

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

---

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

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
Исследование свойств сплава ВТ6 с покрытием AlN, нанесенным вакуумно-дуговым методом

УДК 669.295.5.018:621.793.1

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
150Б41	Дин Цзыи		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭФ ИЯТШ ТПУ	Пушилина Н.С.	к.ф.-м.н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

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

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

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

Томск – 2018 г.

## Запланированные результаты обучения по программе

Код результата	Результат обучения (выпускник способен)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Общекультурные компетенции</i>		
<b>Р1</b>	Использовать основные этапы и закономерности исторического развития общества, основы философских, экономических, правовых знаний для формирования мировоззренческой, гражданской позиций и использования в различных сферах жизнедеятельности	Требования ФГОС3+ (ОК-1, ОК-2, ОК-3, ОК-4)
<b>Р2</b>	К самоорганизации и самообразованию, работать в коллективе, к коммуникации в устной и письменной формах, в том числе на иностранном языке, толерантно воспринимать социальные, этические и культурные различия, использовать методы и средства физической культуры, приёмы первой помощи и методы защиты в условиях ЧС.	Требования ФГОС3+ (ОК-5, ОК-6, ОК-7, ОК-8, ОК-9)
<i>Общепрофессиональные компетенции</i>		
<b>Р3</b>	Использовать в профессиональной деятельности базовые естественнонаучные знания, современные концепции и ограничения естественных наук, использовать фундаментальные знания разделов общей и теоретической физики, математики для создания моделей и решения типовых профессиональных задач, в том числе с использованием знаний профессионального иностранного языка.	Требования ФГОС3+ (ОПК-1, ОПК-2, ОПК-3, ОПК-7)
<b>Р4</b>	Понимать сущность и значение информации, соблюдать основные требования информационной безопасности, использовать методы, способы, средства получения и хранения информации, решать стандартные задачи на основе информационной и библиографической культуры.	Требования ФГОС3+ (ОПК-4, ОПК-5, ОПК-6)
<b>Р5</b>	Получить организационно-управленческие навыки при работе в научных группах, критически переосмысливать накопленный опыт, изменять при необходимости профиль своей профессиональной деятельности, нести ответственность за последствия своей инженерной деятельности.	Требования ФГОС3+ (ОПК-8, ОПК-9)
<i>Профессиональные компетенции</i>		
<b>Р6</b>	<u>Научно-исследовательская деятельность</u> Проводить научные теоретические и экспериментальные исследования в областях: материаловедения, атомной и ядерной физики, водородной энергетики, физики плазмы с помощью современной приборной базы с использованием специализированных знаний физики и освоенных профильных дисциплин.	Требования ФГОС3+ (ПК-1, ПК-2)

<b>P7</b>	<u>Научно-инновационная деятельность</u> Применять на практике профессиональные знания теории и методов физических исследований, а также профессиональные знания и умения в результате освоения профильных дисциплин для проведения физических исследований в инновационных областях науки, используя современные методы обработки, анализа и синтеза информации.	Требования ФГОСЗ+ (ПК-3, ПК-4, ПК-5)
<b>P8</b>	<u>Организационно-управленческая</u> Использовать на практике теоретические основы организации и планирования физических исследований, участвовать в подготовке и составлении научной документации по установленной форме, понимать и применять на практике методы управления в сфере природопользования	Требования ФГОСЗ+ (ПК-6, ПК-7, ПК-8)
<b>P9</b>	<u>Педагогически-просветительская</u> Проектировать, организовывать, анализировать педагогическую деятельность, владеть последовательностью изложения материала с использованием междисциплинарных связей физики с другими дисциплинами, участвовать в информационно-образовательных мероприятиях по пропаганде и распространению научных знаний	Требования ФГОСЗ+ (ПК-9)

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

---

Школа Инженерная школа ядерных технологий

Направление подготовки 03.03.02 «Физика»

Отделение школы (НОЦ) экспериментальной физики

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

Лидер А.М.

(Подпись)      (Дата)      (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
150Б41	Дин Цзыи

Тема работы:

Исследование свойств сплава ВТ6 с покрытием AlN, нанесенным вакуумно-дуговым методом

Утверждена приказом директора (дата, номер)	02.02.2018 г., 618/с
---	----------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b></p> <p><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>Титановый сплав ВТ6 с покрытием AlN, нанесенным вакуумно-дуговым методом.</p>
---	--

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Обзор литературных источников;</li> <li>– Разработка покрытия для сплава ВТ6;</li> <li>– Аттестация свойств сплава ВТ6 с покрытием AlN, нанесенным вакуумно-дуговым методом;</li> <li>– Анализ полученных результатов;</li> <li>– Социальная ответственность;</li> <li>– Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение;</li> <li>– Заключение.</li> </ul>
--	--

<p><b>Перечень графического материала</b></p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Диаграмма система Ti –H</li> <li>– Спектрометр тлеющего разряда</li> <li>– Структура поверхности титанового сплава после нанесения покрытия AlN</li> <li>– Распределение элементов в сплаве ВТ6 после нанесения покрытия AlN.</li> <li>– Поглощение водорода образцами ВТ6.</li> <li>– Поглощение водорода образцами ВТ6 с покрытием AlN.</li> <li>– Распределение основных элементов в образцах с покрытием AlN после насыщения водородом</li> </ul>
--	--

**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы**

Раздел	Консультант
Социальная ответственность	Доцент к.х.н Ларионова Е. В.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент к.ф.н. Черепанова Н. В.

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

обзор литературы

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

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭФ ИЯТШ ТПУ	Пушилина Н.С.	к.ф.-м.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
150Б41	Дин Цзыи		

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
150Б41	Дин Цзыи

<b>Школа</b>	Инженерная школа ядерных технологий	<b>Отделение</b>	Отделение экспериментальной физики
<b>Уровень образования</b>	бакалавр	<b>Направление/специальность</b>	Физика

<b>Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:</b>	
1. Стоимость ресурсов	Исходные данные включают стоимость: - исследуемого материала; - покупных материалов для обеспечения нормального технологического процесса;
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
1. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Планирование этапов, работ и исполнителей в рамках научного исследования; Определение трудоемкости выполнения работ; Разработка графика проведения научного исследования; Расчет бюджета научно-технического исследования.
2. Определение ресурсов	Определение эффективности путем сравнения альтернативных вариантов исследования;

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	Черепанова Н. В.	к.ф.н.		

Задание принял к исполнению студент:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
150Б41		Дин Цзыи	

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
150Б41	Дин Цзыи

<b>Школа</b>	Инженерная школа ядерных технологий	<b>Отделение</b>	Отделение экспериментальной физики
<b>Уровень образования</b>	бакалавр	<b>Направление/специальность</b>	Физика

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

1. Характеристика объекта исследования и области его применения

Прибор: GasReactionController;  
Рабочая зона: лаборатория;  
Материал: титановый сплав ВТ6

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

**1. Производственная безопасность**

1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:

- физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;
- действие фактора на организм человека;
- приведение допустимых норм с необходимой размерностью;
- предлагаемые средства защиты;

1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:

- механические опасности (источники, средства защиты);
- термические опасности (источники, средства защиты);
- электробезопасность

Анализ выявленных вредных и опасных факторов проектируемой производственной среды:

- а) метеоусловия ;
- б) шум производства;
- в) Электромагнитные поля;
- г) Освещенность.

**2. Экологическая безопасность:**

- защита селитебной зоны
- анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);
- анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);
- анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);

Экологическая безопасность:

- Влияние экспериментальных отходов на окружающую среду;
- Предложим решение;

<ul style="list-style-type: none"> <li>– разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</li> </ul>	
<p><b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения;</li> <li>– выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>– разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>– разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</li> </ul>	<p>Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения;</li> <li>– Выбор наиболее типичной ЧС;</li> </ul>
<p><b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> </ul>	<p>Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные правовые нормы трудового законодательства;</li> </ul>

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
150Б41		Дин Цзыи	

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

Школа Инженерная школа ядерных технологий

Уровень образования бакалавриат

Направление подготовки 03.03.02 «Физика»

Отделение школы (НОЦ) Отделение экспериментальной физики

Период выполнения \_\_\_\_\_

Форма представления работы:

бакалаврская работа

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

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

Срок сдачи студентом выполненной работы: \_\_\_\_\_

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
01.03.2017	Аналитический обзор литературы	15
01.09.2017	Исследование влияния водорода на свойства сплава ВТ6 с покрытием AlN	15
30.12.2017	Исследование влияния водорода на свойства сплава ВТ6 с покрытием AlN	20
30.04.2018	Анализ результатов	15
25.05.2018	Социальная ответственность	15
25.05.2018	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
25.05.2018	Заключение	5

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭФ ИЯТШ ТПУ	Пушилина Н.С.	к.ф.-м.н.		

