответствующий цвет.

4.2.3 Сосуды, находящиеся под высоким давлением

Для получения экспериментальных образцов требуется газ водород (H_2),

который находится в баллонах под высоким давлением. Наполненный сжатым газом баллон обладает большой энергией, и если в нем образуется отверстие, то газ истекает из него с критической скоростью. Разрушение баллонов может явиться причиной взрыва образовавшейся в нем взрывной среды.

Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, находящихся под высоким давлением описаны в ПБ10-115-96, а также ГОСТ 12.2.085-82 [66]. Сосуд считается котлонадзорным, если его вместимость не превышает $0,025 \text{ м}^3$ (25 л) независимо от давления и если он используется для научно-экспериментальных целей. Также котлонадзорными считаются сосуды и баллоны вместимостью не более $0,025 \text{ м}^3$ (25 л), у которых произведение давления в МПа (кгс/см^2) на вместимость в м^3 (литрах) не превышает 0,02 (200), а также сосуды, работающие под давлением свыше $0,7 \text{ кгс/см}^2$ (без учета гидростатического давления), цистерны и бочки для перевозки сжиженных газов, давление паров которых при температуре до 50°C превышает $0,7 \text{ кгс/см}^2$; сосуды, цистерны для хранения, перевозки сжиженных газов, жидкостей и сыпучих тел без давления, не опорожняемые под давлением газа свыше $0,7 \text{ кгс/см}^2$, баллоны, предназначенные для перевозки и хранения сжатых, сжиженных и растворенных газов с рабочим давлением свыше $0,7 \text{ кгс/см}^2$. Лабораторные сосуды имеют вместимость $0,040 \text{ м}^3$ (40л) и используются в научных целях, поэтому считаются котлонадзорными.

При утечке газа из баллона возможно удушье, отравление, а также возгорание и взрыв, поэтому необходимо знать и неукоснительно соблюдать правила пользования газовыми приборами. К работе с баллонами допускается только персонал, обученный работе с сосудами высокого давления и редукторами.

4.3 Чрезвычайные ситуации

В здании, где была разработана бакалаврская работа, возможны следующие чрезвычайные ситуации:

- пожар;
- взрывы;
- террористические акты и диверсии;
- природные чрезвычайные ситуации (мороз);
- проникновение посторонних лиц на рабочее место.

Данное здание построено из кирпича, следовательно, наиболее типичной ЧС является пожар.

Помещение снабжено противопожарной защитой, направленной на предотвращение воздействия на людей опасных факторов пожара и ограничения материального ущерба от него.

Основы противопожарной защиты предприятий определены в стандартах ГОСТ 12.1.004-76 и ГОСТ 12.1.010-76.

Пожары представляют особую опасность, так как сопряжены с большими материальными потерями.

Возникновение пожара при работе с электронной аппаратурой может быть по причинам как электрического, так и неэлектрического характера.

Причины возникновения пожара неэлектрического характера:

- а) халатное неосторожное обращение с огнем (курение, оставленные без присмотра нагревательные приборы, использование открытого огня);
- б) самовоспламенение и самовозгорание веществ.

Причины возникновения пожара электрического характера: короткое замыкание, перегрузки по току, искрение и электрические дуги, статическое электричество и т. п.

При эксплуатации ЭВМ возможны возникновения следующих аварийных ситуаций:

- короткие замыкания;
- перегрузки;
- повышение переходных сопротивлений в электрических контактах;
- перенапряжение;

- возникновение токов утечки.

При возникновении аварийных ситуаций происходит резкое выделение тепловой энергии, которая может явиться причиной возникновения пожара.

Мероприятия по пожарной безопасности делятся на пожарную профилактику и тушение пожаров.

Меры пожарной профилактики следующие могут быть следующие:

- строительно-планировочные;
- технические;
- организационные.

Строительно-планировочные меры определяются огнестойкостью зданий и сооружений (выбор материалов конструкций по степени огнестойкости). В зависимости от степени огнестойкости определяются наибольшие дополнительные расстояния от выходов для эвакуации при пожарах.

Технические меры:

- соблюдение противопожарных норм для систем отопления, освещения, электрического обеспечения и т.д.
- использование разнообразных защитных систем;
- соблюдение параметров технологических процессов и режимов работы оборудования.

Организационные меры представляют собой проведение инструктажа персонала по пожарной безопасности, соблюдение мер пожарной безопасности.

Для предупреждения возникновения пожара необходимо соблюдать следующие правила пожарной безопасности:

- правильная эксплуатация оборудования;
- правильное содержание зданий и территорий;
- противопожарный инструктаж рабочих и служащих;
- обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности;
- издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации;

- соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, освещения;
- правильное размещение оборудования;
- своевременный профилактический осмотр, ремонт и испытание оборудования.

Согласно СНиП 21–01–97 , по взрывоопасности помещение относится к классу В и по пожароопасности к классу В. К этому классу относятся помещения, в которых опасные состояния не имеют места при нормальной эксплуатации, а возможны только в результате аварии или неисправностей.

В помещении для тушения возгораний предусмотрено использование углекислотного огнетушителя ОУ–3 для тушения возгораний классов А, В и электроустановок до 1000 В при температуре воздуха –40°С до +50°С. Таким образом, состояние помещения соответствует нормам и пожаробезопасности.

Рассмотрим такую природную чрезвычайную ситуацию, как сильный мороз, которая очень актуальна в нашем регионе.

При отключении теплоснабжения в жилом доме по возможности следует покинуть неотапливаемое помещение. При необходимости остаться в помещении, следует надеть теплые вещи и головной убор (30% тепла теряется при непокрытой голове). Воспрещается употребление спиртного: при расширении сосудов происходит повышенная теплоотдача. Следует обогреться грелками и бутылками с горячей водой, а так же закрыть окна одеялами, оставив небольшой просвет для дневного освещения. Нужно избегать использования открытого огня в закрытых помещениях – это может привести к отравлению угарным газом или пожару. Не следует использовать для обогрева газовые, спиртовые горелки и другие приборы – это может привести к пожару. Если для обогрева помещения используется электрообогреватель, устанавливаться подобные приборы должны на негорючем основании, вдалеке от легковоспламеняющихся предметов. Опасно включать в одну розетку

одновременно несколько электроприборов, так как это может привести к перегрузке электросети, нагреву электропроводки и пожару.

Так же возможна такая техногенная чрезвычайная ситуация как диверсия.

Диверсия – совершение взрыва, поджога или иных действий, направленных на разрушение или повреждение предприятий, сооружений, путей и средств сообщения, средств связи, объектов жизнеобеспечения населения в целях подрыва экономической безопасности и обороноспособности Российской Федерации (ч.1 ст. 281 УК РФ).

