

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

---

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

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
Исследование высокотемпературной проницаемости водорода в циркониевом сплаве Э110 с нанесенным слоем никеля

УДК 669.296:669.788

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
150Б61	Чжэн Тяньфан		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭФ	Кудияров Виктор Николаевич	к.т.н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ШБИП ОГСН	Киселева Елена Станиславовна	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД	Мезенцева И.Л.			

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

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

Томск – 2020 г.

## Запланированные результаты обучения по программе

Код результата	Результат обучения (выпускник способен)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Общекультурные компетенции</i>		
<b>P1</b>	Использовать основные этапы и закономерности исторического развития общества, основы философских, экономических, правовых знаний для формирования мировоззренческой, гражданской позиций и использования в различных сферах жизнедеятельности	Требования ФГОС3+ (ОК-1, ОК-2, ОК-3, ОК-4)
<b>P2</b>	К самоорганизации и самообразованию, работать в коллективе, к коммуникации в устной и письменной формах, в том числе на иностранном языке, толерантно воспринимать социальные, этические и культурные различия, использовать методы и средства физической культуры, приёмы первой помощи и методы защиты в условиях ЧС.	Требования ФГОС3+ (ОК-5, ОК-6, ОК-7, ОК-8, ОК-9)
<i>Общепрофессиональные компетенции</i>		
<b>P3</b>	Использовать в профессиональной деятельности базовые естественнонаучные знания, современные концепции и ограничения естественных наук, использовать фундаментальные знания разделов общей и теоретической физики, математики для создания моделей и решения типовых профессиональных задач, в том числе с использованием знаний профессионального иностранного языка.	Требования ФГОС3+ (ОПК-1, ОПК-2, ОПК-3, ОПК-7)
<b>P4</b>	Понимать сущность и значение информации, соблюдать основные требования информационной безопасности, использовать методы, способы, средства получения и хранения информации, решать стандартные задачи на основе информационной и библиографической культуры.	Требования ФГОС3+ (ОПК-4, ОПК-5, ОПК-6)
<b>P5</b>	Получить организационно-управленческие навыки при работе в научных группах, критически переосмысливать накопленный опыт, изменять при необходимости профиль	Требования ФГОС3+ (ОПК-8, ОПК-

	своей профессиональной деятельности, нести ответственность за последствия своей инженерной деятельности.	9)
<i>Профессиональные компетенции</i>		
<b>Р6</b>	<p><u>Научно-исследовательская деятельность</u></p> <p>Проводить научные теоретические и экспериментальные исследования в областях: материаловедения, атомной и ядерной физики, водородной энергетики, физики плазмы с помощью современной приборной базы с использованием специализированных знаний физики и освоенных профильных дисциплин.</p>	Требования ФГОС3+ (ПК-1, ПК-2)
<b>Р7</b>	<p><u>Научно-инновационная деятельность</u></p> <p>Применять на практике профессиональные знания теории и методов физических исследований, а также профессиональные знания и умения в результате освоения профильных дисциплин для проведения физических исследований в инновационных областях науки, используя современные методы обработки, анализа и синтеза информации.</p>	Требования ФГОС3+ (ПК-3, ПК-4, ПК-5)
<b>Р8</b>	<p><u>Организационно-управленческая</u></p> <p>Использовать на практике теоретические основы организации и планирования физических исследований, участвовать в подготовке и составлении научной документации по установленной форме, понимать и применять на практике методы управления в сфере природопользования</p>	Требования ФГОС3+ (ПК-6, ПК-7, ПК-8)
<b>Р9</b>	<p><u>Педагогически-просветительская</u></p> <p>Проектировать, организовывать, анализировать педагогическую деятельность, владеть последовательностью изложения материала с использованием междисциплинарных связей физики с другими дисциплинами, участвовать в информационно-образовательных мероприятиях по пропаганде и распространению научных знаний</p>	Требования ФГОС3+ (ПК-9)

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

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

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

**ЗАДАНИЕ  
 на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Бакалаврской работы
---------------------

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

Студенту:

Группа	ФИО
150Б61	Чжэн Тяньфан

Темаработы:

Исследование высокотемпературной проницаемости водорода в циркониевом сплаве Э110 с нанесенным слоем никеля
---

Утверждена приказом директора (дата, номер)	
---	--

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b>  <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Циркониевый сплав нанесенным слоем никеля до и после наводороживания, автоматизированный комплекс GasReactionControllerLPB</p>
---	---

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>  <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Обзор литературных источников;</li> <li>– Подготовка образцов;</li> <li>– Исследование взаимодействие водорода с цирконием;</li> <li>– Способы наводороживания сплавов циркония</li> <li>– Анализ полученных результатов;</li> <li>– Заключение.</li> </ul>
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Социальная ответственность	Мезенцева И.Л.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Киселева Елена Станиславовна

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

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭФ	Кудияров Виктор Николаевич	к.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
150Б61	Чжэн Тяньфан		

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
150661	Чжэн Тяньфан

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

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

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

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

<i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>Анализ конкурентных технических решений; Анализ по технологии Quid; SWOT-анализ.</i>
<i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>Формирование плана и графика разработки: - Организация работ НИ; - определение структуры работ в рамках НИ; - определение трудоемкости выполнения работ; - разработка диаграммы Ганта. Формирование бюджета затрат на научное исследование: - расчет материальных затрат; - расчет заработной платы; - отчисления во внебюджетные фонды; - расчет накладных расходов; - формирование сметы затрат НИ.</i>
<i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<i>- расчет интегрального показателя ресурсоэффективности</i>

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

<i>Оценка конкурентоспособности НИ Анализ Quid Матрица SWOT Основные показатели эффективности НИ</i>
--

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

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент ОГСН ШБИП	Киселева Елена Станиславовна	к.э.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
150661	Чжэн Тяньфан		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
150661	Чжэн Тяньфан

<b>Школа</b>	<b>ИЯТШ</b>	<b>Отделение (НОЦ)</b>	<b>Отделение экспериментальной физики</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	03.03.02 Физика

Тема ВКР:

Исследование высокотемпературной проницаемости водорода в циркониевом сплаве Э110 с нанесенным слоем никеля

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

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Исследование проницаемость водорода для циркониевого сплава с никелевым покрытием и исследование по расчету уровня проникновения Исследования взаимодействия водорода с металлами и сплавами проводятся во всем мире. Например, он широко используется для хранения водорода и предотвращения коррозии металла
--	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	1. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений СанПиН 2.2.4-548-96; 2. Требования к освещению устанавливаются СП 52.13330.2016 3. Допустимые уровни шумов в производственных помещениях. ГОСТ 12.1.003-83. ССБТ; 4. Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019)
<b>2. Производственная безопасность:</b> 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	1. Вышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека 2. Недостаточная освещенность рабочей зоны 3. Электромагнитные излучения
<b>3. Экологическая безопасность:</b>	1. Анализ воздействия объекта ВКР и области его использования на ОС; 2. Разработка решений по обеспечению экологической безопасности
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	Возможные ЧС: авария на производстве, землетрясение, наводнение, пожары, химическое заражение. Наиболее типичная ЧС: пожары

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Ассистент ООД	Мезенцева И.Л.			

Задание принял к исполнению студент:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
150661	Чжэн Тяньфан		

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

Школа Инженерная школа ядерных технологий

Уровень образования бакалавриат

Направление подготовки 03.03.02 «Физика»

Отделение школы (НОЦ) Отделение экспериментальной физики

Период выполнения \_\_\_\_\_

Форма представления работы:

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

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

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
01.03.2019	Аналитический обзор литературы	15
01.09.2019	Подготовка образцов циркониевом сплаве Э110 с нанесенным слоем никеля для проведения наводороживания	15
30.12.2019	Наводороживание образцов циркониевом сплаве Э110 с нанесенным слоем никеля при различных параметрах	20
30.04.2020	Анализ результатов	15
25.05.2020	Социальная ответственность	15
25.05.2020	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
25.05.2020	Заключение	5

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭФ	Кудияров В.Н.	к.т.н.		

**СОГЛАСОВАНО:**

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



## **РЕФЕРАТ**

Выпускная квалификационная работа содержит 79 страницы, 12 рисунков, 16 таблицы, 37 литературный источник, 0 приложений.

Ключевые слова: Циркониевый сплав, взаимодействие водорода с цирконием, наводороживание, накопление водорода, GRC.

Объектом исследований являлся циркониевый сплав Э110 с нанесенным слоем никеля. С помощью автоматизированного комплекса GasReactionControllerLP было определено накопление и распределение водорода в циркониевом сплаве Э110 с нанесенным слоем никеля.

**Целью работы** является изучение накопления и распределения водорода в циркониевом сплаве Э110 с нанесенным слоем никеля при газофазном наводороживании.

Для достижения цели были сформулированы следующие задачи:

1. Научиться работать на автоматизированном комплексе Gas Reaction Controller LP.
2. Использовать Gas Reaction Controller LP и RHEN602 для того, чтобы получить кривую зависимость времени от содержания водорода.



5.1.1 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя. ....	53
<b>5.2 Производственная безопасность.....</b>	<b>54</b>
<b>5.2.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования. ....</b>	<b>54</b>
<b>5.2.2 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований .....</b>	<b>55</b>
5.2.3 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов. ....	59
<b>5.3 Экологическая безопасность .....</b>	<b>60</b>
5.3.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду.....	60
5.3.2 Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду...	60
<b>5.3.3 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды.....</b>	<b>61</b>
<b>5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....</b>	<b>62</b>
<b>5.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований.....</b>	<b>62</b>
<b>5.4.2 Анализ причин, которые могут вызвать ЧС на производстве при внедрении объекта исследований .....</b>	<b>62</b>
<b>5.4.3 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС .....</b>	<b>63</b>
<b>Выводы по разделу.....</b>	<b>64</b>
<b>Заключение.....</b>	<b>65</b>
<b>Список использованных источников .....</b>	<b>66</b>

## Введение

Исследования по взаимодействию водорода с металлами и сплавами во всем мире [1,2,3,4]. Думайте об этом разговоре с обеих сторон. С одной стороны, в связи с развитием водородной энергетики необходимо изучать новые типы водородсвязанных материалов [5, 6, 7]. С другой стороны, водород отрицательно влияет на кристаллическую решетку металла, что приводит к покрытию материала [8, 9]. Поэтому необходимо разрабатывать различные текстильные ткани и производить модификации поверхности.

Поскольку состояние поверхности непосредственно влияет на время, в течение которого водород рассеивается в образце, одним из методов, обеспечивающих эффективный перенос защитных покрытий, является метод проницаемости водорода [10]. Измеряя коэффициент диффузии, можно судить об эффективности ткани. Следовательно, из-за того, что коэффициент диффузии изменяется со временем, длительность водородного времени проникает в образец, уменьшая коэффициент диффузии. Следовательно, сравнение коэффициентов диффузии материала на разных поверхностях может быть проиллюстрировано эффективностью методов защиты от коррозии, модификации поверхности и так далее.

Циркониевые сплавы нашли широкое применение в реакторостроении в виде оболочек тепловыделяющих носителей [**Error! Unknown switch argument.**]. Это связано с высокой прочностью и коррозионной стойкостью материала, а также с низким сечением захвата тепловых нейтронов.

Поскольку реактор с водоохлаждаемым реактором работает при высоких температурах [12], с этого начинается реакция пар-цирконий с выделением водорода [13]. Поэтому одним из ключевых требований к циркониевым сплавам является водородостойкость. Растворимость водорода в широком цирконии при комнатной температуре не превышает  $1 \cdot 10^{-5}$  мас. %, а при

рабочей температуре ( $\sim 350$  ° C) реактора ВВЭР (водогидродинамический реактор) количество может достигать качества  $2 \cdot 10^{-2}$  %. После того, как эти концентрации водорода были достигнуты в сплаве циркония, образовалось большое количество гидрида, что привело к разрушению материала. Точно так же накопление водорода при прекращении материала приводит к увеличению внутренних напряжений, что приводит к разрушению материала [14].

Поэтому при эксплуатации реакторов ВВЭР (реактор с водой под давлением) и PWR (реактор с принудительной водой) смешивают цирконий с топливным элементом с образованием определенной гидридной структуры, концентрация водород к толщине стенки и гидридной устойчивости. Градиент сформирован. Гидридный слой толщиной 50–100 мкм формируется вблизи внешней поверхности оболочки топлива, а его толщина зависит от уровня поглощения водорода [15, 16, 17, 18]. Степень гидрирования циркониевого сплава зависит от условий эксплуатации (в реакторе) или параметров гидрирования (в лаборатории). Одним из наиболее часто используемых методов циркониевых сплавов является то, где газовой фазой является водород. В этом методе ключевым параметром, влияющим на взаимодействие между водородом и материалами, является температура. При прочих неизменных обстоятельствах величина температуры гидрирования играет решающую роль в формировании гидридных лопаток. Как показано в [19, 20], когда реакцию гидрирования проводят при температуре ниже определенной температуры (пороговой температуры), то в оболочках циркониевых сплавов Zircaloy-2 образуются гидридные токи и Циркалой-4. Тем не менее, во время гидрирования при температурах выше порогового значения никакого изменения в лопасти не происходит.