**СОГЛАСОВАНО:**

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

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 67 с., 9 рис., 18 табл., 35 источников.

Ключевые слова: титановый сплав, покрытия, водород, вакуумно-дуговой метод, сорбция.

Объектом исследования является титановый сплав VT6 с покрытием AlN, нанесенным вакуумно-дуговым методом.

Цель работы – исследование свойств титанового сплава VT6 с покрытием AlN, нанесенным вакуумно-дуговым методом.

В процессе исследования проводились выбор и нанесение покрытий AlN на образцы титанового сплава VT6, исследовались свойства титанового сплава, проводилось насыщение водородом из газовой среды экспериментальных образцов и расчет скорости поглощения водорода сплавом VT6 с покрытием AlN, нанесенным вакуумно-дуговым методом.

В результате исследования установлено, что нанесение покрытия AlN позволяет снизить скорость поглощения водорода при насыщении из газовой среды при температурах 600 °С. Проведено исследование структуры и свойств сплава VT6 с покрытием AlN, нанесенным вакуумно-дуговым методом.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: толщина покрытий составила 4 мкм, нанесение покрытий позволяет снизить скорость поглощения водорода в 3 раза по сравнению с материалов без покрытия.

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

Область применения: результаты исследований могут быть использованы для разработки методов повышения водородной стойкости изделий из титановых сплавов.

Экономическая эффективность/значимость работы заключается в разработке и создании покрытия, позволяющего повышать стойкость к воздействию водорода сплава VT6.

В будущем планируется проведение оптимизации состава и толщины наносимых покрытий.

## Оглавление

ВВЕДЕНИЕ .....	14
1 Взаимодействие водорода с титаном и сплавами на его основе.....	15
1.1 Взаимодействие водорода со сплавами на основе титана.....	15
1.2 Влияние водорода на свойства титана и титановых сплавов.....	16
2 Защитные покрытия на титановых сплавах .....	20
3 Материал и методы исследования... ..	24
3.1 Материал исследования .....	24
3.2 Нанесение покрытий.....	24
3.3 Измерение шероховатости поверхности.....	24
3.4 Метод измерения микротвердости .....	26
3.5 Исследование структурно-фазового состояние образцов .....	27
3.6 Оптическая спектрометрия высокочастотного тлеющего разряда.....	29
3.7 Насыщение титанового сплава водородом... ..	30
3.8 Исследование износостойкости образцов.....	31
4 Исследование свойств сплава ВТ6 с покрытием AlN.....	32
4.1 Структура, фазовый состав и шероховатость сплава ВТ6 с покрытием AlN .....	33
4.2 Твердость сплава ВТ6 до и после нанесения покрытий.....	34
4.3 Распределение элементов в образцах сплава ВТ6.....	35
5 Исследование влияния водорода на свойства сплава ВТ6 с покрытием AlN .....	36
5.1 Исследование сорбции водорода сплавом ВТ6 с покрытием AlN .....	36
5.2 Влияние водорода на структуру и свойства сплава ВТ6 с покрытиями AlN .....	37

6	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	40
	6.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....	40
	6.2 SWOT-анализ.....	41
	6.3 Составление перечня работ.....	43
	6.4 Определение трудоемкости выполнения работ НИОКР.....	44
	6.5 Потенциальные потребители результатов исследования.....	47
	6.5.1 Расчет материальных затрат НТИ.....	47
	6.5.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ.....	48
	6.5.3 Основная заработная плата исполнителей темы.....	48
	6.5.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы.....	50
	6.5.5 Отчисления во внебюджетные фонды.....	50
	6.5.6 Накладные расходы.....	50
	6.5.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.....	51
	6.6 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, социальной и экономической эффективности исследования. ....	52
7	Социальная ответственность.....	55
	7.1 Анализ выявленных вредных и опасных факторов проектируемой производственной среды.....	55
	7.1.1 Метеоусловия.....	55
	7.1.2 Шум производства.....	57
	7.1.3 Электромагнитные поля.....	58
	7.1.4 Освещенность.....	58
	7.2 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	59
	7.3 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	60
	7.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	61

Заключение.....	63
Список использованных источников.....	64

## ВВЕДЕНИЕ

Титановые сплавы широко используются в медицине, автомобильной, аэрокосмической и химической отраслях промышленности благодаря сочетанию таких свойств как высокая прочность, малый удельный вес, высокая коррозионная стойкость, хорошая биосовместимость [1, 2]. Фактором, ограничивающим ресурс работы изделий из титановых сплавов, является водород [3-11]. Растворяясь в титановых сплавах, водород вызывает существенные изменения их физико-химических и механических свойств. Исключить проникновение водорода в материалы не удастся из-за большого содержания водорода в атмосфере и водной среде, а также по техническим условиям эксплуатации материалов. Несмотря на долгую историю проблемы водородного охрупчивания, работы по защите титановых сплавов от водорода по-прежнему остаются актуальными. Для защиты сплавов титана от агрессивных сред активно разрабатываются и внедряются различные виды обработки поверхности, а также нанесение покрытий.

В этой связи, целью данной работы является исследование свойств титанового сплава ВТ6 с покрытием AlN, нанесенным вакуумно-дуговым методом. Для решения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи: Исследование микроструктуры и фазового состава сплава ВТ6 с покрытием AlN; Исследование твердости титанового сплава ВТ6 с покрытием AlN; Исследование влияние водорода на свойства титанового сплава с покрытием AlN.

## 1 Взаимодействие водорода с титаном и сплавами

### 1.1 Взаимодействие водорода со сплавами на основе титана

Изучению диаграммы состояния системы титан – водород посвящено довольно много работ. Диаграмма состояния Ti-H приведена на рисунке 1. [12]. Согласно диаграмме состояния титан-водород, внедрение водорода вызывает увеличение области  $\beta$ -фазы и уменьшение области  $\alpha$ -фазы. Водород является стабилизатором бета фазы. В системе Ti-H происходит эвтектоидный распад  $\beta$ -фазы на  $\alpha$ - и  $\gamma$ -фазы. На рисунке 1 отмечены две линии эвтектоидного распада  $\beta$ -фазы, отвечающие ее положению при нагреве и охлаждении. Эвтектоидная точка лежит при 36,6 – 38,0 % (ат,) H<sub>2</sub> [1,21 – 1,26 масс. %]. Фазы альфа и бета представляют собой твердые растворы внедрения водорода в  $\alpha$ - и  $\beta$ - титане, фаза гамма является твердым раствором водорода на основе гидрида титана TiH<sub>2</sub>. Растворимость водорода в  $\alpha$ -титане при эвтектоидной температуре составляет 0,18 масс. %. Растворимость водорода в  $\alpha$ -титане при комнатной температуре мала 0,002 – 0,005 масс.% [4,12]. Растворимость водорода в любой аллотропической форме титана увеличивается с повышением температуры; в то время как для общего количества водорода, которое может содержаться в  $\gamma$ -фазе, наблюдается обратная зависимость, поскольку формирование гидрида является экзотермическим процессом.

Во всех трех основных кристаллических решетках металлов можно найти октаэдрические и тетраэдрические интерстициальные узлы. В разных материалах предпочтение отдается различным наборам узлов. Кроме того, в случае решетки ГПУ, каждый атом металла окружен 6 октаэдрическими сайтами и 8 тетраэдрическими сайтами. Так как число всех атомов существуют в решетке, число октаэдрических узлов одинаково. Существуют два кристаллографически эквивалентных тетраэдрических узла, расположенных в направлении [001] выше и ниже каждого атома. Остальные 6 тетраэдрических участков расположены на несколько большем расстоянии от атома.

Атомы Ti образуют тетраэдр вокруг тетраэдрического участка и октаэдр вокруг октаэдрического участка, представлены на рис. 2. Когда решетка не имеет идеального отношения  $c/a = 1,633$  [20], то деформируются тетраэдры и октаэдры. В случае титана отношение  $c/a$  составляет 1,588 и поэтому немного меньше идеального. Отношение  $c/a$  действительно сильно влияет на свойства материала. В материалах с отношением  $c/a$  ниже идеального значения пирамидальное скольжение становится более важным [21].