Меры безопасности при угрозе проведения террористических актов:

- следует действовать в соответствии с рекомендациями, полученными по системе оповещения.
- быть предельно внимательным к окружающим подозрительным предметам. Не прикасаться к ним. О данных предметах следует сообщить компетентным органам.
- при обнаружении подозрительного предмета в подъезде своего дома или на придомовой территории – следует опросить соседей, возможно, он принадлежит им. Если владелец не установлен - немедленно сообщить о находке в отделение полиции.

Для предотвращения диверсии на предприятиях введен пропускной режим совместно с системой видеонаблюдения. Так же некоторые объекты ограждены.

Во всех перечисленных случаях:

- не следует трогать, вскрывать и передвигать находку;
- следует зафиксировать время обнаружения находки;
- постараться сделать так, чтобы люди отошли как можно дальше от опасной находки;
- обязательно дождаться прибытия оперативно-следственной группы.

Следует помнить: внешний вид предмета может скрывать его настоящее назначение. В качестве камуфляжа для взрывных устройств используются обычные бытовые предметы; сумки, пакеты, свертки, коробки, игрушки и т.п.

Проникновение посторонних лиц на рабочее место исключено созданием блокировочного кода на дверных отделениях во все помещения лаборатории.

4.4 Охрана окружающей среды

Вопрос об охране окружающей среды является актуальным и крайне важным в настоящее время, так как с каждым годом увеличивается количество веществ, загрязняющих окружающую среду.

В ходе данной работы были использованы следующие ресурсы:

1. электроэнергия для работы нанотвердомера и компьютера;
2. бумага;
3. титановые образцы.

С точки зрения потребления ресурсов компьютер потребляет сравнительно небольшое количество электроэнергии, что положительным образом сказывается на общей экономии потребления электроэнергии в целом.

При написании ВКР вредных выбросов в атмосферу, почву и водные источники не производилось, радиационного заражения не произошло, чрезвычайные ситуации не наблюдались, поэтому не оказывались существенные воздействия на окружающую среду, и никакого ущерба окружающей среде не было нанесено [67].

В связи с тем, что огромная масса информации содержится на бумажных носителях, уничтожение бумаги играет очень важную роль. Среди основных методов уничтожения, которые применяются на сегодняшний день для бумажных документов, следует отметить следующие:

1. Сжигание документов.
2. Шредирование.
3. Закапывание.

4. Химическая обработка.

Для утилизации титановых проб используют специальные контейнеры для неорганических материалов. Ввиду того, что титан не токсичен, предварительной обработке перед утилизацией он не подвергается. Вывоз отработанных проб продуктов осуществляется специализированными службами.

4.5 Перечень нормативных документов

Для разработки комплекса решений для обеспечения безопасности пользователя рабочего места были использованы следующие нормативно-правовые акты:

- ГОСТ 12.0.003-74 (1999) ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы классификации;
- ГОСТ 12.1.003-83 (1991) ССБТ. Шум. Общие требования безопасности; Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля;
- ГОСТ 12.1.009-76 (1999) ССБТ. Электробезопасность. Термины и определения;
- ГОСТ 12.1.019-79 (1996) ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты;
- ГОСТ 12.1.036-81 (1996) ССБТ. Шум. Допустимые уровни в жилых и общественных зданиях;
- СН 2.2.4/2.1.8.562-96 Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки;
- СНиП 23-05-95 Естественное и искусственное освещение;
- СН-3223-85. Санитарные нормы допустимых уровней шума на рабочих местах;
- СН 2.2.4/2.1.8.562-96 Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки;
- СНиП 23-03-03 Защита от шума.

Выводы

В данном разделе были рассмотрены вопросы обеспечения безопасных, безвредных и пожароопасных условий труда, необходимых при выполнении и написании выпускной работы. Были выделены факторы, оказывающие вредное и опасное влияние на студента в ходе написания работы.

В итоге было получено, что помещение, где осуществлялся эксперимент, является помещением без повышенной опасности по степени вероятности поражения электрическим током.

В результате анализа опасных и вредных факторов можно сделать вывод, что помещение, где был разработан дипломный проект, принадлежит к категории помещений без повышенной опасности по степени вероятности поражения электрическим током.

Для создания комфортных условий относительно микроклимата помещения необходимо, наряду с естественной, применять искусственную (механическую) вентиляцию, например, установить кондиционеры.

По состоянию пожаробезопасности помещение соответствует нормам.

5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсоснабжение

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

Целью данной главы является расчет затрат, необходимых для проведения данной выпускной квалификационной работы.

5.1. Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

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

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты, численность групп может варьироваться.

По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

Составлен перечень этапов и работ в рамках проведения научного

исследования и распределение исполнителей по видам работ (таблица 5.1).

Таблица 5.1 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	Подбор и изучение материалов по теме	Руководитель
	Календарное планирование работ по теме	Руководитель
Теоретические и экспериментальные исследования	Подготовка образцов к эксперименту	Студент
	Проведение экспериментов по насыщению водородом	Студент
	Проведение исследования с помощью РСА	Инженер
	Проведение исследования на микротвердомере	Инженер
	Обработка результатов	Студент
	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Студент
Обобщение и оценка результатов	Оценка эффективности полученных результатов	Студент
	Определение целесообразности проведения работ	Руководитель
Оформление отчета	Составление пояснительной записки	Студент

5.2. Планирование управления научно-техническим проектом

В рамках планирования научного проекта необходимо построить календарный график проекта. Для планирования была выбрана диаграмма Ганта, которая представляет собой тип столбчатых диаграмм (гистограмм), который используется для иллюстрации календарного плана проекта. Для построения диаграммы Ганта, длительность каждого из этапов работ приведены в таблице 5.2.

Продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях T_{ki} рассчитывалось по формуле:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (5.1)$$

где T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях; $k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле 9:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (5.2)$$

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

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 66} = 1,22.$$

Для расчета T_{pi} необходимо необходима оценка среднего значения трудоемкости $t_{\text{ож}i}$:

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\text{mini}} + 2t_{\text{max}i}}{5}, \quad (5.3)$$

где $t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн; t_{mini} – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы чел.-дн; $t_{\text{max}i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы чел.-дн. Например:

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3 \cdot 5 + 2 \cdot 10}{5} = 7.$$

После получения среднего значения трудоемкости, можно определить

продолжительность для каждой работы T_p в рабочих днях. При расчете значения продолжительности, учитывается параллельность выполнения работы несколькими исполнителями. Для определения продолжительности используется выражение:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{ч_i}, \quad (5.4)$$

$$T_{pi} = \frac{7}{1} = 7, T_{ki} = 7 \cdot 1,22 = 8,54.$$

В таблице 5.2 приведены временные показатели проведения научного исследования.