Другим фактором, влияющим на уровень гидрогенизации циркониевого сплава, является состояние его поверхности, представляющее собой оксидную

пленку [21, 22]. В случае сплошной тонкой оксидной пленки на поверхности сплав циркония затрудняет извлечение водорода даже при высоких температурах [23]. С одной стороны, наличие такой мембраны играет положительную роль в рабочих условиях, так как снижает проницаемость водорода. С другой стороны, необходимо подготовить экспериментальные образцы сплавов циркония с различными концентрациями водорода и их распределением для дальнейших исследований (например, для механических испытаний). При подготовке экспериментальных образцов присутствие оксидной пленки предотвращает интерференцию водорода, и в некоторых случаях, когда температура ограничена (например, материал подвергается предварительной термообработке), это невозможно сделать. Это. Следовательно, необходимо изучить методы повышения риска возникновения водорода в циркониевом сплаве.

Использование никелевого покрытия может снизить ограничение поверхностных факторов [24]. Это связано с тем, что в процессе изготовления поверхность образца очищалась от иона, удаляя тем самым тонкий слой, в котором собирались различные адсорбаты (в том числе кислород). Тонкая никелевая пленка предотвращает накопление новых адсорбатов, которые непосредственно влияют на диффузию водорода. Кроме того, кинетика проникновения водорода никелевой мембраны через мембрану или количество водорода, накопленного в образце, не вызовет значительных изменений, а лишь послужит катализатором для увеличения скорости процесса адсорбции-десорбции.

В данной статье описывается экспериментальный метод исследования высокотемпературных применений комплексов GRC. Описан метод расчета коэффициента диффузии с использованием масс-спектрометрии в качестве анализатора водорода.

**Целью работы** является изучение накопления и распределения водорода в циркониевом сплаве Э110 с нанесенным слоем никеля при газофазном наводороживании.

Для достижения цели были сформулированы следующие задачи:

1. Научиться работать на автоматизированном комплексе Gas Reaction Controller LP.
2. Использовать Gas Reaction Controller LP и RHEN602 для того, чтобы получить кривую зависимость времени от содержания водорода.

## ГЛАВА 1. Литературный обзор

### 1.1 Цирконий и его сплавы

Основная информация о цирконии представлена в таблице 1

Таблица 1. Основная информация о цирконии

Атомный вес	91,224
Атомный номер	40
Электронная конфигурация	[Kr] 4d <sup>2</sup> 5s <sup>2</sup>
Атомный радиус	160 пм

Цирконий легко усваивается водородом, азотом и кислородом. Цирконий обладает сильным сродством к кислороду. Содержание циркония может легко образовывать глянцевую оксидную пленку, поэтому она выглядит как сталь. Устойчив к коррозии, но растворим в плавиковой кислоте и царской водке. При высоких температурах он может воздействовать на неметаллические элементы и многие металлические элементы, образуя твердые растворы. Цирконий обладает отличным заживлением и легко обрабатывается на пластинах и проводах. При нагревании цирконий может поглощать большое количество кислорода, водорода, азота и других газов и может использоваться в качестве материала для хранения водорода. Цирконий обладает лучшей коррозионной стойкостью, чем титан; это близко к ниобию и танталу. Цирконий и оба металла имеют сходные химические свойства и являются радиоактивными материалами.

Циркониевые сплавы представляют собой твердые растворы циркония или других металлов. Цирконий имеет очень хорошее сечение поглощения тепловых нейтронов, высокую твердость, пластичность и сопротивление. Основное использование циркониевых сплавов в области ядерных технологий, таких как топливные стержни в ядерных реакторах. Типичный состав ядерной



клетки циркониевого сорта состоит в том, что содержание циркония превышает 95%, а содержание олова, ниобия, железа, хрома и никеля составляет менее 2%. Добавление этих металлов может улучшить механические свойства и коррозионную стойкость.

Как цирконий, так и циркониевые сплавы имеют гомогенные и гетерогенные фазовые переходы: высокотемпературная стадия представляет собой  $\beta$ -Zr со структурой единичного размера, а низкотемпературная стадия представляет собой  $\alpha$ -Zr с одной строго упакованной гексагональной структурой. Температура переноса чистого циркония составляет 862 ° C. На температуру переноса сплавов и циркония в промышленности влияют элементы мазка и элементы окрашивания: уменьшается добавление железа, никеля, хрома и ниобия. расположение фазы  $\alpha$ -Zr, тем самым уменьшая температуру перехода, и расширение кислорода, азота и олова фазы  $\alpha$ -Zr, следовательно, температура перехода увеличивается. Колонка Zr-2.5Nb обладает явным упрочняющим эффектом. Сплав обычно нагревают до области  $\beta$  или ( $\alpha + \beta$ ) области высокой температуры. После остановки воды предел прочности при комнатной температуре может достигать 90 кгс / мм<sup>2</sup>. После удара сплав подвергся воздействию при 500 ° C, и его прочность снижалась. Однако пластичность постепенно увеличивается. Раствор стойкости сплава имеет хорошую коррозионную стойкость.

## **1.2 Методы аддитивных технологий**

В настоящее время выбор аддитивного процесса зависит в основном от нанесения слоев и используемых расходных материалах. Существует, главным образом, два направления: первый - использование лазерного или электронного пучка для расплавления слоя материала и формирования желаемой формы, а другой - полимеризация жидкого материала с образованием твердой модели, в основном мы изучаем первую.

## 1.2.1 SLS

Выборочное лазерное спекание (SLS) - Технология основана на непрерывном спекании слоев порошкового материала с использованием мощных лазеров.

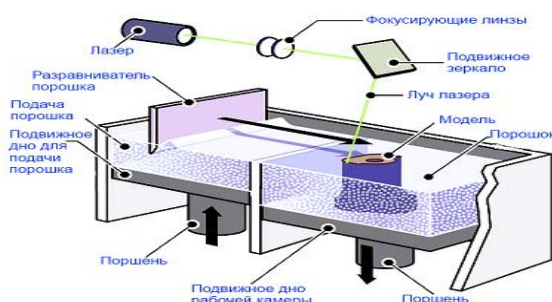


Рис1-Принцип работы SLS принтеров

Эта технология включает использование лазера для расплавления порошка исходного материала для формирования физической модели, сырье, как правило, представляет собой металл, керамику, стекло и т. д. .

## 1.2.2 SLM

Селективное лазерное плавление (SLM) - это аддитивный метод, используемый при высокой мощности лазера для получения трехмерного физического объекта путем плавления металлического порошка.

Даже если этот метод называется синус-лазером, все порошковое сырье растворяется в лазере, и конечный расплавленный материал может быть превращен в твердую модель.

Если подача представляет собой металлический порошок, этот метод также можно назвать прямым лазерным спеканием металла (DMLS).

В отличие от SLS, технология SLM использует высокоскоростное движение электронных пучков вместо лазеров для растворения сырья, поэтому она имеет самую высокую температуру плавления.

### 1.3 Взаимодействие водорода с цирконием и его сплавами

Использование продуктов, содержащих цирконий, в зоне активной гидродинамической реакции приводит к тому, что водород не может быть получен цирконием. В этом случае взаимодействие может происходить как внутри, так и снаружи топливной стенки. В охлаждающей жидкости водород взаимодействует с водной оболочкой и вызывает попадание радиоактивной воды. Источником водорода внутри топливного бака может быть таблетка, содержание водорода, поглощенного внутри него, и жидкость, доступная для самой таблетки и топливного материала.

Процесс водородной связи с цирконием включает в себя несколько этапов, как показано на рис. 2:

- (1) молекулярный водород достигает поверхности;
- (2) Образование поверхностных молекул водорода (физическая и химическая адсорбция) и их разделение;
- (3) также распределяют атомы водорода путем объемного фракционирования;
- (4) Когда достигается предел растворимости водорода на металлообразующем гидриде, образуется гидрид.

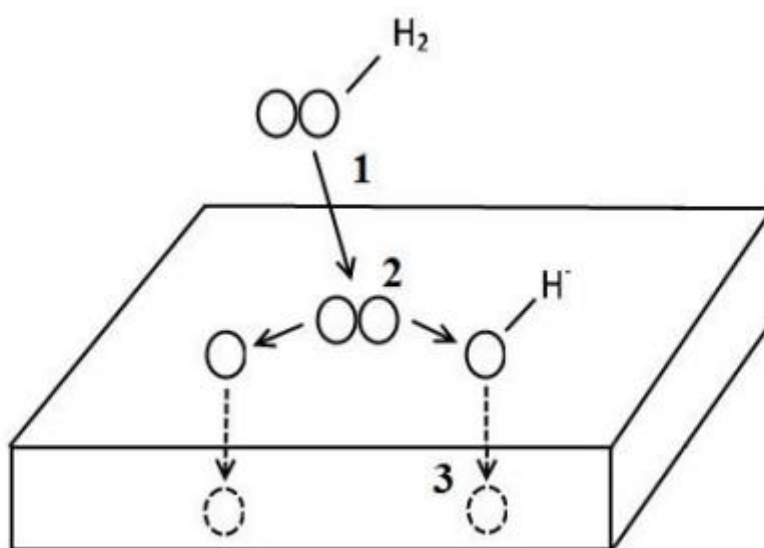


Рис 2 – Стадии проникновения водорода в цирконий: 1 – приход молекулярного водорода к поверхности; 2 – накопление молекул водорода на поверхности и их диссоциация; 3 – перераспределение водорода по объему

Во время взаимодействия металла и водорода на поверхности металла образуется слой адсорбированного газа. Во время физической адсорбции между водородом и поверхностью металла силы Ван-дер-Ваальса возникают без переноса электрона, и молекулы водорода не связываются с атомами. Когда происходит адсорбция между атомами металла поверхности и водородом, химические связи образуются в результате обмена электронами. В случае хемосорбции водород разрушает атомы, и атомы рассеиваются по металлу. Диспергированный водород растворяется в решетчатом металле и накапливается в дефектах, порах и так далее. Поскольку водород обладает высокой подвижностью и водород проникает в металл, также происходит обратный процесс. Например, атомы диспергированы из определенного количества металла внутри, атомарный водород реагирует с молекулярным водородом на поверхности металла, а молекула является молекулярным водородом из металла.

Фазовая диаграмма циркония и водорода показана на рисунке 3. Абсцисса представляет отношение атома водорода к внутреннему атому циркония, а ордината представляет температурную зависимость в градусах Цельсия.

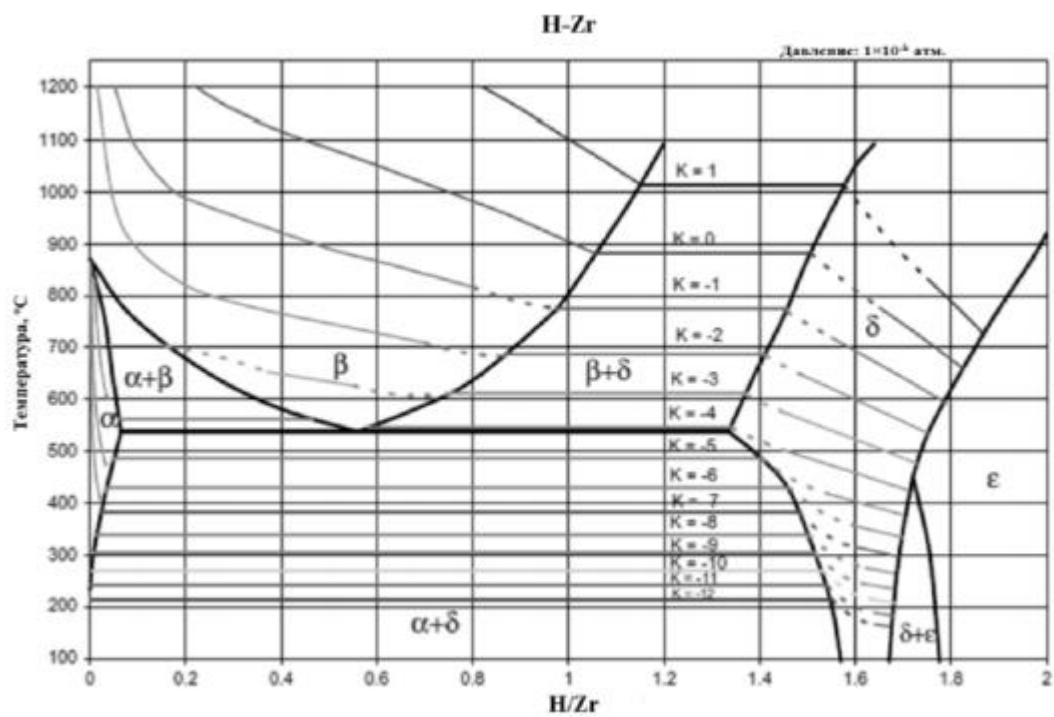


Рисунок 3 – Фазовая диаграмма системы цирконий-водород

## ГЛАВА 2. Материал и методы исследования

### 2.1 Материал исследования

Ниже приведены компоненты из циркониевого сплава э110

Таблица 1 Состав сплава (в % от веса)

элемент	Nb	Zr
Min, %	0.90	-
Max, %	1.10	остальное

Таблица 2 Содержание примесей, не более (в ppm)

элемент	Al	B	Be	C	Ca	Cd	Cl
max, ppm	80	0,5	30	200	100	0,3	20
элемент	Cu	Cr	F	Hf	K	Li	MN
max, ppm	50	200	30	500	40	8	20
элемент	Mo	N	Ni	O	Pb	Ti	Fe
max, ppm	50	60	70	1000	50	50	500

### 2.2 Экспериментальная система для исследования диффузии водорода в металлы методом высокотемпературной проницаемости

Экспериментальная система GRC позволила нам изучить влияние разных факторов на разные покрытия на разные процессы гидрирования в фазе металлической пленки. В то же время, когда газ проходит через металлическую пленку, процесс адсорбции водорода в металле также должен быть изучен. Для этого экспериментальный корпус был оборудован масс-спектрометром.