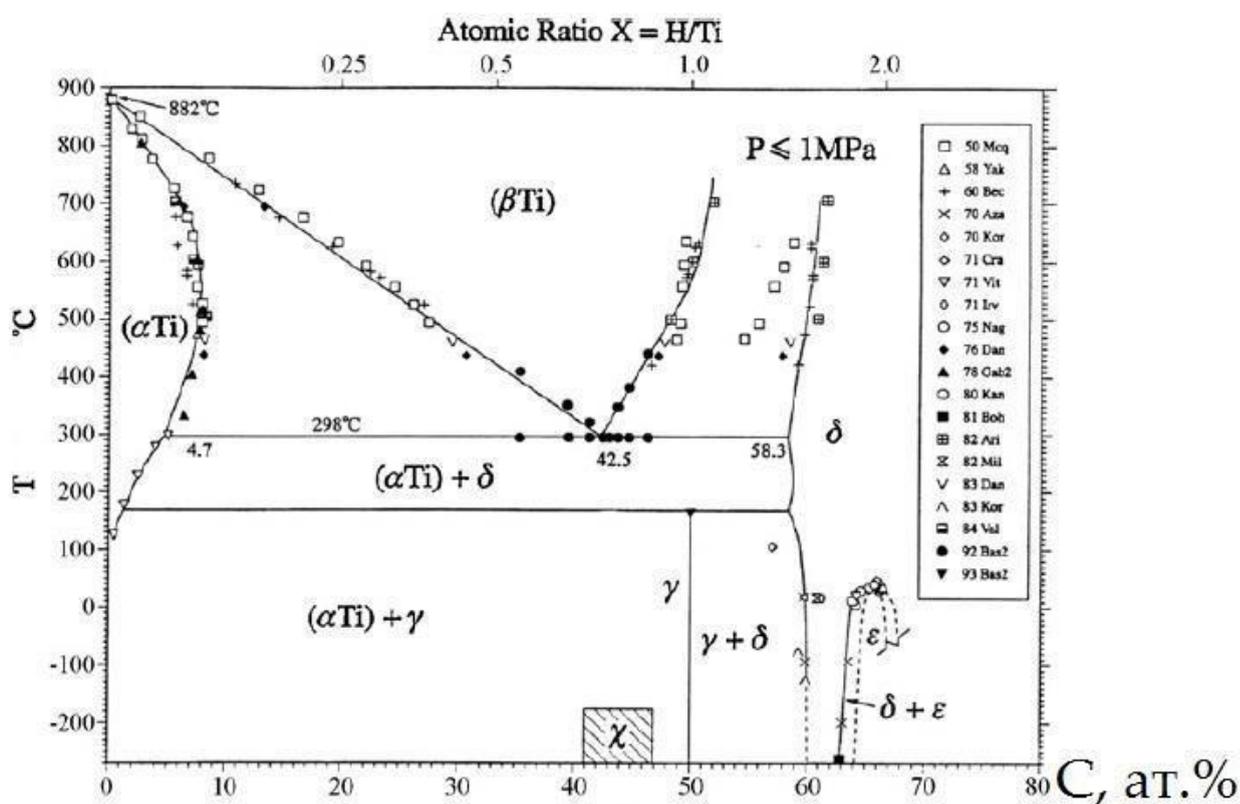


Рисунок 1 – Диаграмма система Ti –H [12]

## 1.2 Влияние водорода на свойства титана и титановых сплавов

Поглощаясь титановыми сплавами, водород вызывает существенные изменения их физико-химических и механических свойств. При этом воздействие водорода на металлы зачастую приводит к тяжелым последствиям, возникают такие явления как водородная хрупкость и замедленное

разрушение [4,11]. Когда содержание водорода в сплавах на основе титана превышает предел растворимости, образуются хрупкие продукты – гидриды. В двухфазных  $\alpha+\beta$  титановых сплавах основным механизмом водородного охрупчивания является осаждение и разложение хрупких гидридных фаз. При низких температурах гидрид титана становится хрупким, и может произойти серьезное ухудшение механических свойств титановых сплавов [5].

В титане основным видом водородной хрупкости является гидридная хрупкость [1, 14 – 23]. При наводороживании титановых сплавов образуются выделения гидрида в виде пластинок, число гидридов увеличивается с увеличением содержания водорода. Выделения гидридов могут быть и в виде компактных выделений той или иной формы внутри зерна, по границам зерен. Характер выделения гидридов зависит от многих факторов: содержания водорода, величины зерна, температуры наводороживания, предшествующей термической обработки титана, напряженного состояния металла в момент выделения гидридов, примесей и т. п. С увеличением общего содержания гидридов в титане увеличивается их тенденция к выделению в виде компактных выделений по границам зерен.

Под воздействием внешней водородной среды, из-за неоднократного образования и разрыва хрупких гидридных фаз на границе газа, микроструктура  $\alpha$ -фазового титанового сплава деградирует при комнатной температуре [13]. Когда присутствует только  $\alpha$ -фаза, деградация нечувствительна к внешнему давлению водорода, поскольку образование гидрида в  $\alpha$ -фазе может происходить практически при любом разумном парциальном давлении водорода. В  $\alpha$ - $\beta$  сплавах, когда присутствует значительное количество  $\beta$ -фазы, водород может быть предпочтительно транспортирован внутри  $\beta$ -решетки и будет реагировать с  $\alpha$ -фазой вдоль границ  $\alpha$  -  $\beta$ . В этих условиях ухудшение будет более серьезной, в зависимости переноса водорода в  $\beta$ -фазе [7].

В сплаве ВТ6 поскольку скорость диффузии водорода в  $\beta$ -фазе выше на несколько порядков, чем в  $\alpha$ -фазе [9], микроструктуры с более непрерывной  $\beta$ -

фазой поглощают больше водорода, чем те, которые имеют прерывистую структуру. В переходных металлах группы IV водород имеет тенденцию занимать тетраэдрические интерстициальные узлы [10]. Быстрая диффузия (особенно при повышенных температурах) водорода в  $\beta$ -титане происходит из кубической (ОЦК) структуры тела, состоящей из 12 тетраэдрических и 6 октаэдрических междоузлий. Наличие водорода в твердых растворах приводит к расширению решетки. В образце ВТ6 после насыщения водорода, осаждение тетрагонального  $\gamma$ -Ti происходило первоначально при относительно низких концентрациях водорода, за которым следовало образование тетрагонального  $\delta$ -Ti с увеличением концентрации водорода.

Авторами [10] было установлено, что микроструктура сплава играет очень важную роль в его поведении под воздействием водородсодержащего окружающей среды. В Ti-6Al-4V основной механизм водородного растрескивания является формирование и разрушение хрупкой фазы гидрида титана.

Испытание негидрированных, гидрированных, дегидрированных сплавов Ti-6Al-4V на прочность при изломе проведено при комнатной температуре. Распределение давления и напряжения, близкого к образованию трещин образца при растяжении, вычислено методом конечных элементов. Результаты исследования показывают, что важное влияние на прочность сплава Ti-6Al-4V имеет водород. Место начального трещинообразования в каждом образце разное, зависимо от интенсивности воздействия разной нагрузки на образцы. Механизм образования трещин в ненаводороженном образце происходит за счет создания и объединения вакансий. В наводороженном образце проявляются межкристаллитные и транскристаллитные трещины. Дегидрированный образец характеризуется смесью межкристаллитных и транскристаллитных трещин. Перемещение трещин объясняется наличием гидридов и атомами водорода в твердом теле.

В работе [14] подробно рассматриваются явления растрескивания титановых сплавов и формирование  $\beta$ -фазы вследствие внедрения атомов

водорода. Переходы осуществляются к трем видам сплавов:  $\alpha+\beta$  Ti-6Al-4V, метастабильному  $\beta$ -21S и тугоплавкому Ti-20Nb. Исходная микроструктура сплава играет очень важную роль в его поведении при воздействии водородосодержащей среды. В сплаве Ti-6Al-4V основным механизмом растрескивания является формирование и разрыв хрупких фаз гидроксида титана. Жесткость водородного разложения в сплаве Ti-6Al-4V зависит от количества и распределения  $\beta$ -фазы в микроструктуре вследствие более быстрой диффузии водорода в ОЦК  $\beta$ -фазе. С другой стороны, сплав Timetal Beta-21S  $\beta$ , подвергнутый электрохимической обработке в кислой среде при комнатной температуре, обладает сопротивляемостью к водороду. В сплаве Ti-20 wt.%Nb под действием водорода фазовые переходы и образование гидридов сопровождались явлениями размягчения, независимо от процесса разряда.