Таблица 5.2 – Временные показатели проведения научного исследования




Название работы	Ис.	Трудоемкость			Длительность в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}
		t_{min} , чел.- дни	t_{max} , чел.- дни	$t_{ожі}$, чел.- дни		
Составление технического задания	Р	5	10	7	7	9
Изучение материалов	С	40	60	48	48	59
Календарное планирование	С	3	6	4	4	5
Подготовка образцов	С	10	12	11	11	13
Насыщение водородом	С	2	3	2	2	2
Проведение исследования с помощью РСА	И	1	3	2	2	2
Проведение исследования на микротвердомере	И	2	3	2	2	2
Обработка результатов	С	50	70	58	58	71
Сопоставление полученных результатов с теор.	С	50	70	58	58	71
Оценка эффективности полученных результатов	Р+ С	50	70	58	29	35
Определение целесообразности работы	С	80	100	88	88	107
Составление	С+	70	90	78	39	48

пояснительной записки	Р					
-----------------------	---	--	--	--	--	--

Диаграмма Ганта строится в виде таблицы 5.3.

Таблица 5.3 – Календарный план-график проведения исследовательской работы

Вид работ	Исполнители	Т _{кл} , кал.дн.	Продолжительность выполнения работ														
			фев.		мар.		апр.		май.		июл.						
			1	2	1	2	1	2	1	2	1	2					
Составление технического задания	Р	9	█														
Подбор и изучение материалов по теме	С	59	█	█	█	█											
Календарное планирование работ	С	5	█														
Подготовка образцов к эксперименту	С	13		█													
Проведение экспериментов по насыщению водородом	С	2				█											
Проведение исследования с помощью РСА	И	2				█											
Проведение исследования на микротвердомере	И	2				█											
Обработка результатов	С	71			█	█	█	█	█								
Сопоставление результатов экспериментов	С	71				█	█	█	█	█	█						
Оценка эффективности полученных результатов	Р+С	35								█	█	█	█				
Определение целесообразности проведения ОКР	С	107			█	█	█	█	█	█	█	█	█	█			
Составление пояснительной записки	С+Р	48												█	█	█	█

-  - научный руководитель;
-  - инженер;
-  - студент.

5.3. Бюджет научного исследования

При планировании бюджета научного исследования учитывается полное и

достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения. В процессе формирования бюджета используется следующая группировка затрат по статьям:

1. материальные затраты исследования;
2. основная заработная плата исполнителей темы;
3. дополнительная заработная плата исполнителей темы;
4. отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
5. затраты научные и производственные командировки;
6. накладные расходы.

5.4. Расчет материальных затрат исследования

Данная статья включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта:

- приобретаемые со стороны сырье и материалы, необходимые для создания научно-технической продукции;
- покупные материалы, используемые в процессе создания научно-технической продукции для обеспечения нормального технологического процесса и для упаковки продукции или расходуемых на другие производственные и хозяйственные нужды;
- покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, подвергающиеся в дальнейшем монтажу или дополнительной обработке;
- сырье и материалы, покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, используемые в качестве объектов исследований (испытаний) и для эксплуатации, технического обслуживания и ремонта изделий – объектов испытаний (исследований).

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расxi}, \quad (5.5)$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования; $N_{расxi}$ – количество материальных ресурсов

i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.); C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.); k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Таблица 5.4 – Материальные затраты

Наименование	Ед.измерения	Кол-во	Цена за ед.изм., руб.	Цена, руб.	Затраты на материалы, руб.
Основные материалы					
Образцы циркония	Шт.	5	4,1	20,4	23,46
Вспомогательные материалы					
Шлифовальная бумага	Шт.	30	4,3	129,0	148,35
Спирт	Литр	0,2	140	28	32,2
Дополнительные материалы					
Резиновые перчатки	Шт.	20	13	260	299
Халат	Шт.	1	630	630	724,5
Итого:	1227,51				

5.5. Основная заработная плата

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением проекта, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату. Заработная плата рассчитывается по формуле 5.6:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (5.6)$$

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

Основная заработная плата ($Z_{осн}$) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по формуле 5.7:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{раб}}, \quad (5.7)$$

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}}, \quad (5.8)$$

где $Z_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года (при шестидневной неделе $M=10,4$); $F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала ($F_{\text{д}}=1794$).

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{тс}} \cdot k_{\text{р}}, \quad (5.9)$$

где $Z_{\text{тс}}$ – заработная плата согласно Положению по оплате труда; $k_{\text{р}}$ – районный коэффициент ($k_{\text{р}} = 1,3$ для Томска). Пример расчета основной заработной платы:

$$Z_{\text{м}} = 14584,32 \cdot 1,3 = 18959,62$$

$$Z_{\text{дн}} = \frac{18959,62 \cdot 10,4}{1794} = 109,19$$

$$Z_{\text{осн}} = 109,19 \cdot 9 = 989,19$$

5.6. Дополнительная заработная плата

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

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

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} \quad (5.10)$$

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

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

5.7. Отчисления на социальные нужды

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (5.11)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды ($k_{\text{внеб}} = 0,27$). Например:

$$C_{\text{внеб}} = 0,27 \cdot (16165,29 + 923,22) = 4613,90.$$

5.8. Расчет затрат на научные и производственные командировки

Затраты на научные и производственные командировки исполнителей определяются в соответствии с планом выполнения темы и с учетом действующих норм командировочных расходов различного вида и транспортных тарифов, а также организационных взносов на конференции. По данной работе не было затрат на научные и производственные работы.

5.9. Накладные расходы

Накладные расходы определяются как:

$$Z_{\text{накл}} = \left(\frac{\text{сумма статей}}{7} \right) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (5.12)$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы ($k_{\text{нр}} = 16\%$).

$$Z_{\text{накл}} = \left(\frac{1227,51 + 16165,29 + 923,22 + 4613,90}{7} \right) \cdot 0,16 = 524,11.$$

Данные расчеты заработной платы исполнителей по каждому пункту приведены в таблице 5.5.