Экспериментальная система показана на рисунке 4.

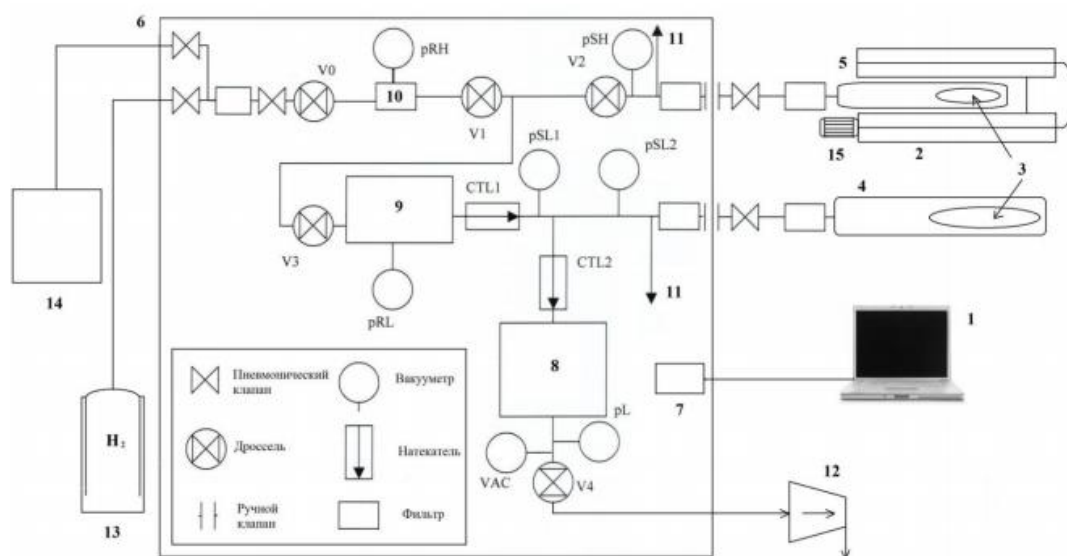


Рис. 4. Схема Gas Reaction Controller:

1 – компьютер с программным обеспечением на базе LabVIEW; 2 – печь, работающая температур (30÷1000 °С)/криостат; 3 – образец; 4 – реакционная камера в низком давлении; 5 – реакционная камера в высоком давлении; 6 – контроллер; 7 – комплексная система управления; 8 – объем; 9 – Объем газа низкого давления; 10 – Объем газа высокого давления на входе; 11 – система для удаления водорода; 12 – вакуумный пост; 13 – резервуар для хранения водорода; 14 – генератор водорода; 15 – система для охлаждения

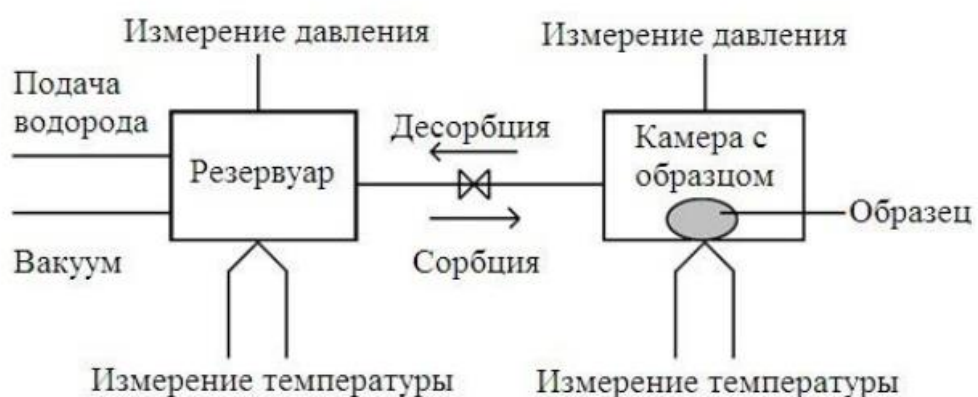


Рис. 5. Принцип работы Gas Reaction Controller LP

Целью создания сложного автоматического управления газовой реакцией является определение количества водорода, поглощенного твердыми веществами и порошком при широкой температуре и давлении. Принцип работы GRC показан на рисунке 5.

Газовый баллон содержит газ, необходимый для реакции, в этом эксперименте водород. В зависимости от давления реакции может быть определена молярная масса ( $N_0$ ) водорода, поступающего в реакционную камеру. Клапан между резервуаром для хранения водорода и реакционной камерой теперь открыт, и в это время водород попадет в реакционную камеру. В этом процессе действуют металл и водород, а металл способствует образованию водородной фазы. После реакции можно измерить остаточную массу водорода ( $N_g$ ) в газовом баллоне и неизменный водород в реакционной смеси.

Требуемый водород подается в резервуар, и молярный объем ( $N_0$ ) доставленного водорода может быть рассчитан из давления реакции камеры и термометра. После этого для переноса водорода из резервуара в реакционную камеру необходимо открыть клапан между резервуаром и реакционной камерой. Во время реакции металл подвергается реакции гидрирования для поглощения определенного количества водорода. Наконец, после завершения реакции могут быть получены молярное количество водорода в вакуумной реакционной камере и молярная масса ( $N_g$ ) неиспользованного водорода в резервуаре.

Молярное количество водорода, добавляемого в твердое вещество ( $N_S$ ), можно рассчитать по формуле (1).

$$N_S = N_0 - N_g \quad (1)$$

Если известное количество водорода ( $N_{SO}$ ) присутствует в твердом веществе до реакции, содержание водорода в этой части должно быть введено



до начала реакции. Затем начальная концентрация водорода в твердом веществе формулы 1 изменяется на формулу 2.

$$N_S = N_{S0} + N_0 - N_g \quad (2)$$

До и после реакции образца количество водорода в камере определяется давлением водорода, температурой и объемом, которое он занимает. Подставляя формулу (3) в формулу (1).

$$B(T) = B_0 - A_0/RT - c/T^3, C(T) = -B_0b + A_0a/RT - B_0c/T^3, D(T) = B_0bc/T^3 \quad (3)$$

Постоянное значение для водорода,  $A_0 = 0,1975$ ,  $a = -0,00506$ ,  $B_0 = 0,02096$ ,  $b = -0,04359$ ,  $c = 504$ . [10]

Используя уравнения (3) и (4), количество молекул газа рассчитывается по уравнению (5) при известных объемах, давлениях и температурах.

$$n = (pV/RT)/(1 + B(T) n/V + C(T) n^2/V^2 + D(T) n^3/V^3) \quad (4)$$

Из формулы (6) можно определить относительный процент поглощенного водорода (wt).

$$wt = N_S \cdot M_G / m \cdot 100 \quad (5)$$

где  $m$  – масса водорода и  $M_G$  – молярная масса газа ( $2 \cdot 1,0079$  для водорода).

Значение  $n$  было определено экспериментально. Количество поглощенного водорода определяется абсолютной величиной ( $\text{см}^3$ ) и относительной величиной (wt%). Абсолютное значение количества поглощенного водорода рассчитывается путем умножения молярного объема водорода, поглощенного твердым веществом (рассчитывается с использованием уравнения 1 или 2), на 22413,6. Относительная величина количества поглощенного водорода определяется уравнением 6

Если молярная масса образца известна, отношение (x) атома газа к атому образца может быть рассчитано по уравнению (7).

$$x = 2N_S/n/M = 2M/M_G \cdot wt/100 = M \cdot wt/100.79 \quad (6)$$

### 2.3 Принцип работы.

Существует много способов изучения диффузии водорода через металлические пленки. Одним из таких методов является диффузионное исследование с использованием электрохимической индукции. Использование этого метода было реализовано на нескольких экспериментальных установках [25, 26, 27]. Принцип работы прост: исследуемая металлическая фольга помещается между двумя электрохимическими отсеками благодаря особой конструкции стента, причем металлическая фольга герметично закреплена относительно обоих отсеков. Если через электролит протекает постоянный ток, электролит диссоциирует, ионы водорода выделяются в металлическую фольгу, а кислотные остатки усиливаются анодом, то есть ионы водорода осаждаются во входной фазе (катоде). сторона) металлической фольги изучена. Затем, благодаря процессу диффузии, водород начинает проникать через мембрану, и через определенный промежуток времени водород покидает анодную часть мембраны в катодной камере, где выделяется водород. Преимущество этого метода заключается в простоте и сложности исследования диффузии водорода в агрессивных средах. Среди недостатков можно отметить, что экспериментальная температура не изменяется при этом способе.

Можно также выбрать аналогичный метод для обнаружения диффузии водорода через металлическую пленку. Основным отличием от предыдущего метода является использование масс-спектрометра в качестве индикатора для высвобожденного водорода. Принцип работы экспериментального устройства для исследования водопроницаемости мембранным металлом методом электрохимической проницаемости и масс-спектрометрического анализа заключается в следующем [28, 29]. Исследуемая металлическая фольга помещалась между двумя отсеками, и из-за конструкции оборудования они находились в воздухе. Когда цепь замкнута, постоянный ток протекает через

электролит в первом отсеке, в результате ионы водорода высвобождаются в металлическую пленку в качестве катода, а остатки кислоты осаждаются на аноде. В течение определенного периода времени, в результате процесса диффузии, водород проникает в кристаллическую структуру мембраны и проходит через всю толщину мембраны, тем самым попадая во вторую половину длинной вакуумной камеры. Важной частью этого метода является взаимодействие между изотопами водорода и металлами для изучения.

Другой метод исследования проницаемости водорода через металлические мембраны также был реализован в нескольких экспериментальных установках [30, 31]. Одним из ключевых направлений признания является изучение взаимодействия металлов и водорода в газовой фазе. Этот тип экспериментального комплекса может использовать различные фундаментальные параметры насыщения для изучения влияния одностороннего гидрирования металлической пленки на различные процессы развития различных покрытий, что помогает в исследовании металла -водородная система в большей глубине. Интересно также изучить адсорбцию-десорбцию газа по проницаемости изучаемой фольги. Для этой цели экспериментальный комплекс был оснащен масс-спектрометром, расположенным непосредственно на вакуумной системе завода. Принцип работы аналогичен всем масс-спектрометрам, используемым для измерения давления остаточного газа: некоторые молекулы газа стробируются (положительные ионы), ионы разделяются по массе, и ион теперь измеряется за каждую массу. В отличие от предыдущих установок, этот тип установки более дорогой.

Используя модифицированную газовую камеру, о которой ниже, возможно исследование диффузии водорода при различных температурах. Принцип работы большинства установок по диффузии водорода из газовой фазы можно понять из рисунка 6.