## 2 ЗАЩИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ТИТАНОВЫХ СПЛАВАХ

Для предотвращения водородной хрупкости содержание водорода в сплавах ограничивают. В большинстве сплавов допускается не более 0,015 массовых процентов водорода. В некоторых случаях возможно повышение концентрации водорода в сплаве в процессе обработки. В подобных случаях для понижения концентрации водорода в сплаве используют вакуумный отжиг.

В случае, когда количество водорода в титановых заготовках и изделиях превышает максимально допустимые значения, то проводится вакуумный отжиг изделий, однако это весьма затратная и дорогостоящая процедура.

Поэтому стараются выбирать сплавы наиболее стойкие к водородному воздействию или разрабатывать сплавы не склонные к хрупкости при тех концентрациях водорода, которые встречаются в данном конкретном случае. Одним из путей уменьшения негативного воздействия водорода является уменьшение расчетных напряжений до уровня, ниже которого не развивается водородная хрупкость, однако такой способ ведет к увеличению веса конструкций, что нецелесообразно для изделий для авиационной и ракетной техники.

Сплавы титана могут поглощать водород не только при технологических операциях, но и при эксплуатации. Тогда способы борьбы с водородной хрупкостью: а) покрытия, снижающие проникновение и накопление водорода; б) легирование, уменьшающее скорость взаимодействия металла с водородсодержащими средами и повышающее максимально допустимые концентрации водорода; в) термическая обработка изделий [11].

В тех случаях, когда титан и его сплавы в процессе эксплуатации или при производстве полуфабрикатов оказываются в водородной среде нужно использовать меры, препятствующие проникновению водорода в титановые сплавы. Легирование и нанесение защитных покрытий являются распространёнными способами уменьшения скорости газовой коррозии

металлов. Основные виды современных защитных покрытий приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Виды защитных покрытий на титановых сплавах

Вид покрытия	Метод нанесения	Толщина покрытия	Эксплуатационные и другие свойства, созданные обработкой
TiN [15]	Вакуумно-плазменная технология	5-6 мкм	Повышение износостойкости и микротвердости
	Ионная имплантация		Повышение коррозионной стойкости
Nb CaF <sub>2</sub> LiF [16]	Электронно-лучевая наплавка	до 2 мм	Повышение микротвердости 3000-3500 МПа
TiO <sub>2</sub> [17]	MAO Окисление Микро-дуга	Сотни мкм	Повышение антифрикционных свойств и коррозионной стойкости
	Анодирование		Повышение коррозионной стойкости
Ni-P-MoS <sub>2</sub> [18]	CVD	10-20 мкм	Повышение антифрикционных свойств
PtAl <sub>2</sub> [19]	Атмосферное окисление	5 мкм	Повышение коррозионной стойкости

HA-TiO <sub>2</sub> [20]	Анодирование		Биологическая активность
Al <sub>3</sub> Ti [21]	Метод плавления	70-100 мкм	Биологическая активность
Cr [21]	Гальванопокрытие	40-60 мкм	Повышение твердости
Ag [22]	Гальванопокрытие	40 мкм	Предотвращение связывания поверхности адгезии
Mo [23]	Ионная имплантация	10 мкм	Антифрикционные
TiC [23]	Ионная имплантация		Повышение коррозионной стойкости
NiTi [23]	Ионная имплантация		
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> [23]	Ионная имплантация		
Ti-Ti <sub>2</sub> Co [23]	Лазер		Антифрикционные
TiO <sub>2</sub> TiC [24]	Импульсный электронный пучок		Повышение коррозионной стойкости
TiN, TiN <sub>2</sub> [25]	Термодиффузия	0.7-5 мкм	Антифрикционные
TiO <sub>2</sub> , Ti <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , TiO, Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> [26]	Вневакуумная электронно-лучевая наплавка		Повышение коррозионной стойкости
TiC-TiN- TiNC [26]	Электродуговое осаждение и ионная имплантация	1.1 мкм	Повышение коррозионной стойкости, эрозиигазообразивной эрозии

TiAlN- TiN-TiAlN [26]	Электродуговое осаждение и ионная имплантация	1.7 мкм	Повышение коррозионной стойкости, эрозиигазообразивной эрозии
ZrC-ZrN- ZrNC-ZrN [26]	Электродуговое осаждение и ионная имплантация	1.1 мкм	Повышение коррозионной стойкости

Как видно, из таблицы существует большое количество защитных покрытий для титановых сплавов. Металлами, устойчивыми к химической (газовой) коррозии, являются: Cr, Mo, Al, Ti, Zr. Они имеют свои достоинства и недостатки. Методы получения высокотемпературных, износостойких защитных покрытий из тугоплавких неорганических соединений разнообразны: диффузионный, плазменный, напыление, осаждение из газовой фазы и др. Современный способ нанесения защитных покрытий – использования пучков заряженных частиц.

В качестве покрытия на титановый сплав в настоящей работе было выбрано покрытие AlN. Известно, что нитрид алюминия устойчив в атмосферах водорода и углекислого газа до 980 °С.

## 3 Материал и методы исследования

### 3.1 Материал исследования

В качестве материала для исследований в данной работе использовался титановый сплав ВТ6. Образцы были приготовлены в виде прямоугольных пластин, размерами 20x20x1 мм. Образцы титанового сплава полировали на абразивной бумаге, чтобы полностью удалить царапины. Зернистость наждачной бумаги постепенно уменьшалась с 150 до 50 мкм абразивных частиц. При изменении типа наждачной бумаги образец становится тоньше и поворачивает направление шлифования на 90 градусов. Всякий раз, когда тип наждачной бумаги изменяется, образец очищался.

### 3.2 Параметры нанесение покрытий AlN

Покрытие AlN наносили на титановый сплав ВТ6 методом вакуумно-дугового напыления. Нанесение покрытий проводилось на ионно-плазменной установке «TRIO-M». Образец подвергали ультразвуковой очистке в спирте в течение 10 минут. Перед распылением покрытия оксидную пленку и адсорбирующий газ на поверхности образца очищали ионами аргона с энергией 1 кэВ. Скорость роста покрытия достигала 6 мкм / ч.

### 3.3 Метод измерение шероховатости поверхности

Дефекты могут возникать на поверхности материала во время обработки или после использования [8-10]. Анализ шероховатости поверхности часто необходим для повышения эффективности, эффективности и долговечности поверхностей. Параметры измерения шероховатости поверхности в основном ограничены точностью, требуемой в результате. Например, шероховатость поверхности может быть оценена глазом и прикосновением, путем сравнения тестового образца с стандартным образцом, но это не измерение: оно субъективно. Сенсорная чувствительность и визуальное разрешение ограничивают эффективность этих оценок характеристиками, которые

составляют несколько микрон в ширину и в широком диапазоне. Для определения и признаки параметров шероховатости поверхности определены следующие параметры: средняя арифметическая шероховатость ( $R_a$ ), наибольшая высота профиля ( $R_{max}$ ) и средняя шероховатость по десяти точкам ( $R_z$ ), средний шаг неровностей ( $S_m$ ), средний шаг местных выступов профиля ( $S$ ) и относительная опорная длина профиля ( $t_p$ ). Шероховатость поверхности задается как среднее арифметическое для области случайной выборки, то:

$$= \frac{1}{l} \int_0^l [ ] \quad (1)$$

$R_a$  – средняя арифметическая шероховатость. Сегмент стандартной длины выбирается из средней линии на диаграмме шероховатости. Средняя линия укладывается в декартову систему координат, где средняя линия проходит в направлении оси  $x$ , а увеличение – ось  $y$ .

$$= \frac{1}{l} \sum_{i=1}^n [ ] \quad (2)$$

$R_{max}$  – наибольшая высота профиля. Сегмент стандартной длины выбирается из средней линии на диаграмме шероховатости. Расстояние между пиками и долинами пробоотборной линии измеряется в направлении  $y$ .

$$= (\sum_{i=1}^5 | | + \sum_{i=1}^5 | |) / 5 \quad (3)$$

$R_z$  – средняя шероховатость по десяти точкам. Сегмент стандартной длины выбирается из средней линии на диаграмме шероховатости. Расстояние между пиками и долинами пробоотборной линии измеряется в направлении  $y$ . Затем средний пик получается среди 5 самых высоких пиков и средняя долина между 5 низшими долинами.

В настоящей работе шероховатости поверхности образцов измерены при HOMMEL TESTER T1000.

Мобильный тестер HOMMEL T1000 вместе с LV16 обеспечивает измерение величины шероховатости поверхностей и при применении устройства waveline 20 дополнительно определение величины волнистости и параметры профиля по DIN, ISO и JIS. Спроектированный специально для использования в производственных условиях, компактный носимый тестер

НОММЕЛ T1000 в качестве полной или стационарной измерительной станции отвечает высочайшим запросам.