Таблица 5.5 – Расчет заработной платы исполнителей

Вид работ	Исп.	T _{кл} кал дн.	З _{ТС} , руб.	З _м , руб.	З _{дн} , руб.	З _{осн} , руб.	З _{доп} , руб.	З _п , руб.
Составление задания	Р	9	14584,3	18959,6	109,9	989,19	153,87	1143,06
Изучение материалов	С	59	1750	2275	13,1	778,21	-	778,21
Планирование работ по теме	С	5	1750	2275	13,1	65,95	-	65,95
Подготовка образцов	С	13	1750	2275	13,1	171,47	-	171,47
Наводораживание	И	2	14584,3	18959,6	109,9	219,62	153,87	373,49
Проведение исследования с помощью РСА	И	2	14584,3	18959,6	109,9	219,62	153,87	373,49
Проведение исследования на микротвердомере	И	2	14584,3	18959,6	109,9	219,62	153,87	373,49
Обработка результатов	С	71	1750	2275	13,1	936,49	-	936,49
Оценка результатов	С	71	1750	2275	13,1	936,49	-	936,49
Оценка эффективности	Р+	35	14584,3	18959,6	109,9	3846,85	153,87	4000,72
	С		1750	2275	13,1	461,65	-	461,65
Оценка работы	С	10	1750	2275	13,1	1411,33	-	1411,33
Составление отчета	С+	48	14584,3	18959,6	109,9	5275,68	153,87	5429,55
	Р		1750	2275	13,1	633,12	-	633,12

Расчет бюджета затрат в результате проведения научно-исследовательской работы представлен в таблице 5.6.

Таблица 5.6 Бюджет затрат

Наименование статьи	Сумма, руб.
Материальные затраты	1227,51
Специализированное оборудование	0
Затраты на научные и производственные командировки	0

Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	16165,29
Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	923,22
Отчисления во внебюджетные фонды	4613,90
Накладные расходы	524,11
Бюджет затрат	23454,03

По данной работе не было затрат на научные и производственные командировки, также не закупалось специализированное оборудование. Таким образом, была произведена калькуляция затрат необходимых для выполнения выпускной квалификационной работы, которая составила 23454,03 рублей.

Выводы

Таким образом, при планировании научно-исследовательской работы был произведен подсчет бюджета исследования. В процессе формирования бюджета были использованы группировки по материальным затратам (1227,51 руб), затратам по основной заработной плате исполнителей тем (16165,29 руб), затратам по дополнительной заработной плате (923,22 руб), отчислениям во внебюджетные фонды (4613,90 руб) и накладным расходам (524,11 руб). Всего бюджет составил 23454,03 руб.

Проведение такого рода оценки коммерческой ценности необходима, чтобы оценить состояние и перспективы проводимых научных исследований.

Заключение

При непосредственном контакте циркониевых оболочек с водой при высокой температуре возникают проблемы, связанные с окислением и поглощением водорода. В процессе эксплуатации твэлов могут возникать различные деградирующие явления с участием водорода (водородное охрупчивание, образование крупных массивных гидридов и замедленное гидридное растрескивание).

Программой дальнейшего развития атомной энергетики России до 2020 г. поставлена задача повышения эффективности использования топлива. Для выполнения данной задачи необходимо изучение явления равномерно распределенных зон концентрации гидридов в поверхностном слое оболочек твэлов. Исследования механических свойств таких оболочек в дальнейшем поможет увеличить время эксплуатации твэлов и избежать аварии, связанные с данным процессом.

В данной работе представлены метод и режим насыщения, с помощью которого возможно формирование градиента содержания гидридов, на установке PCI «Gas Reaction Controller» методом Сивертса. Также в работе были получены образцы с плотным содержанием гидридов вблизи его внешней поверхности и проведены исследования этих образцов с целью подтверждения работоспособности данного метода насыщения.

Список литературы

1. Блюменталь У. Б. Химия циркония / Блюменталь У.Б. – М.: Иностранная литература, 1962. – С. 30.
2. Тырышкина А. А. Накопления водорода в циркониевых сплавах // VII международная конференция студентов и молодых ученых «Перспективы развития фундаментальных наук» – С. 194.
3. Черняева Т. П., Красноруцкий В. С., Грицина В. М. Цирконий и циркониевые сплавы. Атлас структур (поры в цирконии и циркониевых сплавах) // Вопросы атомной науки и техники. – 2005 г. – С. 125.
4. Шмаков А.А., Калинин Б.А., Ананьин В.М., Буланов А.А., Пименов Ю.В., Тимошин С.К, Новиков В.В., Маркелов В.А. Предельная растворимость водорода в сплавах циркония // Тез. докл. II Рос. науч. конф. «Материалы ядерной техники» (МАЯТ-2), Агой, Краснодарский край, 2005. – С. 28.
5. Иванова С. В. и др. Пути решения проблемы водородного охрупчивания циркониевых изделий // Труды. – С. 51-75.
6. Колачев Б. А. Водородная хрупкость металлов / Б. А. Колачев – М.: Металлургия, 1985. – С. 217
7. Ильин А. А., Гольцова М. В. Водородная обработка материалов: Исторический аспект и теоретические основы (обзор современного состояния) // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2008. –№. 6. – С. 3-6.
8. Ильин А. А., Колачев Б. А., Носов В. К., Мамонов А. М. Водородная технология титановых сплавов. М.: МИСиС, 2002. – С. 392
9. Колачев Б. А., Шалин Р. Е., Ильин А. А. Сплавы-накопители водорода. Справочник. М.: Металлургия. 1995. – С. 384
10. Кудияров В. Н. Формирование в оболочках твэлов градиента концентрации водорода и гидридов по толщине стенки // Физико-технические проблемы в науке, промышленности и медицине: сборник тезисов докладов VII Международной научно-практической конференции, г. Томск, 3-6 июня 2015 г. Томск, 2015. – 2015. – С. 67.

11. Методы исследования систем металл-водород: И.П. Чернов, Ю.П. Черданцев, Ю.И. Тюрин. - М.: Энергоатомиздат; Томск: STT, 2004. – С. 270.
12. Chernov I., Tjurin J., Cherdantsev Y., Kroning M., Vaumbach H. Hydrogen migration and release in metals and alloys at heating and radiation effects // Intern. J. Hydrogen Energy. V. 24. 1999. P. 359-362.
13. Гутцов Н.Т. // Труды научно-технического общества черной металлургии. М.: Металлургиздат, 1995. Т.4. – С. 112.
14. Галактионова Н.А. Водород в металлах. М.: Металлургиздат, 1985. – С. 157
15. Винник П. Г., Морозова О. Н Материаловедение: учебно-методическое пособие. – Ростов н/д: ИПО ПИ ЮФУ. 2007. – С. 147.
16. K.A. Terrani, M. Balooch, D. Wongsawaeng, S. Jaiyen, and D.R. Olander. The kinetics of hydrogen desorption from and adsorption on zirconium hydride // Journal of Nuclear Materials. 2010, vol. 397, №1-3, P. 61- 68.
17. E. Tulk, M. Kerr, and M. R. Daymond. Study on the effects of matrix yield strength on hydride phase stability in zircaloy-2 and Zr 2.5 wt% Nb // Journal of Nuclear Materials. 2012, vol. 425, №1-3, P. 93-104.
18. E. Zuzek, J.P. Abriata, A. San-Martin, and F.D. Manchester. The H-Zr (Hydrogen-Zirconium) system // Bulletin of Alloy Phase Diagrams. 1990, vol. 11, №4, P. 385-395.
19. E. Zuzek. On equilibrium in the Zr-H system // Surface and Coatings Technology. 1986, vol. 28, №3-4, P. 323-338.
20. И.О. Башкин, М.Ф. Нефедова и В.Г. Тиссен. Сверхпроводимость в системе Zr-D под давлением // Физика твердого тела. 2000, т. 42, №1, с. 12-15.
21. E. Hong, D.C. Dunand, and H. Choe. Hydrogen-induced transformation superplasticity in zirconium // International Journal of Hydrogen Energy. 2010, vol. 35, №11, P. 5708-5713.
22. N. Dupin, I. Ansara, C. Servant, C. Toffolon, C. Lemaignan, and J. C. Brachet. A thermodynamic database for zirconium alloys // Journal of Nuclear Materials. 1999, vol. 275, №3, P. 287-295.