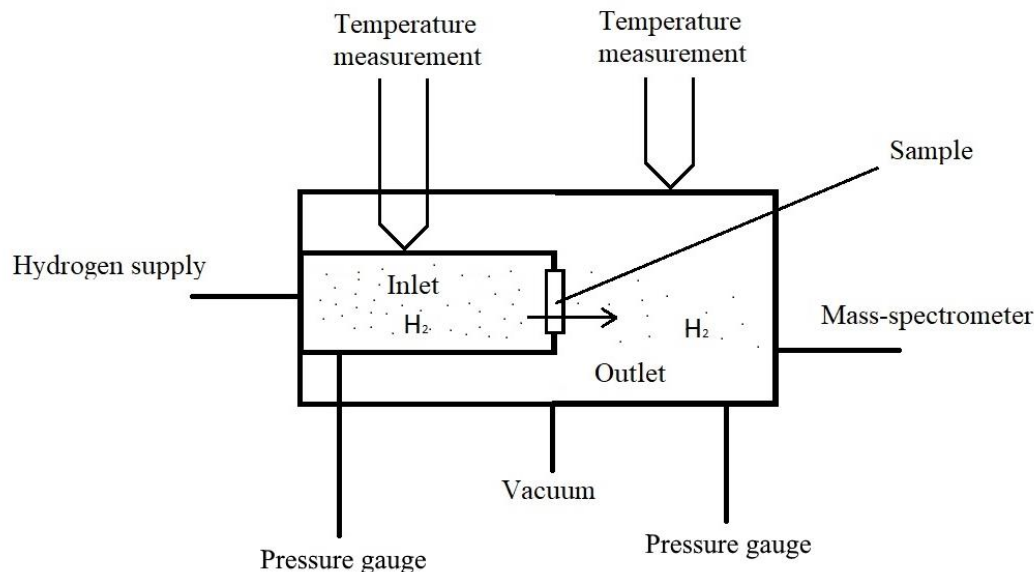


Рисунок 6. Принцип работы установок по исследованию диффузии из газовой среды

Следующий метод используется для изучения диффузии водорода: после того, как образец подготовлен, он устанавливается между входом и выходом. Далее эти объемы испаряются и нагреваются до рабочей температуры. После нагревания водород вводится в камеру. В то же время давление водорода, проходящего через образец, измеряли со стороны выхода с помощью масс-спектрометрической регистрации. В данном методе для нахождения параметров проницаемости водорода сводится к решению уравнения Фика [Error! Unknown switch argument., Error! Unknown switch argument.] с граничными условиями первого рода:

$$J = -D \frac{\partial C}{\partial x}, \quad 1)$$

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}, \quad 2)$$

$$\begin{cases} C|_{t=0} = 0, 0 \leq X \leq l \\ C|_{t \geq 0} = S_H \sqrt{P_0}, X = 0 \\ C|_{t \geq 0} = 0, X = l \end{cases} \quad 3)$$

На входной стороне образца мгновенно устанавливается концентрация, равная равновесной растворимости, а на выходной стороне в начальный момент времени концентрация водорода равна нулю.

В соответствии с первым законом Фика поток водорода сквозь мембрану единичной площади запишется следующим образом:

$$J = \frac{DS_H}{l} \left\{ 1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \left[ \cos \left( \frac{\pi n}{l} x \right) \exp \left( -\frac{D\pi^2 n^2}{l^2} t \right) \right] \right\} \quad 4)$$

Для потока на выходной стороне мембраны исходя из первого закона Фика имеем выражение:

$$J_{out} = \frac{DS_H}{l} \left\{ 1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \left[ (-1)^n \exp \left( -\frac{D\pi^2 n^2}{l^2} t \right) \right] \right\} \quad 5)$$

Для расчёта коэффициента диффузии можно воспользоваться величиной стационарного потока, имеющего следующее выражение:

$$J_{st} = J(t, l)|_{t \rightarrow \infty} = \frac{DS_H}{l} \quad 6)$$

Исследуя зависимость  $J(t)$  можно выделить характеристическую точку, это время установления половины стационарного потока  $t_{0.5}$ .

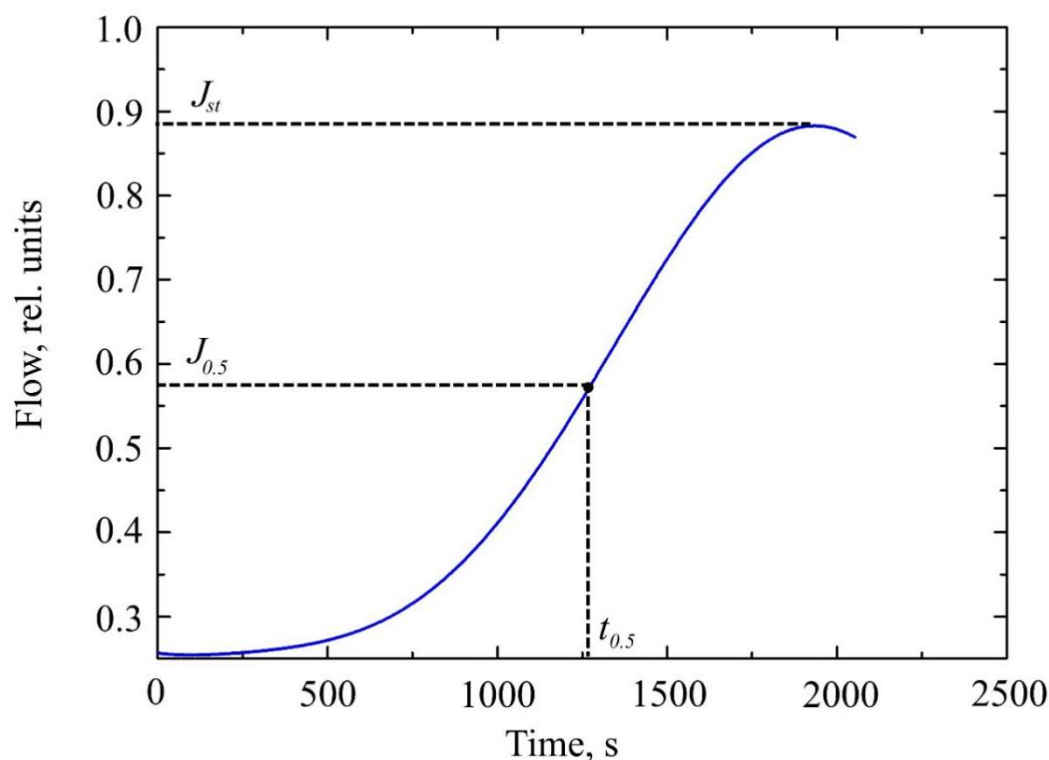


Рисунок 7. Кривая проницаемости водорода сквозь металлическую мембрану

В исследованиях с использованием масс-спектрометрического анализа для диффузии из среды с постоянной концентрацией выражение имеет следующий вид [**Error! Unknown switch argument.**]:

$$D = \frac{l^2}{4Zt_{0.5}}(7)$$

Значение коэффициента  $Z$  находится из таблицы функции интеграла вероятности  $erf(Z)=x$ . Где  $x$  – ошибка определения потока методом масс-спектрометрического анализа.

Для построения графиков зависимости  $J(t)$  необходимо представить давление на выходной стороне образца в виде потока водорода. Для этого воспользуемся уравнением Менделеева-Клайперона [35]:

$$pV = \nu RT,(8)$$

где  $p$  – давление водорода в выходном объеме;  $V$  – объем выходной части камеры;  $\nu$  – количество водорода;  $R$  – универсальная газовая постоянная;  $T$  – температура в камере.

Выразив  $\nu$  из уравнения (8) получим:

$$\nu = \frac{pV}{RT} \quad (9)$$

Поток водорода можно рассчитать, как поток газа, изменяющегося по времени. Зная количество водорода и время получаем:

$$J(t) = \frac{\nu}{\Delta t}, \quad (10)$$

где  $\Delta t$  – время за которое происходит изменение количества водорода.

## **2.4 Конструкция и основные компоненты.**

Для изучения водородопроницаемости использовался автоматический комплекс GRC (Gas Reaction Controller). Этот композит может изучать взаимодействие водорода с конструкционными материалами при температурах в диапазоне от 300К до 1223К и давлении проникновения водорода до 50 атм.

Полка включает вакуумную систему, генератор водорода и персональный компьютер, используемый для управления системами впуска и выпуска.

Вакуумная система GRC (рис. 8) позволяет создать необходимые условия для эксперимента. Использование генератора водорода HyGen 200 BAYNZZA позволяет использовать специфический концентрированный (99,9999%) водород, что повышает точность эксперимента. Персональный компьютер контролировал параметры эксперимента во время работы, а также записывал

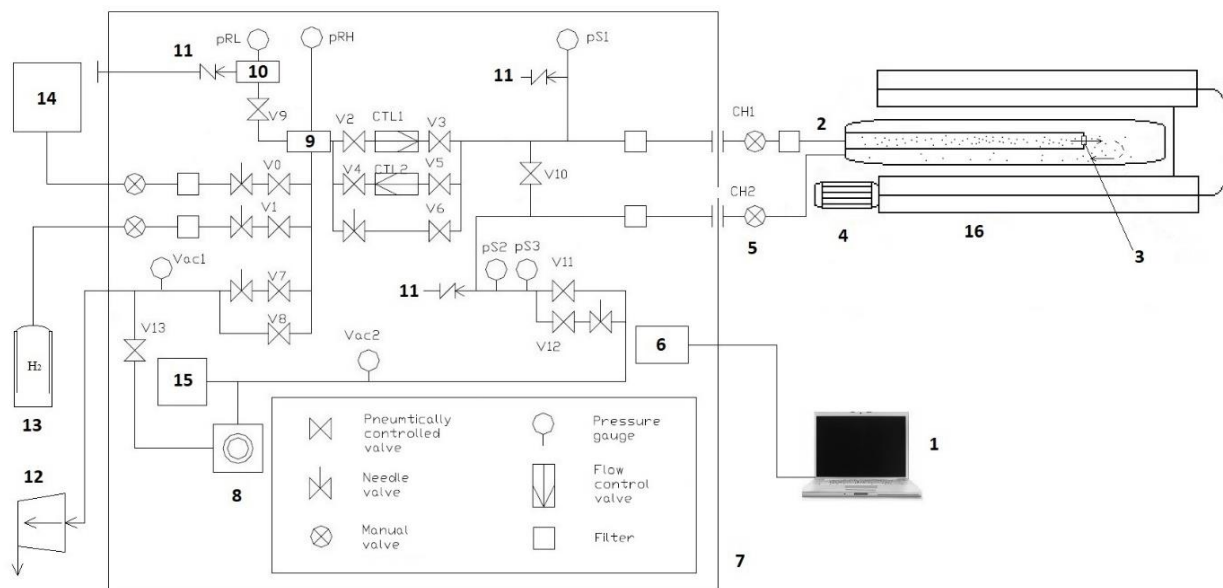


Рисунок 8. Схема автоматизированного комплекса GasReactionController: 1 – компьютер; 2 – соединительная трубка входного объема; 3 – камера; 4 – вентилятор; 5 – соединительная трубка выходного объема; 6 – электронная система управления комплексом; 7 – контроллер; 8 – высоковакуумный насос; 9 – резервуар высокого давления; 10 – резервуар низкого давления; 11 – система экстренного удаления водорода; 12 – форвакуумный насос; 13 – баллон с водородом; 14 – генератор водорода; 15 – масс-спектрометр; 16 – высокотемпературная печь

Используйте масс-спектрометр, подключенный к выходному пространству в студии, для регистрации газа на стороне выхода образца и определения давления остаточного газа в диапазоне давления от  $10^{-4}$  до  $10^{-8}$  мТорр. Высокая температура печи обеспечивает температуру, необходимую для предварительного отжига эксперимента с образцом.

После установления стационарного потока регистрация водорода и оставшегося водорода снижается. Аналогичным образом температуру



понижали до комнатной температуры для получения экспериментального образца.

В данной работе используется модифицированная газовая камера (рисунок 4), разработанная в отделении экспериментальной физики Инженерной Школы Ядерных технологий НИ ТПУ.