Эргономичный по форме корпус имеет графический дисплей, а также прочную мембранную клавиатуру. На дисплее протоколируются все введенные значения и отражаются все результаты измерения (параметры, профили). Рукоятка для переноски служит одновременно для укладки механизма подачи LV16.

Пять программ измерения обеспечивают быстрое применение и запись различных измерительных задач, гарантируют каждому пользователю точное корректное проведение измерений.

При помощи интегрированного принтера все результаты измерений и данные можно запротоколировать в буквенно-цифровом и графическом виде для получения свидетельства о качестве.

### 3.4 Метод измерения микротвердости

Механические свойства покрытий определяют конструктивную прочность и в значительной степени работоспособность материалов, долговечность и надёжность элементов конструкции. Все образцы были исследованы на микротвердость.

Существует пять основных шкал твердости [27]: Бринелл (Brinell) – HB, Кнупа (Knoop) – HK, Рокуэлл (Rockwell) – HR, Виккерс (Vickers) – HV, Лееб (Leeb) – HL. Каждая из этих шкал включает в себя использование четко определенной формы алмаза, карбида или закаленной стали. Величины твердости определяются путем измерения глубины проникновения индентора или размера результирующего отступа. Все масштабы определяются по мере усложнения материала. Значения твердости сообщаются с использованием соответствующего символа, HR, HV, HK и т. д.

В настоящей работе был использован метод Виккерса. Метод Виккерса (HV) был разработан в Англии в 1925 году и был официально известен как тест на твердость алмазной пирамиды (DPH). Тест Виккерс имеет два

различных диапазона усилий, микро (от 10 г до 1000 г) и макро (от 1 кг до 100 кг), чтобы покрыть все требования к тестированию. Индентор одинаков для обоих диапазонов, поэтому значения твердости по Виккерсу являются непрерывными во всем диапазоне твердости для металлов (обычно от HV100 до HV1000). За исключением испытательных сил ниже 200 г, значения виккерса обычно считаются независимыми от испытательной силы. Другими словами, если испытуемый материал является однородным, значения виккерса будут одинаковыми при испытании с использованием силы 500 г или силы 50 кг. Ниже 200 г следует соблюдать осторожность при попытке сравнить результаты [28]. Методика измерения твердости заключается в следующем: 1. Индентор вдавливаются в образец с помощью точно контролируемого испытательного усилия. 2. Сила поддерживается для определенного времени ожидания, обычно 10 – 15 секунд. 3. По завершении времени задержки индентор удаляется, оставляя отпечаток на образце, который выглядит квадратным на поверхности. 4. Размер отпечатка определяется оптически, измеряя две диагонали квадратного отступа. Величина твердости по Виккерсу является функцией испытательной силы, деленной на площадь поверхности отпечатка. Среднее значение двух диагоналей используется в следующей формуле для вычисления твердости по Виккерсу:

$$HV = \frac{2}{d^2} F = 1.8544 \frac{F}{d^2} \text{ (кг/мм}^2\text{)} \quad (4)$$

где HV - Твердость по методу Виккерса (кг/мм<sup>2</sup>),  $\alpha$  – наклон алмазного индентера пирамидальной формы, F – Нагрузка(кг), d – средняя длина диагонали (мм).

### 3.5 Исследование структурно-фазового состояние образцов

Структурно-фазовое состояние образцов изучалось использованием системы с электронным и сфокусированными пучками Quanta 200 3D. Система совмещает в себе сканирующий электронный микроскоп и термоэмиссионным катодом, сфокусированный ионный пучок, позволяющий

прецизионно наносить и удалять материалы, а также системы энергодисперсионного микроанализа (EDS).

Электронный микроскоп использует фокусированный электронный пучок для взаимодействия с атомами в образце. Одним из явлений, происходящих в этом взаимодействии, является генерирование характерных рентгеновских лучей. Когда элемент подвергается бомбардировке пучком частиц, в данном случае электронным пучком, образец выделяет часть поглощенной энергии в виде рентгеновских лучей. Большую часть времени энергия является результатом изменения скорости электрона, который является случайным; Однако, когда это взаимодействие удаляет электрон из атома образца, часто появляется вакансия во внутренней электронной оболочке. Чтобы вернуть атом в его нормальное состояние, электрон из внешней атомной оболочки «падает» в вакансию во внутренней оболочке. Это падение приводит к потере определенного количества энергии, а именно к разнице в энергии между вакантной оболочкой и оболочкой, вносящей электрон. Эта энергия отдана в виде рентгеновского излучения электромагнитного излучения. Так как энергетические уровни во всех элементах различны, они специфичны к элементам или характеристикам, генерируются рентгеновские лучи.

Дисперсионный рентгеновский микроанализ с энергопотреблением использует детекторное оборудование для измерения значений энергии характеристического рентгеновского излучения, генерируемого в электронном микроскопе. Используя полупроводниковый материал (обычно монокристалл Si / Li) для детектирования рентгеновских лучей и многоканального анализатора, система рентгеновского микроанализа преобразует энергию рентгеновского излучения в электронный счетчик. Накопление этих подсчетов энергии создает спектр, представляющий химический анализ образца. Поэтому, в то время как электронный микроскоп создает изображение топографии образца, энергодисперсионный

рентгеновский микроанализ сообщает микроскописту, какие элементы присутствуют в образце [29].

Структурно-фазовое состояние образцов исследовалось методом рентгеноструктурного анализа. В работе использовался дифрактометр XRD-6000 Shimadzu, съемка проводилась на углах от 30° до 80° со скоростью 10.0°/мин. Анализ фазового состава, размеров областей когерентного рассеяния, внутренних упругих напряжений проводился с использованием баз данных PCPDFWIN и PDF4+, а также программы полнопрофильного анализа POWDERCELL 2.4.

### 3.6 Оптическая спектроскопия высокочастотного тлеющего разряда

Спектрометр тлеющего разряда используется для измерения концентрации элементов в твердых материалах [30]. Схема измерительной камеры спектрометра представлена на рисунке 3. При анализе аргон-ионы измельчают материал с поверхности образца. Этот измельченный или напыленный материал затем возбуждается в плазменном разряде, и полученное излучение света используется для количественной оценки состава образца.

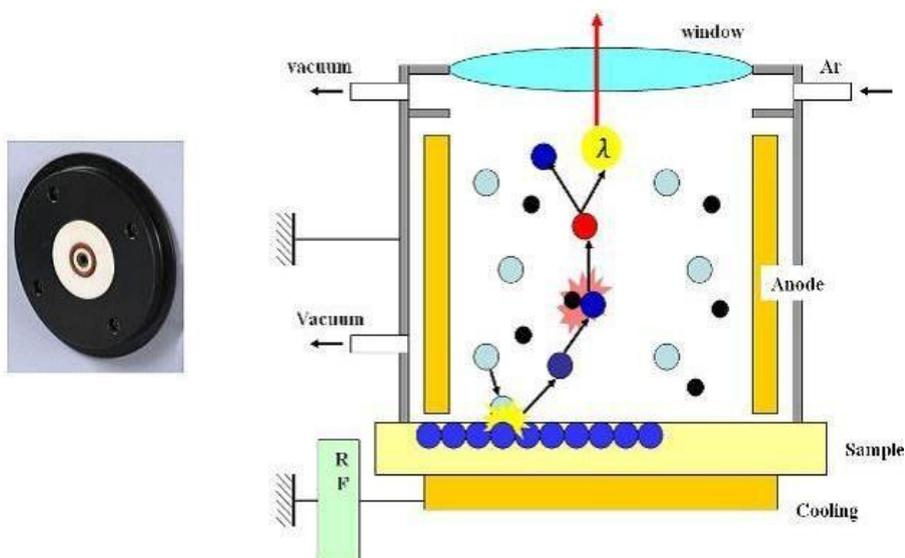


Рисунок 3 – Спектрометр тлеющего разряда [33]

Элементный состав электропроводящего твердого образца может быть определен путем создания образца одного электрода тлеющего разряда, установленного в инертном газе, таком как аргон, поддерживаемый при давлении ниже атмосферного. Предпочтительно используют разряд постоянного тока, и в этом случае образец изготавливают на катоде, но может также использоваться разряд, поддерживаемый приложением ВЧ-потенциала между образцом и другим электродом [31]. Энергетические положительные ионы, генерируемые в разряде, ускоряются по направлению к катодному образцу и воздействуют на него с достаточной энергией для распыления материала из него. Этот материал, как правило, атомы, характерные для образца, попадает в область отрицательного свечения и ионизируется или иным образом возбуждается при столкновении с энергичными видами для испускания фотонов [32]. Ионы, полученные таким образом, могут быть экстрагированы из спектра разряда и эмиссии, создаваемого возбужденными частицами, могут быть проанализированы с помощью подходящего эмиссионного спектрометра.