23. Шмаков А.А., Калинин Б.А., Козлов М.М., Тимошин СМ. Термодиффузия водорода в сплаве Э110 // В сб.: Научная сессия МИФИ-2006. Т.9. М: МИФИ, 2006, С. 87-88.
24. Малыгин В.Б. Эксплуатационные свойства материалов для обоснования проектов твэлов энергетических реакторов. Москва: МИФИ, 2007.
25. Парфенов Б.Г., Герасимов В.В., Венедиктова Г.И. Коррозия циркония и его сплавов. М.: Атомиздат, 1967. С. 105.
26. Амбарцумян Р.С. Proceedings of the Second United Nations International Conference on the Peaceful Uses Atomic Energy. Vol. 5, Geneva, 1958.
27. Zirconium Data Manual UKAEA TRG, Report 108R, 1962.
28. Brown A., Hardie D.J., Nuclear Materials, 4, № 1, 1961.
29. Киселев А.А. и др. Corrosion of reactor materials. Vol. 2. IAEA, Vienna, 1962.
30. Ribb A.E. et al. KAPL-M-AEB-8, 1960.
31. Иванов О.С., Григорович В.К. Proceedings of the Second United Nations International Conference on the Peaceful Uses Atomic Energy. Vol. 5, Geneva, 1958.
32. Lintner K., Schmid E. Reaktorwerkstoffe //Werkstoffe des Reaktorbaues mit besonderer Berücksichtigung der Metalle. – Springer Berlin Heidelberg, 1962. – С. 184-543.
33. Металлургия циркония. Под редакцией Лустмана. М.: Издательство иностранной литературы, 1959. – С. 160.
34. IAEA-TECDOC-1410. Delayed hydride cracking in pressure tube nuclear reactors. International Atomic Energy Agency., Vienna. 2004.
35. IAEA-TECDOC-1649. Delayed hydride cracking of zirconium alloy fuel cladding. International Atomic Energy Agenc., Vienna. 2010.
36. С.К. Chao, К.С. Yang, and С.С. Tseng. Rupture of spent fuel zircaloy cladding in dry storage due to delayed hydride cracking //Nuclear Engineering and Design. 2008, vol. 238, №1, P. 124-129.

37. Y. Fukai. The metal-hydrogen system. Basic bulk properties. Series: Springer Series in Materials Science. vols. 21. 2nd rev. and updated ed. 2005, XII, P. 497.
38. E.Y. Afanasieva, I. A. Evdakimov, O. V. Khoruzhii, V. V. Likhanskii, and A. A. Sorokin. Modelling of fuel rods hydriding failures in water reactors. Transactions of the 17th International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology (SMiRT 17). Prague. Czech Republic. August 17-22. 2003, Paper # C03-1.
39. Anna-Maria Alvarez Holston. In-pile and out-of pile methods to predict fuel cladding failures. SCIP Property Information. Studvik. October 2011.
40. R.M. Lobo, A.H.P. Andrade, and M. Castagnet. Hydride embrittlement in zircaloy components. International Nuclear Atlantic Conference - INAC 2011. Belo Horizonte. MG. Brazil. October 24-28. 2011, ASSOCIACAO BRASILEIRA DE ENERGIA NUCLEAR - ABEN. ISBN: 978-85-99141-04-5.
41. Шмаков А.А. Феноменологическое описание диффузии водорода в сплавах циркония // Научная сессия МИФИ-2003. Сб. науч. тр. в 14 томах. Т. 9. М.: МИФИ, 2003.
42. Исаенкова М. Г., Перлович Ю. А., Фесенко В. А. Происхождение неблагоприятной ориентации гидридов в оболочечных трубах из сплава Zr - 1% Nb.
43. Изменение структуры и текстуры в объеме оболочечных труб из сплавов на основе циркония при ионно-плазменной обработке поверхности / Ю.А. Перлович, М.М. Грехов, М.Г. Исаенкова, В.В. Фесенко, Б.А. Калинин, В.Л. Якушин // Вопросы атомной науки и техники. — 2004. — № 3. — С. 59-65.
44. Koutský J., Kocik J. Radiation damage of structural materials. – Elsevier, 2013.
45. R. Attermo, A. Sietnieks, Electrochim. Acta, 1969.
46. J.T. John, P.K. De, H.S. Gadiyar, High temperature cathodic charging of hydrogen in zirconium alloys and iron and nickel base alloys, BARC-1544, 1991.

47. Samuel Houston Kuhr. An electrolytic method form zirconium phases in zirconium alloys with morphologies similar to hydrides formed in used nuclear fuel. Master of science, 2012.
48. Кидо Тосия, Сугано Мицутеру // Журнал японской ассоциации атомной энергетики, выпуск на японском языке, Том 1, 2002.
49. Кидо Т. и др. заявка на японский патент 11-335807.
50. Е.А. Гулбрансен, и др., Журнал электрохимического общества, 101, 1954.
51. Rick Shimskey, Brady Hanson, Paul MacFarlan // Fuel cycle Research and Development, 2013.
52. Г. В. Фетисов, Синхротронное излучение. Методы исследования структуры вещества. – М.: Физматлит, 2007. – С. 672.
53. Лебедева С. И. Определение микротвердости минералов. – Изд-во Академии наук СССР, 1963.
54. Гудков А. А., Славский Ю. И. Методы измерения твердости металлов и сплавов. М //Металлургия. – 1982.
55. ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы.
56. ГОСТ 12.1.029-80. Средства и методы защиты от шума, 1980. – С. 4.
57. ГОСТ 12.4.026-76. Система стандартов безопасности труда. Цвета сигнальные и знаки безопасности, 1996. – С. 33.
58. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. Минздрав России. – Москва. – 1997.
59. ГОСТ12.1.002-84. Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах. Издательство стандартов. – Москва. – 1984.
60. ГОСТ 12.1.006-84. Система стандартов безопасности труда. Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля. Издательство стандартов. – Москва. – 1984.