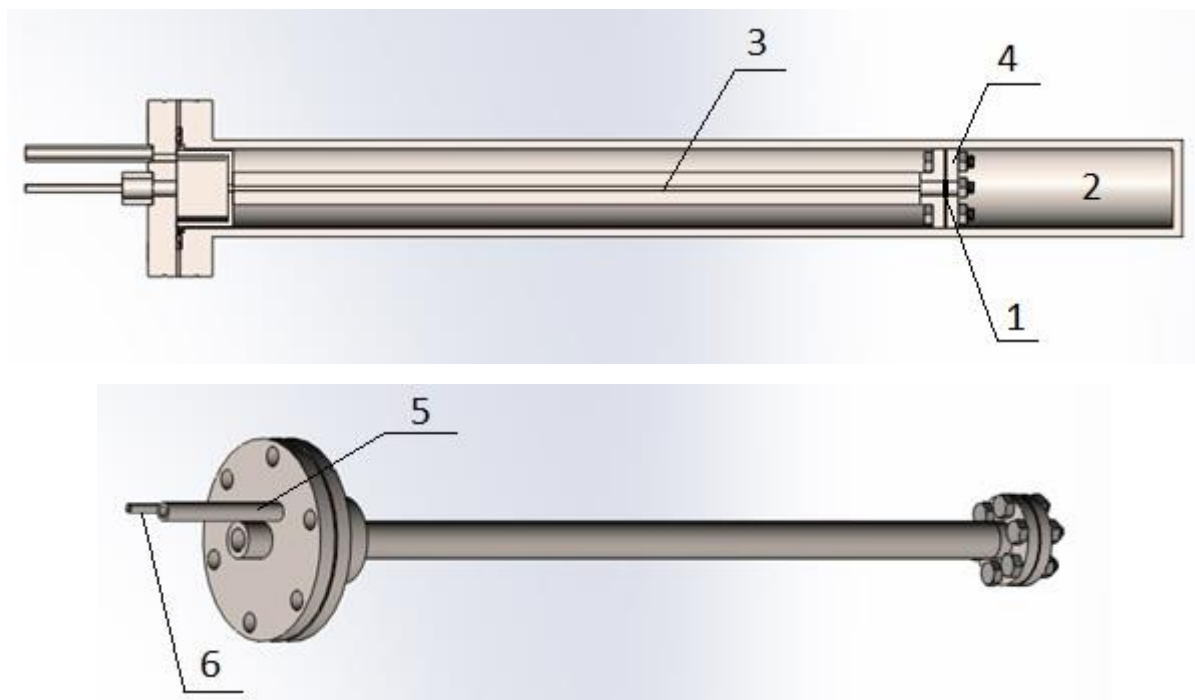


Рисунок 9. Модифицированная вакуумная камера: 1 – образец; 2 – выходной объем; 3 – входной объем; 4 – прижимная пластина; 5 – соединительная трубка входного объема; 6 – соединительная трубка выходного объема

## ГЛАВА 3 Результаты и их обсуждение.

Для решения задач, связанных с исследованием диффузии водорода, реализуется следующая методика проведения эксперимента:

**1. Подготовка экспериментальных образцов.** Цилиндрические образцы циркониевого сплава Э110 диаметром 10 мм подвергаются шлифованию для утонения до толщины 100 мкм и придания гладкой поверхности с помощью наждачной бумаги с маркировками по ISO-6344 600, 1500, 2000 и 2500. Далее производится нанесение на поверхность слоя никеля методом магнетронного распыления [**Error! Unknown switch argument.**].

**2. Подготовка установки.** Для исследования проницаемости водорода используется модифицированная вакуумная камера, представленная на рисунке 5. Исследуемый образец помещается между входным и выходным объемами. Далее происходит его закрепление с помощью пластины 7. По трубкам 5 и 6 из камеры откачиваются газы до давления порядка  $10^{-6}$  мбар. С помощью высокотемпературной печи газовая камера нагревается до необходимой температуры.

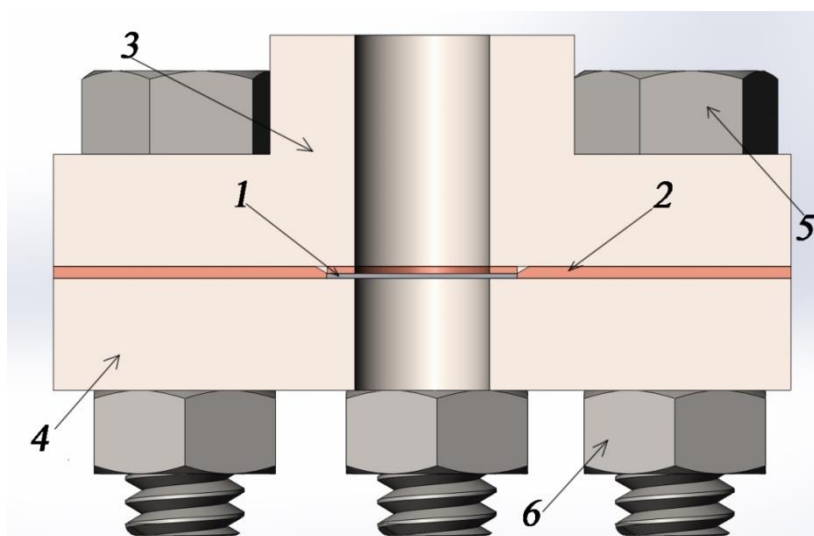


Рисунок 10. Сборка образца в вакуумной камере в разрезе: 1 – образец, 2 – медная прокладка, 3 – вакуумный фланец, 4 – прижимной фланец, 5 – болт, 6 – гайка.

**3. Напуск водорода.** Используя генератор водорода во входной объем камеры подается водород. Одновременно с этим начинается регистрация давления водорода с выходной стороны образца с помощью масс-спектрометра. С другой стороны возможно параллельное исследование процессов одностороннего наводораживания экспериментальных образцов. Для этого производится регистрация давления водорода во входном объеме газовой камеры. Это позволяет рассчитать скорость сорбции.

Анализируя полученную диффузионную кривую для циркониевого сплава Э110 с нанесенным на поверхность никелевым покрытием (рисунок 11) можно выделить несколько характеристических точек. Данные точки связаны с изменением значения касательной к графику функции потока от времени. Точка  $t_1$  – характеризует начало превращения  $\alpha$  – фазы циркония в метастабильную  $\gamma$  – фазу. Точка  $t_2$  – характеризует начало диффузии в  $\alpha + \delta$  – фазе циркония. Точка  $t_3$  – характеризует полное превращение  $\alpha$  – фазы в  $\delta$  – фазу.

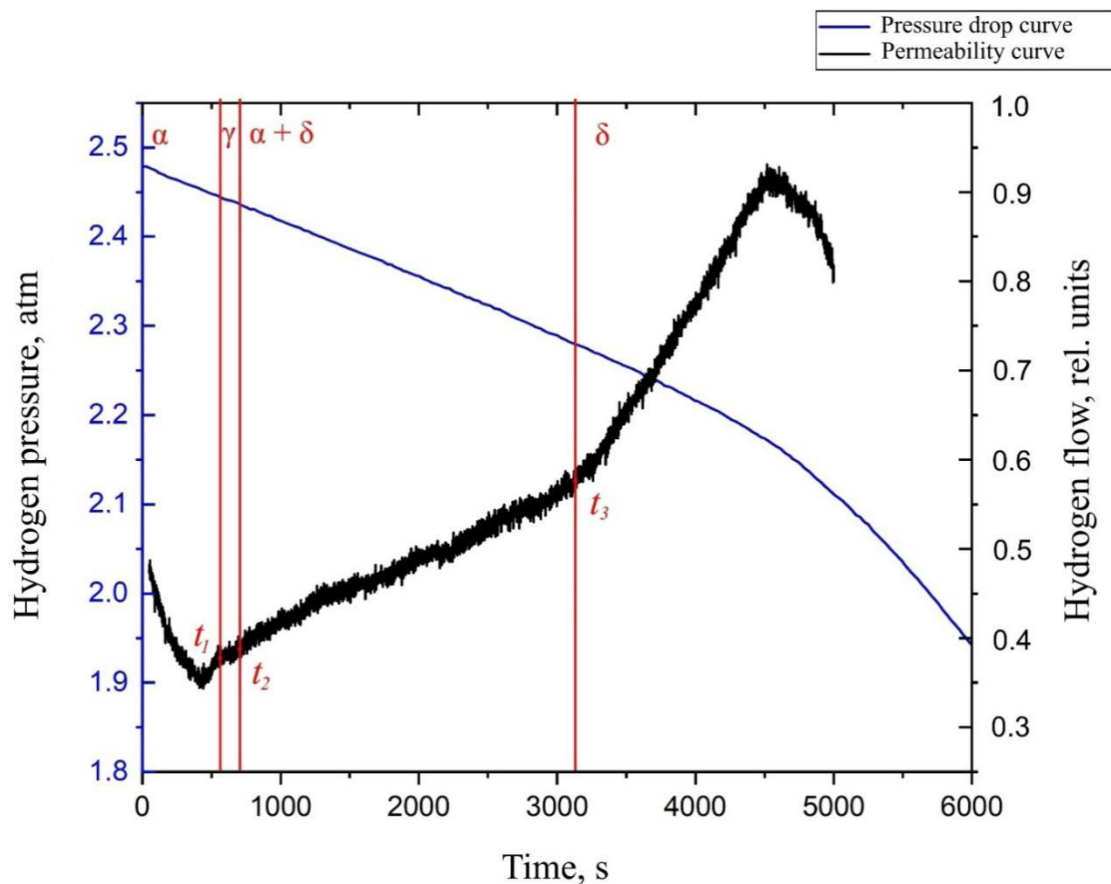


Рисунок 11. Кривая проницаемости водорода в циркониевом сплаве Э110 с нанесенным на поверхность тонким слоем никеля при температуре 550 °С.

Данные точки хорошо коррелируются с экспериментальными данными, полученными путем применения синхротронного облучения для дифракции рентгеновских лучей при наводороживании циркониевого сплава Zr1%Nb из газовой среды [Error! Unknown switch argument.]. При температуре 550 °С имеются следующие данные (рисунок 12). Из графика можно заметить, что при наводороживании исследуемых образцов время существования  $\alpha$  – фазы ограничено 10 минутами. Метастабильная  $\gamma$  – фаза существует не более 5 минут. Далее можно заметить присутствие  $\delta$  – гидрида циркония.

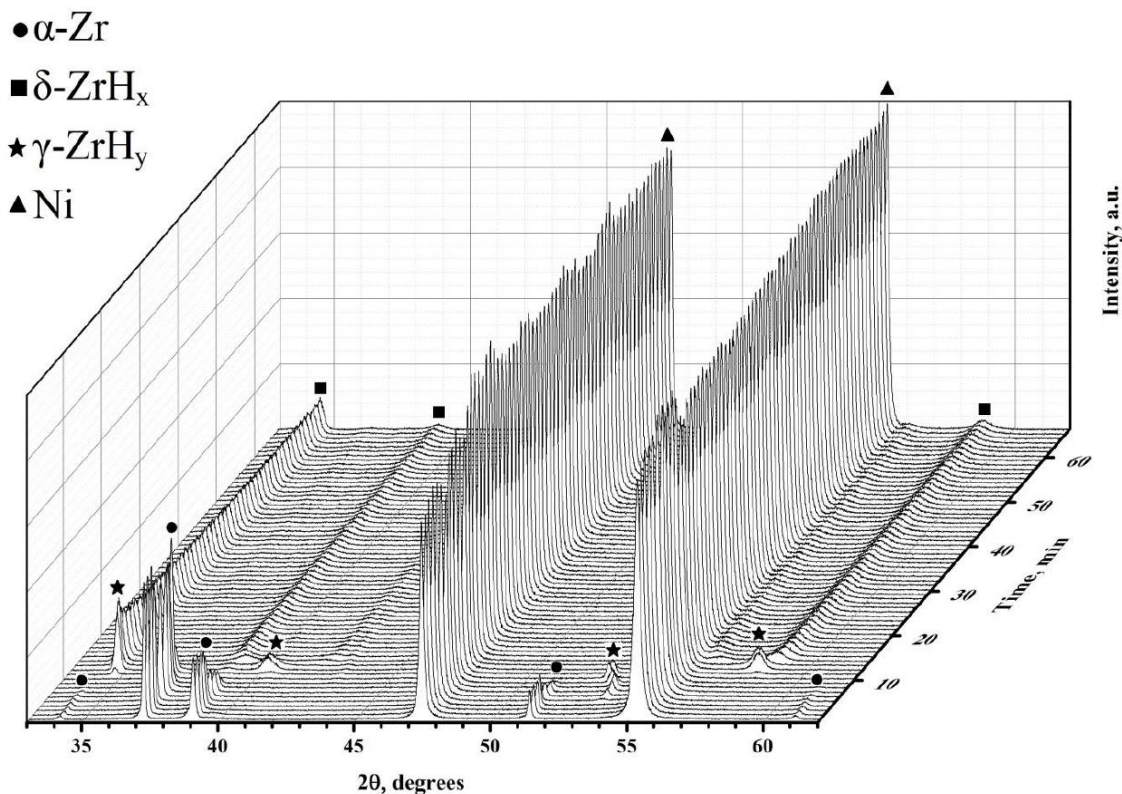


Рисунок 12. Фазовые переходы в системе Zr-H со слоем Ni во время наводораживания при температуре 550 °С.

Также можно заметить, что скорость изменения давления во входном объеме меняется только после завершения всех фазовых превращений и полного прорыва водорода сквозь  $\delta$  – гидрид циркония. Это может свидетельствовать о том, что скорость сорбции водорода в различных фазах циркония одинакова.

Сравнительные данные представлены в таблице 3.

Таблица 3. Сравнительные данные времени фазовых превращений при различных методиках исследования систем металл – водород.

Методика эксперимента	Время существования, мин.		
	$\alpha$ – фаза	$\gamma$ – фаза	$\delta$ – гидрид

Высокотемпературная проницаемость	10	3	-
Дифракция рентгеновских лучей при наводороживании	10	5	-

Используя выражение (9) рассчитаем коэффициент диффузии для  $\alpha$  и  $\delta$  фаз циркония. Коэффициент  $Z$  найдем как аргумент интеграла вероятности, значением которого выступит максимальная ошибка определения функции потока от времени.