### 3.7 Насыщение титанового сплава водородом

Насыщение водородом образцов проводили из газовой среды на комплексе Gas Reaction Controller. Автоматизированный комплекс предназначен для исследования сорбции водорода материалами методом Сиверта, в котором насыщение водорода образцами происходит из газовой атмосферы. Комплекс состоит из высокотемпературной печи или криостата, камеры с низким и высоким давлением и контроллер. Контроллер состоит из электронной контрольной системы управления и вакуумная система. Вакуумная часть состоит из контрольной система, резервуара давления, резервуара высокого давления, клапанов с пневматическим управлением и ручных клапанов, игольчатых клапанов, манометров, регулирующих клапанов и фильтров. Система аварийного удаления водорода, через которую водород

удаляется при превышении максимально допустимого давления, была установлена для обеспечения безопасности между резервуарами (низкое и высокое давление). Вакуумный узел, состоящий из переднего вакуумного мембранного насоса и турбомолекулярного насоса, используется для создания вакуума в вакуумной системе. Водород подают в вакуумную систему из цилиндра или генератора. Система охлаждения устанавливается между печью и контроллером для предотвращения повреждения соединительных проводов от нагрева. Управляется комплекс с помощью программного обеспечения на базе LabVIEW [35].

Насыщение водородом образцов проводилось при следующих параметрах: Насыщение осуществлялось при температуре 600 °С при давлении водорода 2 атм. После внедрения газа в твердое тело реакция завершается и система вычисляет общее молярное количество газа в камере с образцом и в резервуаре. Количество поглощенного твердым телом газа определяется как разность начального и конечного количества газа в реакционной камере.

### 3.8 Исследование износостойкости образцов

Исследования износостойкости образцов проводились на трибометре High Temperature Tribometer. Технические характеристики прибора следующие: максимальная температура – 800 °С, нагрузка на индентор от 1 до 60 Н, разрешение по нагрузке 10 мН, сила трения – до 10 Н. Измерения проводились при следующих параметрах: радиус окружности – 1,95 мм, линейная скорость – 2 см/с, нагрузка – 2 Н, число оборотов – 2000.

## 4 ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ СПЛАВА ВТ6 С ПОКРЫТИЕМ ALN

### 4.1 Структура и шероховатость поверхности титанового сплава

На рисунке 4 представлена структура поверхности образцов сплава ВТ6 после нанесения покрытий.

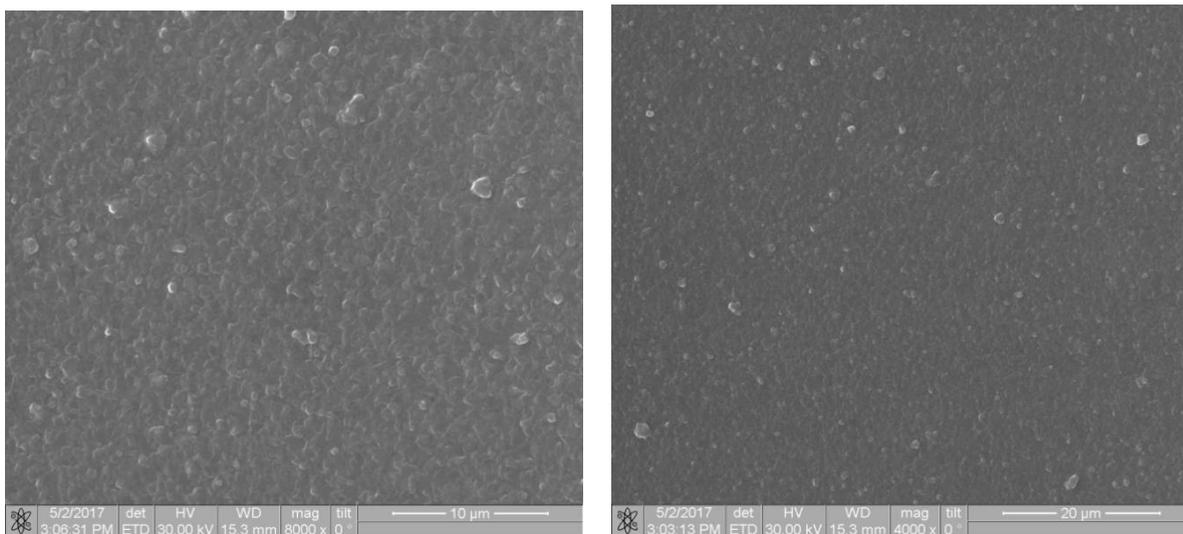


Рисунок 4 – Структура поверхности титанового сплава после нанесения покрытия AlN

На образцах с покрытием AlN можно увидеть частицы AlN размером порядка 1 мкм. В таблице 2 приведены значения шероховатости поверхности образцов до и после нанесения покрытий. Установлено, что напыление покрытий приводит к существенному увеличению параметра Ra (таблица 2).

Таблица 2 – Результаты шероховатости поверхности сплава ВТ6 исходный и после нанесения покрытий

Образцы	Ra, мкм
Исходный	0.167
После нанесения AlN	0.568

Результаты энергодисперсионного анализа образцов представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Энергодисперсионный микроанализ сплава ВТ6 после нанесения покрытия

Образцы	Элемент	Содержание элементов, масс.%
ВТ6	Ti	91.73
	Al	4.47
	V	3.80
ВТ6+покрытие AlN	Al	84.54
	N	8.72
	Ti	2.90
	O	2.73

Результаты анализа структурно-фазового состояния образцов представлены в таблице 4.

Образец	Обнаруженные фазы	Содержание фаз, масс.%	Параметры решетки, Å	Размер ОКР, нм	$\Delta d/d \cdot 10^{-3}$
ВТ6+ AlN	Ti <sub>194</sub>	72	a = 3.0116 c = 4.6151	35	1.1
	Ti <sub>3</sub> Al <sub>194</sub>	23	a = 5.7452 c = 4.6688	53	0.8
	AlN <sub>186</sub>	5	a = 3.1360 c = 4.9040	25	0.1

#### 4.2 Твердость и износостойкость сплава ВТ6 до и после нанесения покрытий

Механические свойства образцов оценивали методом измерения микротвердости и износостойкости. Результаты исследования твердости образцов в зависимости от вида обработки поверхности приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Параметры твердости сплава ВТ6 до и после нанесения покрытий

Образцы	Нагрузка, кг	Диагональ d, мм	HV
Исходный	0.3	2.06	320±30
После нанесения AlN	0.3	1.28	543±41

Результаты исследования износостойкости сплава ВТ6 до и после нанесения покрытия AlN приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Износостойкость образцов

Тип материала	Площадь износа, мкм <sup>2</sup>
ВТ6	6020
ВТ6+покрытие AlN	3870

Величина износостойкости определяется поперечной площадью трека износа. Для исходных образцов титанового сплава эта величина составляет 6020 мкм<sup>2</sup>, а для образцов с покрытием AlN - 3870 мкм<sup>2</sup>. На основании значений площади износа можно сделать вывод, что покрытие на основе нитрида алюминия повышает износостойкость сплава ВТ6 в 2 раза.

#### 4.3 Распределение элементов в образцах сплава ВТ6

Распределение элементов в экспериментальных образцах и оценка толщины покрытий проводилась с помощью оптической спектроскопии высокочастотного тлеющего разряда. На рисунке 5 приведены результаты исследования распределения элементов по глубине сплава ВТ6 после нанесения покрытия.