61. ГОСТ 12.1.045-84. Система стандартов безопасности труда. Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля. Издательство стандартов. – Москва.-1984.

62. Федеральный закон Российской Федерации от 21.12.1994 N 69-ФЗ (ред. от 12.03.2014) "О пожарной безопасности".

63. Федеральный закон Российской Федерации от 22 июля 2008 г. N 123-ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности".

64. ПБ 03-576-03 «Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением».

65. ГОСТ 12.2.085-2002 «Сосуды, работающие под давлением. Клапаны предохранительные. Требования безопасности».

66. ГОСТ 12.2.085-82. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов. - М.: Стандартинформ, 2007. – С. 15.

67. Раздорожный А.А. Безопасность производственной деятельности: Учеб. пособ. – М.: ИНФРА – М, 2003. – С. 208.

Приложение А

Раздел 1

Литературный обзор

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0Б21	Орлов Сергей Викторович		

Консультант кафедры _____ ОФ _____:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент	Кудияров В.Н.			

Консультант – лингвист кафедры _____ ИЯФТ _____:

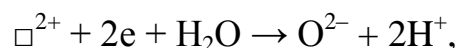
Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
зав. кафедрой	Александров О.А.	к-т филол. наук		

Einführung

Zirkonium hat einzigartige Eigenschaften: Festigkeit, Korrosionsbeständigkeit und hohe Transparenz Neutronen. Daher ist es am besten geeignetes Metall für die Verwendung in den aktiven Zonen von Leichtwasserreaktoren. Aus der Zirkoniumlegierung hergestellt man Hüllrohre, sowie Produkte, die den Rahmen der Brennelemente bilden. Während der Arbeit in den Kraftstoffverkleidungen Hydride abgeschieden. Dies geschieht, weil die Konzentration vom absorbierten Wasserstoff an den oxidierten Oberflächen zu erhöhen. Aufgrund der radialen Temperaturverteilung in einer Schale bildet man auf der äußeren Oberfläche die Zone mit hoher Konzentration von Hydriden, die gleichmäßig in der oberen Schicht verteilt sind. Im Kido berichtet, dass solche Zirkonium Proben verschiedene mechanische Eigenschaften aufweisen können. Somit gibt es eine Notwendigkeit, eine Probe aus der Zirkoniumlegierung, der absorbierende Wasserstoff, für Analyse der mechanischen Eigenschaften vorzubereiten.

1 Der Mechanismus der Oxidation

Korrosion von Zirkonlegierungen in Wasser und Dampf wird durch Oxidation und Hydrierung verursacht. In der Anfangsstufe der Oxidation, die Wassermoleküle adsorbieren an der Oberfläche der Probe, und durch Elektronen dissoziieren in Protonen und Sauerstoffionen nach der folgenden Reaktion:



wo \square - Anion (Sauerstoff) Vakanz. Dann wird der O_2 im Metall gelöst und, wenn die Konzentration von ~ 30 at% (oder ~ 7 Gew.%) Zirkoniumdioxid ZrO_2 gebildet wird:



Dann werden die neu gebildeten Sauerstoffionen diffundieren in die Probe, um dadurch ihre Dicke zu erhöhen.

Die Kinetik der Oxidation kennzeichnet von zwei Perioden. In der ersten Periode der Oxidation erfolgt die Bildung der schützenden Oxidschicht platzieren, die an das Metall haftet. Nach einiger Zeit beginnt die zweite Periode, die durch

einen starken Anstieg der Korrosionsrate kennzeichnet, was oft zur Zerstörung von Metall führt.

An der ersten und zweiten Stufe des Prozesses der Oxidation von Zirkonium, des durch die Gleichung beschrieben:

$$\Delta m = k \cdot t^n, \quad (1)$$

wobei Δm - Gewichtszunahme aufgrund der Bildung des Oxidfilms von der Zeit t . Der Faktor k bestimmt die minimale Dicke der Oxidschicht, die für den Schutz und die Stabilisierung der Metallkorrosionsprozess notwendig ist. Für die Legierung Zr - 1% Nb, wenn in Wasser bei 350 °C getestet, dieses Verhältnis beträgt $\approx 0,2$, in dem Dampf bei einer Temperatur von 400 °C $k \approx 0,3$, und bei 450 °C $k \approx 0,35$. Somit wird gefolgert, dass die Erhöhung der Temperatur zu der Bildung einer dicken Oxidschicht führt.

In der Anfangszeit der Exponent n in Gleichung (1) in der Nähe von 0,5 bzw. 0,33. Wenn die Filmdicke 2-3 Mikron erreicht, gibt es fast eine lineare Beziehung zwischen der Masse und Gewichtszunahme Zeitexponent $n \approx 1$.

2 Zirkonium - Wasserstoff

Die Wechselwirkungsreaktion des Zirkoniums mit Wasser und Dampf kann durch die folgende Gleichung dargestellt werden:



Wie aus dieser Gleichung gesehen werden kann, die Oxidation von Zirkonium durch die gleichzeitige Freisetzung von Wasserstoff ist, der in der aktiven Form und der unmittelbaren Nähe des Metalls begleitet. Der Wasserstoff durch die Reaktion befreit (2), teilweise oder vollständig durch das Metall absorbiert wird, dass Zirkonium verschiedene Gase absorbieren kann. Diffusion und Auflösung von Wasserstoff in den Zirkonium und Bildung der Hydride führt zu Veränderungen in der Korrosionsbeständigkeit und der mechanischen Eigenschaften des Metalls.