Полученные данные представлены в таблице 4.

Таблица 4. Полученные параметры при исследовании диффузии в  $\alpha$  – и  $\delta$  – цирконии

Параметр	$\alpha$ – цирконий	$\delta$ – гидрид
Время установления половины стационарного потока, сек	505	3870
Максимальная ошибка значения	$4.107 \cdot 10^{-4}$	0.0103
Значение коэффициента $Z$	$10^{-3}$	$3,98 \cdot 10^{-3}$
Коэффициент диффузии, $\text{см}^2/\text{с}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$1,6 \cdot 10^{-6}$
Литературные данные коэффициента диффузии, $\text{см}^2/\text{с}$	$2,5 \cdot 10^{-5}$ [37]	$1,8 \cdot 10^{-7}$ [37]

В случае  $\alpha$  – циркония различие в коэффициентах диффузии не существенно, что говорит о работоспособности методики расчета. В случае же  $\alpha + \delta$  – гидроцидрона циркония диффузия направлена лишь на накопление водорода в материале и стабилизацию  $\delta$  – гидроцидрона циркония. Различие в коэффициентах диффузии в  $\delta$  – гидроцидроне циркония заключается в следующем: теоретические данные получены для уже стабильного  $\delta$  – гидроцидрона, а экспериментальные данные получены в ходе фазовых превращений  $\alpha$  – циркония в  $\delta$  – гидроцидрон. В

данном случае в исследуемом образце уже присутствует диффундирующий водород, следовательно, можно лишь заметить изменение скорости диффузии.

## **Глава 4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ**

Целью выпускной квалификационной работы является исследование высокотемпературной проницаемости водорода в циркониевом сплаве Э110 с нанесенным.

Цель раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» состоит в том, чтобы доказать целесообразность разработки и создания технического проекта, являющегося частью окончательной идентификационной работы, с учетом плана эксперимента, временных и материальных затрат.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- произвести анализ конкурентных технических решений;
- выполнить анализ по технологии QuaD(QUalityADvisor);
- произвести оценку технологического проекта при помощи SWOT-анализа;
- рассчитать затраты на проведение проектной работы;
- выполнить планирование проектно-конструкторских работ;

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

#### **4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования**

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

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





*Сегментирование* – это разделение покупателей на однородные группы, для каждой из которых может потребоваться определенный товар (услуга). Можно применять географический, демографический, поведенческий и иные критерии сегментирования рынка потребителей, возможно применение их комбинаций с использованием таких характеристик, как возраст, пол, национальность, образование, любимые занятия, стиль жизни, социальная принадлежность, профессия, уровень дохода.

В зависимости от категории потребителей (коммерческие организации, физические лица) необходимо использовать соответствующие критерии сегментирования. Например, для коммерческих организаций критериями сегментирования могут быть: месторасположение; отрасль; выпускаемая продукция; размер и др.

Для физических лиц критериями сегментирования могут быть: возраст; пол; национальность; образование; уровень дохода; социальная принадлежность; профессия и др.

По результатам проведенного сегментирования рынка были определены основные сегменты, а также выбраны наиболее благоприятные.

Таблица 1 Карта сегментирования рынка

Профиль	Видспособ	
	методраспыления	методобратимогоогидрирования
Минимальнаястоимость		
Самыйбольшойвыход		

Таким образом, наиболее благоприятным сегментом и направлением для исследования была выбрана метод обратимого гидрирования.

#### 4.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим конкурентам. 54 Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Таблица 2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
1. Повышение производительности	0,15	4	3	2	0,6	0,45	0,3
2. Удобство в эксплуатации	0,05	3	3	3	0,15	0,15	0,15
3. Энергоэкономичность	0,08	5	4	4	0,4	0,32	0,32
4. Надежность	0,08	5	3	3	0,4	0,24	0,24
5. Безопасность	0,1	5	5	5	0,5	0,5	0,5
6. Простота эксплуатации	0,05	4	3	3	0,2	0,15	0,15
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
1. Конкурентоспособность продукта	0,11	4	3	3	0,44	0,33	0,33
2. Уровень проникновения на рынок	0,05	1	2	2	0,05	0,1	0,1
3. Цена	0,08	4	4	3	0,32	0,32	0,24
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,07	4	4	4	0,28	0,28	0,28
5. Финансирование научной разработки	0,08	3	5	4	0,24	0,4	0,32
6. Срок выхода на рынок	0,05	4	4	4	0,2	0,2	0,2
7. Наличие сертификации разработки	0,05	1	3	3	0,05	0,15	0,15
<b>Итого</b>	<b>1</b>				<b>3,83</b>	<b>3,59</b>	<b>3,28</b>

Где Б<sub>к1</sub>-метод распыления Б<sub>к2</sub>-метод обратимого гидрирования

Рассматриваемые в проекте решения имеют наиболее высокий коэффициент конкурентоспособности в сравнении с конкурентами.

Таблица 3 - SWOT-анализ проекта

	<p>Сильные стороны научно- исследовательского проекта: С1. Исполнение из российских комплектующих С2 Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии. С3. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Слабая универсальность проекта, т.к. он разрабатывается под конкретную станцию. Сл2. Отсутствие возможности сбора опытного образца</p>
<p>Возможности: В1. Наличие конкретного заказа на данный проект. В2. Наличие комплектующих в свободном доступе на российском рынке.</p>	<p>Проект исполнить из отечественных комплектующих под конкретного заказчика.</p>	<p>Наличие конкретного заказа гарантирует оплату заказчиком проекта.</p>
<p>Угрозы: У1. Сложность приемки и оформления новых проектов проверяющей организацией У2. Развитая конкуренция технологий производства У3. Возможность введения дополнительных государственных требований к такого рода системам</p>		<p>Согласовать проект с проверяющей организацией на этапе проектирования.</p>

--	--	--

После анализа сильных и слабых сторон, а также возможностей и угроз проекта, были сделаны следующие основные выводы:

1) Необходимо исполнить проект из отечественных комплектующих под конкретного заказчика.

2) Из-за отсутствия возможности сборки опытного образца, а также из-за сложности приемки и оформления новых проектов со стороны проверяющих организаций, необходимо согласовать проект до начала монтажных работ.

## **4.2 Планирование научно – исследовательских работ**

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

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой входят дипломник, научный руководитель, консультант по части социальной ответственности (СО) и консультант по экономической части (ЭЧ) ВКР. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей. Составим перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, проведем распределение исполнителей по видам работ. Примерный порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 4.

Таблица 4 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
1	2	3	4
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
	2	Подбор и изучение материалов по теме	Дипломник
Выбор направления исследований	3	Выбор направления исследований	Руководитель, Дипломник
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, Дипломник
Теоретические и расчетные исследования	5	Проведение теоретических исследований, изучение литературы	Дипломник
	6	Проведение расчетов	Руководитель, Дипломник
	7	Сопоставление результатов расчетов с теоретическими данными	Дипломник
Обобщение и оценка результатов	8	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель
	9	Определение целесообразности проведения ОКР	Дипломник, руководитель
<i>Проведение ОКР</i>			
Разработка технической документации и проектирование	10	Сбор информации по охране труда	Дипломник
	11	Оформление результатов по охране труда	Дипломник
	12	Подбор данных для выполнения экономической части работы	Дипломник
	13	Оформление экономической части работы	Дипломник
Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ОКР)	14	Составление пояснительной записки	Дипломник, руководитель

#### 4.2.2 Определение трудоемкости работ

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

$$t_{ож} = \frac{3t_{\min} + 2t_{\max}}{5} \quad (4.1)$$

где  $t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы чел.-дн.;

$t_{min i}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

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

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_p$ , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы.

$$T_{p i} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i} \quad (4.2)$$

где  $T_{p i}$  – продолжительность одной работы, раб.дн.;

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

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

### 4.2.3 Таблица проведения научного исследования

Таблица проведения научного исследования приведен в таблице 5.

Таблица 5 – Календарный план проекта

№ этапа	Наименование этапа	Кол-во человек	Продолжительность работ			$T_{pi}$ (дн)
			$t_{min}$ (дн)	$t_{max}$ (дн)	$t_{ож}$ (дн)	
1	2	3	4	5	6	7
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	1	1	1	1
2	Подбор и изучение материалов по теме	Дипломник	2	2	2	2
3	Выбор направления исследований	Руководитель, Дипломник	1 2	1 5	1 3	1 3
4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, Дипломник	1 4	1 10	1 7	1 7
5	Проведение теоретических исследований, изучение литературы	Дипломник	3	8	6	6
6	Проведение расчетов	Руководитель, Дипломник	1 3	1 5	1 4	1 4
7	Сопоставление результатов расчетов с теоретическими данными	Дипломник	3	5	4	4
8	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель	6	6	6	6
9	Определение целесообразности проведения ОКР	Руководитель, Дипломник	10 3	12 5	11 4	11 4
10	Сбор информации по охране труда	Дипломник	3	5	4	4
11	Оформление результатов по охране труда	Дипломник	3	5	4	4
12	Подбор данных для выполнения экономической части работы	Дипломник	2	4	3	3
13	Оформление экономической части работы	Дипломник	2	4	3	3
14	Составление пояснительной записки	Руководитель, Дипломник	1 9	1 14	1 12	1 12
	Всего дней	Руководитель, Дипломник				22 56

### 4.3 Стоимость бюджета

#### 4.3.1 Бюджет материальных затрат

Стоимость сырья, закупленных деталей и расходных материалов для лаборатории показана в таблице 6.

Таблице 6 Стоимость сырья, закупленных деталей и расходных материалов

Наименование	Количество	Цена	Сумма, руб.
Сплав э110 порошок	100 г	48 руб./ г	4800
Бумага	400 листов	0,6 руб./лист	240
Тетрадь	4 шт.	15 руб./шт.	60
Ручка	3 шт.	10 руб..шт.	30
Карандаш	5 шт.	8 руб./шт.	40
Сумма			5170

#### 4.3.2 Расчет амортизации оборудования

При вычислении амортизации оборудования срок полезного использования принимается равным 5 лет. Амортизация оборудования вычисляется по формуле:

$$A = \frac{Ц*N}{5*365} \quad (4.3)$$

где Ц–стоимость приобретения оборудования, N–количество дней использования оборудования при выполнении проекта.

Таблица 7 Амортизацияоборудований

Наименованиеоборудования	Ц е н а	Длительностьиспользования, дн.	Амортизация, руб.
--------------------------	------------------	--------------------------------	----------------------



	<b>единиц ы оборудован ия, тыс.руб.</b>		
Автоматизированный комплекс Gas Reaction Controller	4500	2	4931
Сканирующий электронный микроскоп Quanta 200 3D	30000	1	16438
Персональный компьютер	40	120	2630
Установка «PVD»	2700	15	22191
<b>Итого</b>			<b>46190</b>

#### 4.3.3 Расчет основной и дополнительной заработной платы

Заработная плата равна сумме основной ( $Z_{осн}$ ) и дополнительной ( $Z_{доп}$ ) заработной платы:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп} \quad (4.4)$$

Основная заработная плата работников определяется с помощью формулой:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб} \quad (4.5)$$

где  $Z_{дн}$  – среднедневная заработная плата (руб.),  $T_{раб}$  – продолжительность работ (раб. дн.).  $Z_{дн}$  может быть определена с помощью формулы:

$$Z_{дн} = Z_{м} / 24,83 \quad (4.6)$$

учитывающей, что в году 298 рабочих дней и, следовательно, в месяце в среднем 24,83 рабочих дня (при шестидневной рабочей неделе).

Таблица 8 Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	97	140
Количество не рабочих дней		
- выходные дни	16	19
- праздничные дни	3	3
Потери рабочего времени		
- отпуск	12	15
- невыходы по болезни	-	2
Действительный годовой фонд рабочего времени	66	101

Месячный должностной оклад работника определяется по формуле:

$$Z_m = Z_b \cdot (k_{пр} + k_d) \cdot k_p \quad (4.7)$$

где  $Z_b$  – базовой оклад (руб.),  $k_{пр}$  – премиальный коэффициент,  $k_d$  – коэффициент доплат и надбавок,  $k_p$  – районный коэффициент (для Томска равен 1,3).

Дополнительная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} \quad (4.8)$$

где  $k_{доп}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (при расчете принимается равным 0,12)

Результаты расчетов основной и дополнительной заработной платы приведены в таблице 9.