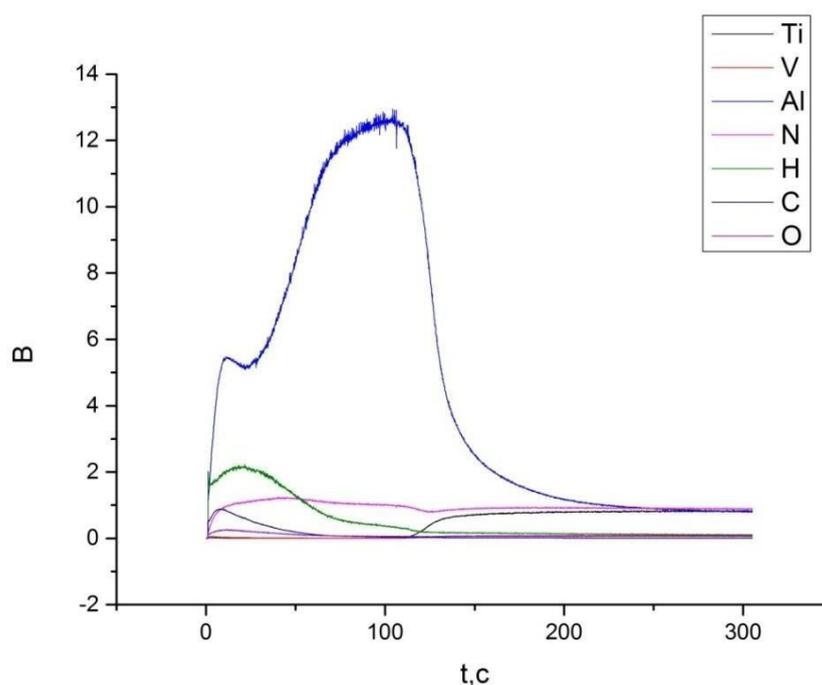


Рисунок 5 – Распределение элементов в сплаве ВТ6 после нанесения покрытия AlN.

Установлено, что помимо основных элементов покрытия Al, N и титанового сплава ВТ6, в поверхностном слое после нанесения покрытия наблюдается увеличение содержания водорода (рисунок 5). Данное обстоятельство обусловлено тем, что в процессе нанесения покрытий водород, присутствующий в камере, сорбировался поверхностью образцов.

## 5 ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВОДОРОДА НА СВОЙСТВА СПЛАВА ВТ6 С ПОКРЫТИЯМИ AL И ALN

### 5.1 Исследование сорбции водорода сплавом ВТ6 с покрытиями Al и AlN

На рисунках 6 и 7 приведены изотермы поглощения водорода сплавом ВТ6 после нанесения покрытия и без покрытия соответственно.

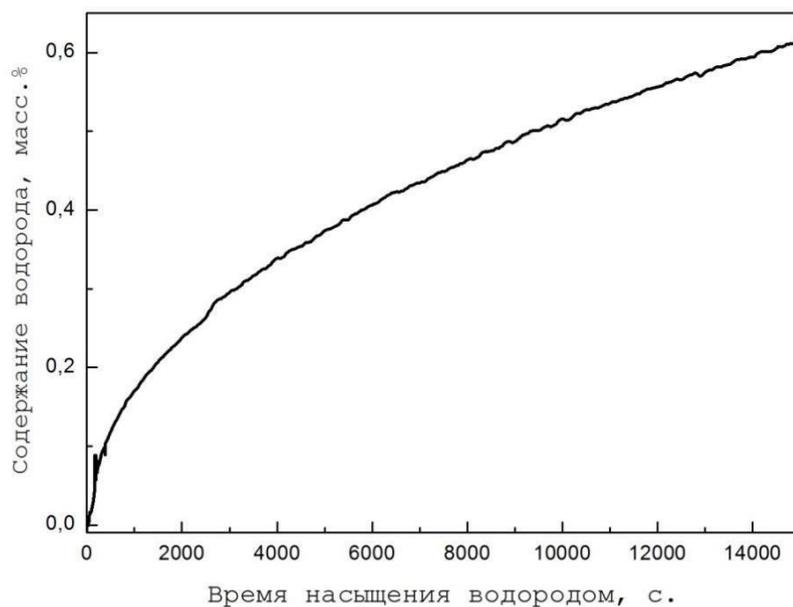


Рисунок 6 – Поглощение водорода образцами ВТ6.

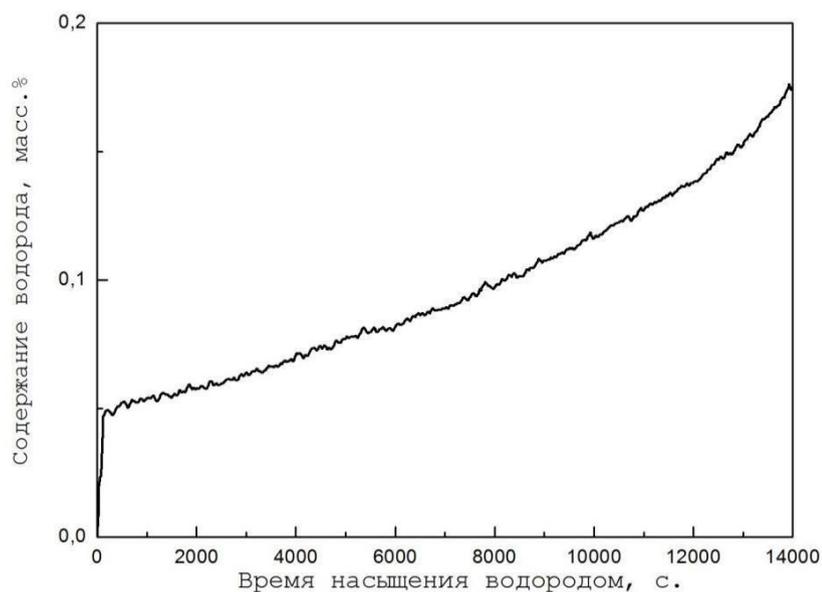


Рисунок 7 – Поглощение водорода образцами ВТ6 с покрытием AlN.

Установлено, что нанесение покрытия AlN приводит к снижению скорости поглощения водорода сплавом ВТ6. Так, скорость сорбции водорода

исходным материалом –  $4.3 \times 10^{-5}$  масс.%/мин, после нанесения покрытий –  $1.5 \times 10^{-5}$  масс.%/мин. Кинетика поглощения водорода технически чистым титаном существенно зависит от ряда факторов. Скорость поглощений водорода титаном увеличивается с уменьшением величины макро- и микрозерна. Кислород и азот, содержащиеся в титане, замедляют скорость поглощения водорода титаном. Особенно резко замедляет скорость поглощения водорода окисная пленка на поверхности титана.

## 5.2 Влияние водорода на структуру и свойства сплава ВТ6 с покрытием AlN

На рисунке 8 представлено распределение основных элементов в исследуемых образцах. Наводороживание приводит к существенному росту концентрации водорода, как в поверхностном слое образца, так и в объеме.

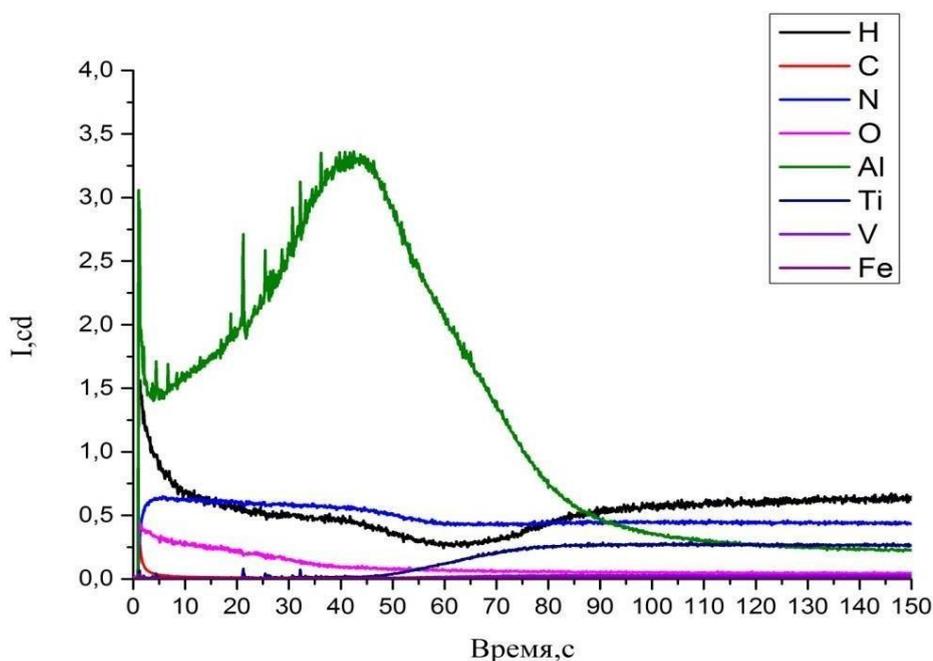


Рисунок 8 – Распределение основных элементов в образцах с покрытием AlN после насыщения водородом

Результаты рентгеноструктурного анализа представлены в таблице 7.