2.1 Wasserstoffaufnahme Metall

Absorption von Wasserstoff im Allgemeinen bedeutet einen Übergang von einem molekularen Wasserstoff H_2 in dem Metall. Wasserstoffabsorptionsprozess

umfasst mehrere Schritte:

- Ankunft von molekularem Wasserstoff an der Oberfläche;
- Ansammlung von Wasserstoffmolekülen auf der Oberfläche und ihre Dissoziation (physikalische Adsorption, chemische Dissoziation und Adsorption (Chemisorption) von Wasserstoffmolekülen);
- die Umverteilung Volumenwasserstoffatomen (Diffusion);

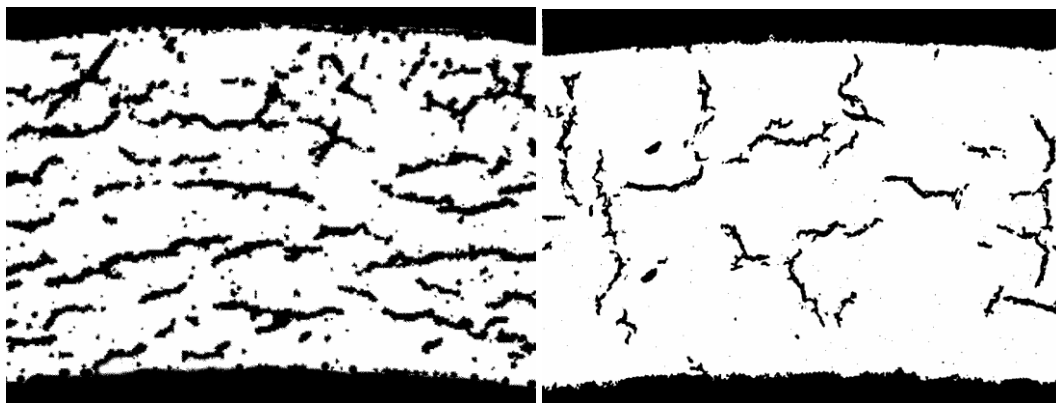
Die Zerstörung der hydrierten Zirkoniumlegierungen:

Die Diffusionsfluss von Wasserstoff in fester Lösung auf der Basis von α -Zr ist gegeben durch Gleichung:

$$J_H = -D_H \nabla C_H - D_H C_H Q \nabla T / RT^2 + D_H C_H V_H \nabla \sigma / RT,$$

wo C_H - Wasserstoffkonzentration; R - molare Gaskonstante; T - absolute Temperatur; σ - hydrostatischen Druck; V_H - partielle Molvolumen; Q - Wärmeübertragung, D_H - Diffusionskoeffizienten.

Wenn die Wasserstoffkonzentration die Löslichkeitsgrenze übersteigt, Hydride γ -ZrH und δ -ZrH₂ gebildet werden. Hydride Ausrichtung wird durch die Texturmatrix und Spannungen bestimmt, die im Laufe ihrer Ausbildung handeln. Die Auswertung der Orientierung von Hydriden erfolgt über metallographischen Schliffen (Figur 1).



Figur 1 – Beispiele der Anordnung von Hydriden in Hüllrohren aus Zr-1% Nb.

Wasserstoffdiffusionsgeschwindigkeit wird auch durch die Geschwindigkeit der Rissausbreitung in Zirkonprodukte während der langsamen Hydrid Cracken (DHC) bestimmt. Für DHC erfordert eine Kombination der kritischen Wasserstoffkonzentration und die Betriebsspannungen. Der kritische

Wasserstoffkonzentration an der Rissspitze wird durch ihre Diffusion in diese Region angelegt.

Ansammlung von Wasserstoff in Gebieten mit niedrigen Temperaturen und einem erhöhten Niveau der Zugspannung führt zur Bildung von Zonen mit hoher Konzentration von Hydriden, die Versprödung und Zerstörung der Produkte auf den Mechanismus der DHC verursachen.

3 Methoden der Sättigung

Auf Grund von Wasserstoff hat eine sehr kleine Atomgröße, kann er schnell und einfach durch die Kristallstruktur zu bewegen. Wasserstoff kann in den tetraedrischen und oktaedrischen Hohlräumen und Zwischenräumen in der Mehrzahl von Metalllegierungen leicht durchdringen. Es gibt mehrere Möglichkeiten für Wasserstoff Zr-Legierung Absorption bei denen ein Gradient der Wasserstoffkonzentration in der Probe erzeugt wird: (1) Platzieren der Probe in einem Gasgemisch aus Wasserstoff und Argon, erhitzt auf eine hohe Temperatur; (2) umverteilen Hydride in einer Probe durch eine Temperaturänderungsschicht nach der Bildung des Hydrids und andere. Damit eine ausreichende Konzentration während der Behandlung bei einer niedrigen Temperatur gehalten wird häufig mit einigen Schwierigkeiten verbunden. Weiterhin ist die Richtung der Wasserstoffverteilung auch abhängig von dem Rohrdurchmesser, der Gestaltung dessen große Schwierigkeit führt.

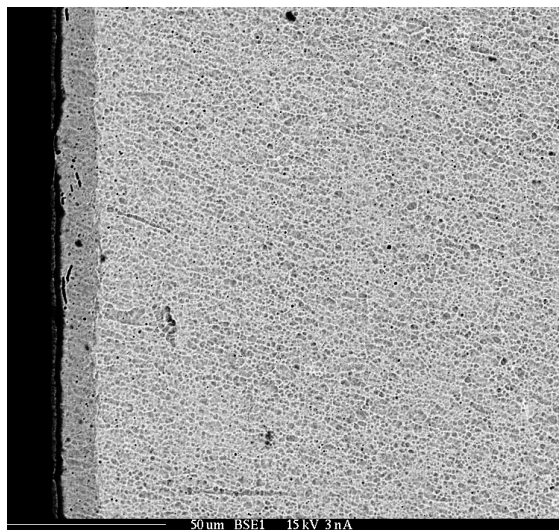
3.1 Elektrolytische Verfahren

Elektrolyseverfahren, die Schwefelsäurebädern oder geschmolzene Salze enthalten werden, verwenden um die äußere Oberflächenschicht der Probe Hydrid zu bedecken. Diese Proben wurden in einem Ofen für eine Zeit von 1 bis 4 Stunden bei Temperaturen von 300 bis 400 ° C im Bereich platziert Dieses Verfahren erzeugt eine gleichförmige Schicht aus einem Hydrid des Materials. Im Arbeit Schimskey beschreibt ein elektrochemisches Verfahren zur Herstellung einer Hydrid Schicht auf der Oberfläche der Probe. Figur 2 zeigt ein Foto des experimentellen Aufbaus, der in dieser Studie verwendet wurde.

Wie aus der Figur zu sehen ist, das Glas diente als das primäre

Reaktionsgefäß für dieses Experiment. Um eine gleichmäßige Temperatur der Lösung zu erhalten, wurde die Reaktion auf eine erhitzte Glasplatte gelegt. Teflon Kappe wurde verwendet, um das Glas zu versiegeln, um zu heizen die Lösung bei Säuredämpfen nicht entweichen kann. Eine Lösung von Schwefelsäure und Wasser während des gesamten Experiments diente als Elektrolyt und einer Wasserstoffquelle.

Der Versuch wurde bei 120 °C drei Stunden und bei Anodenstromdichte von 0,5 A/cm² durchgeführt. Figur 2 zeigt deutlich die enge Hydrid-Schicht (Effekt genannt Hydrid-rim).