Таблица 9 Расчет заработной платы

Исполнители	$Z_b$ , руб.	$k_{пр}$	$k_d$	$k_p$	$Z_m$ , руб.	$Z_{дн}$ , руб.	Тр. раб. дн.
Руковод	35000	0	0	1,3	45500	1832	66

итель							
Дипломник	6000	0	0	1,3	7800	314	101

Рассчитываем отчисления на социальные нужды (27,1%):

$$Q_{\text{соц.м.}} = 0,271 * \text{ЗП руб.} \quad (4,9)$$

Таблица 10 – Заработанная плата одного исполнителя НИР

	Заработная плата	Социальные отчисления
Руководитель	135422	36670
Исполнитель	34319	9300
<b>ИТОГО</b>	<b>169741</b>	<b>45970</b>

#### Выводы по разделу

Общие расходы на эту работу приведены в таблице 11.

Наименование статьи	Сумма, руб.
Материальные затраты	5170
Амортизация оборудования	46190
Заработанная плата	169741
Отчисления на социальные нужды	45970
<b>Итого, руб.</b>	<b>267071</b>

Эксперимент все еще находится на стадии исследования и не предусматривает коммерческого применения, поэтому его экономическую эффективность невозможно оценить.

## **Глава 5 Социальная ответственность**

### **Введение**

Социальная ответственность или корпоративная социальная ответственность (как морально-этический принцип) это ответственность перед людьми и данными им обещаниями, когда организация учитывает интересы коллектива и общества, возлагая на себя ответственность за влияние их деятельности на заказчиков, поставщиков, работников, акционеров (ICCSR 26000:2011).

Данная научно-исследовательская работа выполнялась в помещении отделения в ТПУ общей физики третьего корпуса Томского Политехнического университета в кабинете Н2.

Помещение оснащено видео-дисплейными терминалами(ВДТ), персональными электронно-вычислительными машинами(ПЭВМ), компьютерными столами, стульями и противопожарной сигнализацией.

Помещение относится к классу помещений без повышенной опасности, так как отсутствуют условия, создающие повышенную или особо повышенную опасность. Отсюда вытекает актуальность данной работы.

В данном разделе рассматривается исследование факторов безопасности в лаборатории.

Для достижения поставленной цели были определены следующие **задачи**:

1. Исследование правовых и организационных вопросов обеспечения безопасности.
  2. Исследование производственной безопасности.
  3. Исследование экологической безопасности.
- Исследование безопасности в чрезвычайных ситуациях.

## 5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

### 5.1.1 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя.

Согласно ГОСТ 12.2.032 – 92, Организация рабочего места должна иметь следующие характеристики:

1) рабочий стол должен быть устойчивым, иметь однотонное неметаллическое покрытие, не обладающее способностью накапливать статическое электричество;

2) рабочий стул должен иметь дизайн, исключающий онемение тела из-за нарушения кровообращения при продолжительной работе на рабочем месте;

3) рабочее место должно соответствовать техническим требованиям и санитарным нормам.

Конфигурация, предусмотренная для персонала, должна соответствовать требованиям СанПиН 2.2.2 / 2.4.1340-03:

- При использовании ПВЭМ с ВДТ на базе ЭЛТ (без вспомогательных устройств - принтер, сканер и др.), отвечающих требованиям международных стандартов безопасности компьютеров, с продолжительностью работы менее 4 часов в день допускается минимальная площадь 4,5 м<sup>2</sup>

- Освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 300-500 лк. Освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана. Освещенность поверхности экрана не должна быть более 300 лк.

Схема рабочей зоны представлена на рисунке 5.1.

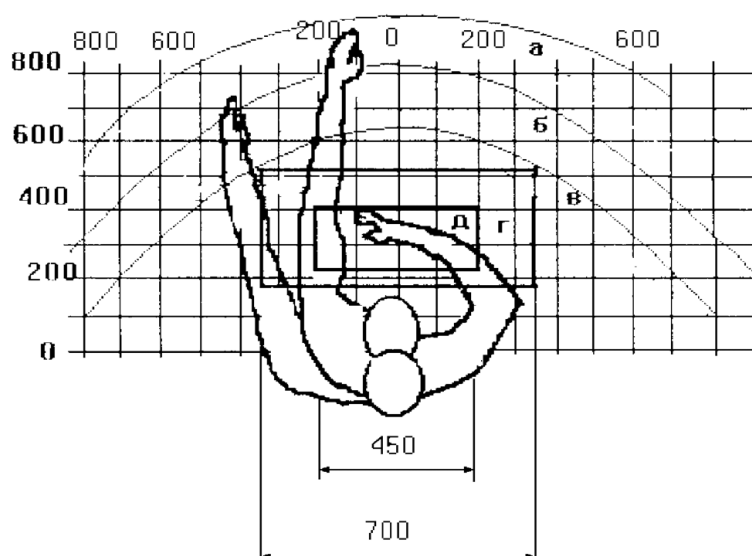


Рисунок 5.1 – Схема рабочей зоны с зонами досягаемости. а - зона максимальной досягаемости; б - зона досягаемости пальцев при вытянутой руке; в - зона легкой досягаемости ладони; г - оптимальное пространство для грубой ручной работы; д - оптимальное пространство для тонкой ручной работы.

## 5.2 Производственная безопасность

### 5.2.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования.

Согласно ГОСТ 12.0.003-2015 опасные и вредные факторы по их воздействию на организм можно разделить на следующие группы:

- физические;
- химические;
- психофизиологические;
- биологические.

Опасные и вредные факторы, которые присутствуют в данной работе представлены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разра ботка планов и поиск литератур ы.	Алгоритм записи	Обсуждени ерезу льтатов	
Повышенно е значение напряжения в электрической цепи, замыкание	+	+	+	1. Требования к освещению устанавливаются СП 52.13330.2016[59]

которой может произойти через тело человека				2. Требования к электромагнитному излучению
Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	+	устанавливаются ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Общие требования безопасности[33].
Электромагнитные излучения	+	+		
Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	+	+	+	3. Требования к контактному напряжению устанавливаются ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов[40].

Перечисленные факторы могут оказывать влияние на здоровье, а также приводить к аварийным и опасным ситуациям, в связи с этим их необходимо контролировать в соответствии с перечисленными в таблице нормами и требованиями.

### **5.2.2 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований**

#### **Уровень электромагнитного излучения**

Уровень электромагнитных излучений на рабочем месте оператора ПЭВМ является вредным фактором производственной среды, величины параметров которого определяются СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Основными источниками электромагнитных излучений в помещениях для работы операторов ПЭВМ являются дисплеи компьютеров и мобильных устройств, сеть электропроводки, системный блок, устройства бесперебойного питания, блоки питания.

Воздействие электромагнитных полей на человека зависит от напряженностей электрического и магнитного полей, потока энергии, частоты колебаний, размера облучаемой поверхности тела и индивидуальных особенностей организма.

Нарушения в организме человека при воздействии электромагнитных полей незначительных напряжений носят обратимый характер. При воздействии полей, имеющих напряженность выше предельно допустимого уровня, развиваются нарушения со стороны нервной, сердечно-сосудистой систем, органов пищеварения и некоторых биологических показателей крови.

Согласно технической спецификации, мониторы, соответствуют стандарту ТСО'03. Это значит, что напряженность электромагнитного поля вокруг монитора по электрической составляющей в диапазоне частот 5 Гц–2 кГц составляет не более 10 В/м, что соответствует нормам ТСО'03 и СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы».

Согласно СанПиН 2.4.1340-03 напряженность электромагнитного поля на расстоянии 50 см вокруг ВДТ по электрической составляющей должна быть не более:

в диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц – 25 в/м;

в диапазоне частот 2 – 400 кГц – 2.5 в/м.

**Недостаточная освещенность рабочей зоны**



Недостаточная освещенность рабочей зоны является вредным производственным фактором, возникающим при работе с ПЭВМ, уровни которого регламентируются СП 52.13330.2016.

Источник естественного освещения – поток энергии солнца. Естественное освещение является наиболее гигиеничным. Спектр естественного освещения наиболее благоприятен для глаз человека. Входящее в состав солнечного спектра ультрафиолетовое излучение имеет важное значение для здоровья человека, однако оно практически полностью задерживается при прохождении сквозь обычное стекло, поэтому не проникает внутрь помещений.

Однако по условиям зрительной работы в лаборатории естественного освещения, как правило, недостаточно, поэтому на рабочих местах оказывается задействованным и искусственное освещение. Оно может быть обеспечено с помощью люминесцентных ламп ЛВ (белого цвета) мощностью 20, 40, 80 Вт. Для рабочих мест с искусственным освещением регламентирована допустимая освещенность, согласно действующим санитарным нормам и правилам СП 52.13330.2016.

При нехватке освещенности человек испытывает дискомфорт и вследствие всего могут развиваться психические заболевания, ухудшение зрения, снижение концентрации. В рассматриваемом офисном помещении освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа равна 300 лк. Освещение не создает бликов на поверхности экрана. Освещенность поверхности экрана равна примерно 300 лк. Яркость светильников общего освещения в зоне углов излучения от 50 до 90 градусов с вертикалью в продольной и поперечной плоскостях составляет не более 200 кд/м<sup>2</sup>.

Причиной недостаточной освещенности являются недостаточность естественного освещения, недостаточность искусственного освещения, пониженная контрастность.

Работа с компьютером подразумевает постоянный зрительный контакт с дисплеем ПЭВМ и занимает от 80 % рабочего времени. Недостаточность освещения снижает производительность труда, увеличивает утомляемость и количество допускаемых ошибок, а также может привести к появлению профессиональных болезней зрения.

В таблице 5.2 представлены нормативные показатели искусственного освещения при работах заданной точности.

Таблица 5.2 Требования к освещению помещений промышленных предприятий для операторов ПЭВМ

Характеристика работ	Наименьший или эквивалентный размер объекта различения, мм	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Контраст объекта с фоном	Характеристики фона	Искусственное освещение		
						Освещённость, лк		
						При комбинированном освещении		При системе общего освещения
в сегментах	в том числе от общего	В том числе от общего						
Высокой точности	От 0,3 до 0,5	III	г	Средний, большой	Светлый, средний	400	200	200

### **5.2.3 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов.**

К числу факторов, ухудшающих здоровье пользователей компьютерной техники, относятся электромагнитные и электростатические поля, акустические шумы, изменения ионного состава воздуха и параметры микроклимата в помещении. Важную роль играют эргономические параметры экрана монитора (дисплея), состояние освещения на рабочем месте, параметры мебели и характеристики помещения, в котором расположено компьютерное оборудование.

Для внутренней отделки интерьера помещений с ПЭВМ должны использоваться диффузионно-отражающие материалы с коэффициентом отражения от потолка – 0.7 - 0.8; для стен – 0.5 - 0.6; для пола – 0.3 - 0.5.

Опасным фактором при работе на ПК является электрический ток. Степень опасного воздействия на человека электрического тока зависит от:

- тип и величина напряжения и тока;
- частота электрического тока;
- текущие пути через организм человека;
- продолжительность воздействия на организм человека;
- условия окружающей среды.

Согласно ПУЭ пост управления №8 по степени опасности поражения электрическим током можно отнести к классу помещений без повышенной опасности.

Основными мероприятиями по защите от электропоражения являются:

- обеспечение недоступности токоведущих частей путем использования изоляции в корпусах оборудования;
- применение средств коллективной защиты от поражения

электрическим током;

- защитного заземления;
- защитного зануления;
- защитного отключения;
- использование устройств бесперебойного питания.

Технические способы и средства применяют отдельно или в сочетании друг с другом так, чтобы обеспечивалась оптимальная защита.

Контроль выполнения требований электробезопасности должен проходить на следующих этапах:

- проектирование;
- реализация;
- эксплуатация.

### **5.3 Экологическая безопасность**

#### **5.3.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду**

Разработанный макет лаборатории предполагает использование компьютера. Использование этих устройств напрямую связано с использованием электричества. Развитие энергетики оказывает существенное влияние на окружающую среду, являясь источником различных видов загрязнения воздуха, воды, земной поверхности и ее недр, а также основным потребителем топливных ресурсов, определяющих уровень его производства.

#### **5.3.2 Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду**

Наш компьютер отвечает высоким требованиям безопасности работы. Эти устройства соответствуют требованиям следующих международных стандартов безопасности для электрооборудования, применяемого для измерения, контроля и лабораторных исследований:

- IEC 61010-1, EN 61010-1;
- UL 61010-1, CSA 61010-1.

Основное влияние на окружающую среду заключается в образовании и поступлении твердых отходов в виде отработанных ПК, их компонентов и содержащихся в них вредных веществ.

### **5.3.3 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды**

Охрана окружающей среды от загрязнений – не только важнейшая задача улучшения здоровья людей и сохранения природы, но и серьезный фактор увеличения эффективности производства. Загрязнение атмосферы и водных источников приводит к снижению отдачи всех видов производственных ресурсов народного хозяйства: уменьшению производительности труда, эффективности работы оборудования, снижению качества продукции, увеличения расходов здравоохранения, коммунально-бытовое обслуживание. Возникает экономический ущерб от загрязнения окружающей среды в следствие роста заболеваемости населения, ускорения износа машин, зданий, личного имущества граждан, падения продуктивности земельных, водных лесных ресурсов.