Figur 2 – Das Bild der Probe mit einem Elektronenmikroskop.

Die Vorteile dieses Verfahrens sind die relativ kurze Dauer des Experiments, sowie eine gute Qualität der Hydrid-Schicht zu produzieren. Dieses Verfahren hat auch einige negative Faktoren. Erstens ist dieses Verfahren sehr gefährlich, weil sie konzentrierte Schwefelsäure bei einer Temperatur von 120 ° C verwendet. Der zweite Nachteil dieses Verfahrens ist, dass nach jedem Versuch wird die Lösung geändert werden.

3.2 Verfahren Sättigung in einem Gasmischung

Im Kido berichtet, ein relativ einfaches Verfahren der Wasserstoffabsorption von der Oberfläche des Rohres aus dem Zircaloy, das eine Oberflächenschicht mit einem hohen Gehalt an Hydrid zu bilden kann.

Adsorption von Wasserstoff tritt vermutlich auf zwei Arten:

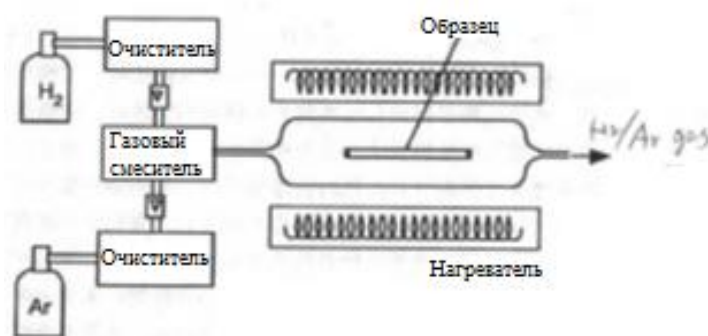
1. Physikalische Adsorption von Wasserstoffmolekülen an die Metalloberfläche,
2. Chemische Adsorption und Dissoziation von Wasserstoffmolekülen,
3. Die Verbreitung der Wasserstoffatome in Metallen.

Es ist bekannt, dass der Oxidfilm in Zr-Legierungen an der Wasserstoffadsorption beeinflusst. Im Gegensatz, Nickel (Ni) hat eine hohe physikalische Adsorption und chemische Aktivität gegenüber Wasserstoff, und hat eine hohe Durchlässigkeit gegenüber Wasserstoff. Der Oxidfilm wird gebildet unter Zr, die Wasserstoffabsorption beiträgt. Die Autoren schlagen vor, dass die Ni-Schicht auf der Oberfläche von Zr die Geschwindigkeit der Wasserstoffabsorption mit Hydridbildung der Oberflächenschicht erhöht.

Probenröhrchen aus Zirkaloy-4 Schale chemischen Ni-Plattierung unterzogen wurde, um eine Beschichtung in der Größenordnung von einem Mikrometer zu bilden.

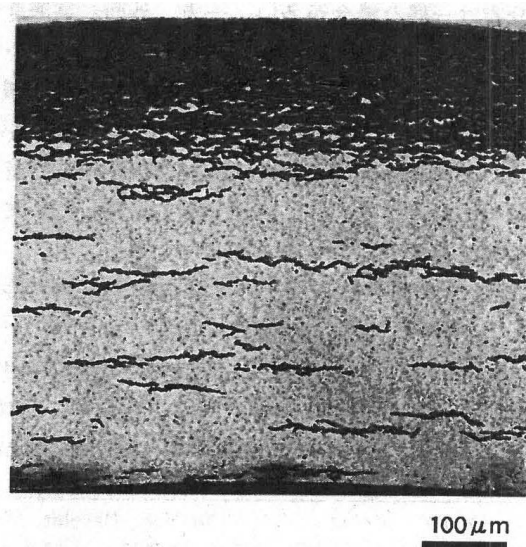
Die Probe wurde in der Vorrichtung, Wasserstoffgas + Argon-Gemisch bei einer vorbestimmten Temperatur für eine vorbestimmte Zeit gebracht (Abbildung 3). Vom Beginn der Erwärmung bis zum Ende ist eine konstante Strömung des Gasgemisches (0,5 dm³ / min) bei einem Komponentenverhältnis 01.50 Mischung aus Wasserstoff und Argon, zugeführt wird.

Abbildung 4 zeigt ein Teil geschnitten metallographische Mikrofotografien des Hüllrohrs nach der Alterung für 168 Stunden bei 300 °C. Hydride wurden auf der äußeren Oberfläche der Hülle aufgebracht, der Wasserstoff adsorbiert. Hydride sind selten auf der Innenfläche.



Figur 3 – Die Schaltung Vorrichtung zur Hydrierung.

Der Nachteil dieser Sättigungsmethode ist die Zeit der Bildung der Hydridschicht auf der Oberfläche der Probe (Hydride rim). Es gibt auch einen Nachteil, dass für eine so lange Zeit eine konstante Gasgemisches (Argon + Wasserstoff) zugeführt werden soll. Letzte Nachteil ist, dass, bevor die Sättigung der Probe notwendig ist, eine Schicht aus Ni anzuwenden. Der Vorteil dieser Methode ist qualitativ hochwertige Metall-Hydrid-Schicht.



Figur 4 – Verteilung von Wasserstoff in der Probe mit Ni beschichtet.

Schlussfolgerung

Wie in der Einleitung erwähnt, sind Zirkon-Legierungen weit in der Kernenergie (in den aktiven Zonen von Kernreaktoren) eingesetzt. Durch direkten Kontakt mit Wasser aus Zirkonium-Membranen bei hohen Temperaturen gibt es mit der Oxidation und die Wasserstoffaufnahme verbundenen Probleme. Zu dem Haupt erniedrigender Phänomen, die während des Betriebs von Brennelementen auftreten, umfassen: Wasserstoffversprödung (reduzierte Plastizität des Materials), die Bildung von großen massiven Hydride und DHC. Das Programm der Weiterentwicklung der Kernkraftindustrie von Russland bis zum Jahr 2020 beauftragt für Verbesserung der Kraftstoffeffizienz. Zu diesem Zweck ist es notwendig, die Wirkung von gleichmäßig verteilten Zonen Hydrid-Konzentration in der Oberflächenschicht der Brennstabhülle zu studieren.

Als Ergebnis der Arbeit wurden Methoden berücksichtigt, die einen Gradienten Verteilung der Hydride erstellen können, beschreiben die Vor- und

Nachteile der einzelnen Methoden. Auch in der Arbeit bietet das theoretische Teil, das mit dem Problem der Wasserstoffversprödung von Brennstäben verbunden ist. Berücksichtigung dieser Methoden half bei der Auswahl des Verfahrens, das für die weitere Forschung in diesem Bereich verwendet wird.