Воздействие компьютеров на окружающую среду при эксплуатации регламентировано рядом стандартов. Выделяют две группы стандартов и рекомендаций – по безопасности и эргономике.

При утилизации старых компьютеров происходит их разработка на фракции: металлы, пластмассы, стекло, провода, штекеры. Из одной тонны компьютерного лома получают до 200 кг меди, 480 кг железа и нержавеющей стали, 32 кг алюминия, 3 кг серебра, 1 кг золота и 300 г палладия.

Переработку промышленных отходов производят на специальных полигонах, создаваемых в соответствии с требованиями СП 127.13330.2017.

и предназначенных для централизованного сбора обезвреживания и захоронения токсичных отходов промышленных предприятий, НИИ и учреждений

## **5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

### **5.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований**

Наиболее вероятная чрезвычайная ситуация, которая может возникнуть при работе с разработанным комплексом – пожар, так как в современных ЭВМ очень высокая плотность размещения элементов электронных схем, в непосредственной близости друг от друга располагаются соединительные провода и кабели, при протекании по ним электрического тока выделяется значительное количество теплоты, при этом возможно оплавление изоляции и возникновение возгорания. Участок ПЭВМ по пожарной опасности относится к категории пожароопасных "В". Технический регламент по ПБ и норм пожарной безопасности (НПБ 105-03) и удовлетворять требованиям по предотвращению и тушению пожара по ГОСТ 12.1.004-91 и СНиП 21-01-97.

Помещение, где установлен ПК, относится ко второму классу - помещение с повышенной опасностью, из-за опасности прикосновения человека, не изолированного от земли, к корпусу ПК, оказавшемуся под напряжением. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновений и тока даются в ГОСТ 12.1.038-82.

### **5.4.2 Анализ причин, которые могут вызвать ЧС на производстве при внедрении объекта исследований**

Пожар в помещении может возникнуть вследствие причин неэлектрического и электрического характера. К причинам неэлектрического характера относятся:

- неисправность оборудования и нарушение процесса эксплуатации устройств;
- халатное и неосторожное обращение с огнем (курение, оставление

без присмотра нагревательных приборов);

- неисправность устройства или вентиляционной системы;
- самовоспламенение или самовозгорание веществ.

К причинам электрического характера относятся:

- короткое замыкание;
- перегрузка проводов;
- большое переходное сопротивление;
- искрение;
- статическое электричество.

Возникновение других видов ЧС – маловероятно.

#### **5.4.3 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС**

Пожарная безопасность объекта должна обеспечиваться системами предотвращения пожара и противопожарной защиты, в том числе организационно-техническими мероприятиями. Пожарная защита должна обеспечиваться применением средств пожаротушения, а также применением автоматических установок пожарной сигнализации.

Должны быть приняты следующие меры противопожарной безопасности:

- обеспечение эффективного удаления дыма, т.к. в помещениях, имеющих оргтехнику, содержится большое количество пластиковых веществ, выделяющих при горении летучие ядовитые вещества и едкий дым;

- обеспечение правильных путей эвакуации;

- наличие огнетушителей и пожарной сигнализации;

- соблюдение всех противопожарных требований к системам отопления и кондиционирования воздуха.

Для тушения пожаров на участке производства необходимо применять углекислотные (ОУ-5 или ОУ-10) и порошковые огнетушители (например, типа

ОП-10), которые обладают высокой скоростью тушения, большим временем действия, возможностью тушения электроустановок, высокой эффективностью борьбы с огнем.

Предполагаются следующие действия при возникновении чрезвычайных и аварийных ситуаций:

- каждый работник, обнаруживший нарушения настоящей инструкции и правил по охране труда или заметивший неисправности оборудования, представляющую опасность для людей, обязан сообщить об этом непосредственному руководителю;

- в тех случаях, когда неисправность оборудования представляет угрожающую опасность для людей или самого оборудования, работник, её обнаруживший, обязан принять меры по прекращению действия оборудования, а затем известить об этом непосредственного руководителя. Устранение неисправности производится при соблюдении требований безопасности.

#### **Выводы по разделу**

В данном разделе были исследованы правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности. А также были изучена производственная безопасность. Основным источником фактора является ЭВМ. Перечисленные факторы могут оказывать влияние на здоровье, а также приводить к аварийным и опасным ситуациям. Кроме этого экологическая безопасность тоже была исследована. Развитие энергетики оказывает существенное влияние на природную среду. Наконец была изучена безопасность в чрезвычайных ситуациях. И были рассмотрены мероприятия при возникновении ЧС.



## **Заключение**

В данной работе была проверена методика расчета коэффициента диффузии водорода в металлических фольгах при высоких температурах с использованием в качестве регистратора водорода масс-спектрометр. Для негидридообразующих материалов результаты, полученные с помощью данной методики, могут коррелироваться с теоретическими данными.

В случае же гидридообразующих материалов, в некоторых случаях, можно наблюдать фазовые превращения, а именно время существования некоторых фаз при одностороннем наводороживании. Полученные данные хорошо коррелируются с теоретическими, что говорит о работоспособности данной методики.

Различие экспериментальных данных с теоретическими заключается в пробоподготовке. Из чего можно сделать вывод, что данная методика, при прочих равных условиях, является скорее сравнительным методом, нежели несет в себе решение фундаментальных задач.

## **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Besenbacher F., Myers S. M., Nørskov J. K. Interaction of hydrogen with defects in metals //Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms. – 1985. – Т. 7. – С. 55-66.
2. Wu C. et al. Relationship between lattice defects and phase transformation in hydrogenation/dehydrogenation process of the V60Ti25Cr3Fe12 alloy //International Journal of Hydrogen Energy. – 2019.
3. Nørskov J. K., Besenbacher F. Theory of hydrogen interaction with metals //Journal of the Less Common Metals. – 1987. – Т. 130. – С. 475-490.
4. Christmann K. Interaction of hydrogen with solid surfaces //Surface Science Reports. – 1988. – Т. 9. – №. 1-3. – С. 1-163.
5. Kudiiarov V. N. et al. The hydrogen sorption and desorption behavior in spherical powder of pure titanium used for additive manufacturing //International Journal of Hydrogen Energy. – 2017. – Т. 42. – №. 22. – С. 15283-15289.
6. Tarasov B. P. et al. Hydrogen storage behavior of magnesium catalyzed by nickel-graphene nanocomposites //International Journal of Hydrogen Energy. – 2019.
7. Ren J. et al. Current research trends and perspectives on materials-based hydrogen storage solutions: a critical review //International Journal of Hydrogen Energy. – 2017. – Т. 42. – №. 1. – С. 289-311.
8. Louthan Jr M. R. et al. Hydrogen embrittlement of metals //Materials Science and Engineering. – 1972. – Т. 10. – С. 357-368.
9. Rogne B. R. S. et al. In situ micromechanical testing in environmental scanning electron microscope: A new insight into hydrogen-assisted cracking //Acta Materialia. – 2018. – Т. 144. – С. 257-268.
10. Teichmann N., Hamm M., Pundt A. Fast lateral hydrogen diffusion in magnesium-hydride films on sapphire substrates studied by electrochemical

hydrogenography //International Journal of Hydrogen Energy. – 2018. – T. 43. – №. 3. – C. 1634-1642.

11. Zieliński A., Sobieszczyk S. Hydrogen-enhanced degradation and oxide effects in zirconium alloys for nuclear applications //International journal of hydrogen energy. – 2011. – T. 36. – №. 14. – C. 8619-8629.

12. Tong L. S., Weisman J. Thermal analysis of pressurized water reactors. – 1979.

13. Neeb K. H. The radiochemistry of nuclear power plants with light water reactors. – Walter de Gruyter, 2011.

14. Woodtli J., Kieselbach R. Damage due to hydrogen embrittlement and stress corrosion cracking //Engineering failure analysis. – 2000. – T. 7. – №. 6. – C. 427-450.

15. Nagase F. Hydride behavior in Zircaloy cladding tube during high-temperature transients // Journal of Nuclear Materials. – 2011. V. 415. – P. 117 – 122.

16. Daum R.S. The influence of a hydrided layer on the fracture of Zircaloy-4 cladding tubes. Chapter in Book: Hydrogen effects on material behavior and corrosion deformation interactions. – P. 249 – 259 / Ed. by N.R. Moody, A.W. Thompson, G.S. Was and R.H. Jones. – TMS (The Minerals and Materials Society). – 2003. – 1064 p.

17. Motta A.T., Chen L.Q. Hydride formation in zirconium alloys // The Journal of The Minerals, Metals & Materials Society. – 2012. V. 64. – P. 1403 – 1408.

18. Nagase F., Fuketa T. Investigation of hydride rim effect on failure of Zircaloy-4 cladding with tube burst test // Journal of Nuclear Science and Technology. – 2005. – T. 42. – №. 1. – C. 58-65.

19. Hanson B., Shimskey R., Lavender C., MacFarlan P., Eslinger P. Hydride rim formation in unirradiated Zircaloy:

<http://www.energy.gov/sites/prod/files/2013/08/f2/HydrideRimFormationZircaloy.pdf>.

20. Shimskey R., Hanson B., MacFarlan P. Optimization of hydride rim formation in unirradiated Zr-4 cladding: [Электронный ресурс].Режим доступа к ст.: [http://www.pnnl.gov/main/publications/external/technical\\_reports/PNNL-22835.pdf](http://www.pnnl.gov/main/publications/external/technical_reports/PNNL-22835.pdf).

21. Tyurin Yu. I. Accumulating properties of hydrogen in a solid / Yu. I. Tyurin, I. P. Chernov. - М.: Energoatomizdat, 2000. - 285 p. [in Russian]

22. Alefeld G., Völkl J. Hydrogen in metals I-Basic properties //Berlin and New York, Springer-Verlag (Topics in Applied Physics. Volume 28), 1978. 442 p.(For individual items see A79-16057 to A79-16061). – 1978. – Т. 28.

23. Kalin B.A., Shmakov A.A. Behavior of hydrogen in zirconium reactor alloys. Materials of the Second International Seminar "Interaction of hydrogen isotopes with structural materials", Sarov, April 2004. [in Russian]

24. Kudiiarov V. N. et al. Hydrogen sorption by Ni-coated titanium alloy VT1-0 //International Journal of Hydrogen Energy. – 2017. – Т. 42. – №. 15. – С. 10604-10610.

25. Olden V., Alvaro A., Akselsen O. M. Hydrogen diffusion and hydrogen influenced critical stress intensity in an API X70 pipeline steel welded joint– Experiments and FE simulations //International journal of hydrogen energy. – 2012. – Т. 37. – №. 15. – С. 11474-11486.

26. Mohtadi-Bonab M. A. et al. Evaluation of hydrogen induced cracking behavior of API X70 pipeline steel at different heat treatments //International journal of hydrogen energy. – 2014. – Т. 39. – №. 11. – С. 6076-6088.

27. Zhao W. et al. Determination of the critical plastic strain-induced stress of X80 steel through an electrochemical hydrogen permeation method //Electrochimica Acta. – 2016. – Т. 214. – С. 336-344.

28. H. El Alami, J. Creus, X. Feugas, *Electrochim. Acta* 51 (2006) 4716-4727
29. N.N. Nikitenkov et al. Installation for the study of radiation and thermal evolution of gases from inorganic materials. // *Instruments and equipment of the experiment*. - 2009. - № 6. - P. 110–115. [in Russian]
30. Nayebossadri S., Speight J. D., Book D. Hydrogen separation from blended natural gas and hydrogen by Pd-based membranes // *International Journal of Hydrogen Energy*. – 2019.
31. Deveau N. D., Yen P. S., Datta R. Evaluation of hydrogen sorption and permeation parameters in liquid metal membranes via Sieverts' apparatus // *International Journal of Hydrogen Energy*. – 2018. – T. 43. – №. 41. – C. 19075-19090.
32. Mueller W. M., Blackledge J. P., Libowitz G. G. (ed.). *Metal hydrides*. – Elsevier, 2013. 51-87
33. Poirier D. R., Geiger G. H. *Fick's Law and Diffusivity of Materials* // *Transport Phenomena in Materials Processing*. – Springer, Cham, 2016. – C. 419-461.
34. Barysheva T.V., et al. Diffusion of hydrogen in titanium and zirconium alloys. - 1977. [in Russian]
35. Moran M. J. et al. *Fundamentals of engineering thermodynamics*. – John Wiley & Sons, 2010.
36. Syrtanov M. S. et al. Application of synchrotron radiation for In Situ XRD investigation of zirconium hydrides formation at gas-phase hydrogenation // *Physics Procedia*. – 2016. – T. 84. – C. 342-348.
37. Chernyaeva TP, Ostapov A. V. Part 2. The state and dynamics of hydrogen in zirconium // *Questions of atomic science and technology*. – 2014 [in Russian].