Образец	Обнаруженные фазы	Содержание фаз, масс.%	Параметры решетки, Å	Размер ОКР, нм	$\Delta d/d \cdot 10^{-3}$
ВТ6+покрытие AlN+водород	TiN1.5_225	43	a = 4.4084	-	-
	TiN2_225	18	a = 4.4964	11	6.1
	Ti_229	34	a = 2.9172 c = 4.6723	41	1.4
	Ti3Al_194	5	a = 5.7442 c = 4.6670	31	1.3

Согласно данным рентгеноструктурного анализа (таблица 7) после насыщения водородом и последующего охлаждения в образцах происходит образование гидридных фаз стехиометрического состава от TiN1.5 до TiN2.

Результаты исследования твердости образцов в зависимости от вида обработки поверхности приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Параметры твердости сплава ВТ6 до и после нанесения покрытий и насыщения водородом

Образцы	Нагрузка, кг	Диагональ d, мм	HV
Исходный	0.3	2.064	320±30
После нанесения AlN	0.3	1.281	543±41
После нанесения AlN и насыщения водородом (1.6 масс%)	0.3	1.584	354±35

Установлено, что нанесение покрытий приводит к увеличению микротвердости поверхности титанового сплава в 1,7 раза. Повышение твердости образцов после нанесения покрытий связано с образованием нитрида алюминия, твердость которого, как известно, существенно выше твердости титана. При этом твердость наводороженных образцов ниже на ~ 40 % твердости ненасыщенных образцов с покрытием. Снижение твердости после наводороживания обусловлено образованием хрупкой гидридной фазы в титановом сплаве, что подтверждается результатами рентгеноструктурного анализа (таблица 7).

## 6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

### 6.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Чтобы представить целевому рынку результаты окончательной квалификационной экспертизы «Исследование свойств сплава ВТ6 с покрытием AlN, нанесенным вакуумно-дуговым методом», сначала необходимо проанализировать потребителей результатов исследований и определить сегменты рынка.

Чтобы идентифицировать определенную часть рынка или группу потребителей с определенными общими характеристиками, он подразделяется на определенные группы, которые требуют продукта.

В таблице 8 приведена разбивка рынка услуг по объему научных исследований, которые предотвращают проницаемость водорода в соответствии со следующими критериями.

Таблица 9 - Разбивка исследования рынка услуг путем научных исследований для предотвращения водопроницаемости

		Спектр проведения научных исследований проницаемости водорода через металлические фольги			
		Широкий температурный диапазон проведения эксперимента	Непродолжительные сроки проведения эксперимента	Быстрый анализ полученных данных	Исследование защитных покрытий и модификаций поверхностного слоя
Методика исследования	Методика электрохимического проникновения				

	Методика проникновения в газовой среде при высоких давлении и температу ре			
--	--	--	--	--

## 6.2 SWOT-анализ

Для исследования внешней и внутренней среды проекта применяют анализ SWOT – комплексный анализ научно-исследовательского проекта. Итогом данного анализа является матрица SWOT, в которой приведены все составляющие данного проекта.

Таблица 10 – SWOT-анализ

	<b>Сильные стороны научно исследовательского проекта:</b>	<b>Слабые стороны научно исследовательского проекта:</b>
	С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии. С2. Быстрый анализ полученных данных. С3. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями. С4. Легкий интерфейс управления. С5. Безопасность проведения исследований.	Сл1. Проведение исследований исключительно при комнатной температуре. Сл2. Предварительная подготовка экспериментальных образцов перед исследованием. Сл3. Низкий уровень проникновения на рынок. Сл4. Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца. Сл5. Длительный срок поставок материалов (образцов) для

		проведения научного исследования.
<p><b>Возможности:</b></p> <p>В1. Быстрая оценка защитных покрытий для дальнейшего исследования.</p> <p>В2. Решение фундаментальных задач исследования.</p> <p>В3. Появление дополнительного спроса на новый продукт.</p> <p>В4. Исследования коррозионных свойств металлов.</p> <p>В5. Повышение стоимости конкурентных разработок.</p>	<p>Прибыль проекта, хорошая энергетическая эффективность и безопасность помогли создать спрос на продукт.</p>	<p>Медленная эффективность работы увеличивает стоимость конкурентного развития.</p>
<p><b>Угрозы:</b></p> <p>У1. Несвоевременное финансирование научного исследования при дальнейшем развитии проекта.</p> <p>У2. Развитая конкуренция технологий производства.</p> <p>У3. Ограничения на экспорт технологии.</p> <p>У4. Введение дополнительных государственных требований к сертификации продукции.</p> <p>У5. Изменение спецификаций и стандартов на поставку экспериментальных металлических</p>	<p>По сравнению с другими технологиями, широкий спектр приложений приведет к изменению спецификаций и стандартов для поставки экспериментальных образцов металла.</p>	<p>Низкая степень проникновения на рынок помогает обеспечить своевременное финансирование научных исследований в дальнейшей разработке проекта.</p>

образцов запрещенного типа		
----------------------------	--	--

### 6.3 Составление перечня работ

Для достижения конкретных целей при проведении научных исследований в окончательной работе необходимо создать рабочую группу. Для каждого запланированного вида работы будет создано отдельное задание для каждого работника. В таблице 9 перечислены этапы и работы по проведению исследования в окончательной работе.

Таблица 11 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ работы	Содержание работы	Должность исполнителя
Разработка задания на НИР	1	Составление и утверждение задания НИР	Научный руководитель
Выбор направления исследования	2	Подбор и изучение материалов по теме	Научный руководитель, , Студент
	3	Выбор направления исследований	Научный руководитель, , Студент
	4	Календарное планирование работ по теме	Научный руководитель, , Студент
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Поиск литературы	Студент
	6	Метод выбора	Студент
	7	Проектирование экспериментальных процессов	Научный руководитель, , Студент
Обобщение и оценка результатов	8	Анализ результатов данных	Студент
	9	Определить достоверность результатов	Студент
Оформление отчета	10	Составление	Студент

по НИР		пояснительной записки	
--------	--	-----------------------	--

#### 6.4 Определение трудоемкости выполнения работ НИОКР

Основным фактором, отражающим большую часть стоимости научного развития, является заработная плата труда. С этой точки зрения важно определить трудоемкость каждого участника научных исследований.

Чтобы оценить сложность научных исследований, которые выполняют окончательную работу, используйте экспертный метод, который определяется человеко-днем. Для определения ожидаемого значения трудоемкости используется следующее соотношение:

$$ож = \frac{3 + 2}{5}, \quad (5)$$

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

$t_{mini}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы чел.-дн.;

$t_{maxi}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы, чел.-дн.

После расчета ожидаемой рабочей силы для задания мы определим продолжительность каждой работы в течение рабочего дня  $T_r$  на основе следующих отношений, учитывая параллельное выполнение нескольких работников:

$$= \frac{ож}{ч}, \quad (6)$$

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

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

Для проведения научных исследований, выдвинутых в заключительной работе, выберите ключевую научную тему. С этой целью создайте специальный ленточный график для проведения научной работы в виде диаграммы Ганта.

Чтобы установить расписание, необходимо преобразовать рабочие дни в календарные дни. Мы используем следующие отношения:

$$= \text{кал}, \quad (7)$$

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

$T_{pi}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$  – коэффициент календарности, определяющийся выражением:

$$k_{\text{кал}} = \frac{\text{кал}}{\text{кал} - \text{вых} - \text{пр}}, \quad (8)$$

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.

Таблица 12 – Временные показатели проведения научного исследования

№ раб.	Исполнители	Продолжительность работ						
		t чел-дн	t <sub>max</sub> чел-дн	t <sub>ож</sub> чел-дн	T раб-дн	T <sub>к</sub> кал-дн	у, %	Г, %
1	Научный руководитель	3	7	4,6	4,6	5.6	7.2	7.2
2	Научный руководитель , Студент	16	19	17,2	8,6	10.5	13.4	20.6
3	Научный руководитель , Студент	5	8	6,2	3,1	3.8	4.8	25.4
4	Научный руководитель , Студент	3	9	5,4	2,7	3.3	4.2	29.6
5	Студент	9	14	11	11	13.4	17.1	46.7
6	Студент	6	10	7,6	7,6	9.3	11.8	58.5
7	Научный руководитель , Студент	8	11	9,2	4,6	5.6	7.2	65.7
8	Студент	5	10	7	7	8.5	10.9	76.6
9	Студент	5	9	6,6	6,6	8.1	10.3	86.9
10	Студент	6	12	8,4	8,4	10.2	13.1	100

Наиболее удобным и видимым типом рабочего графика является построение полосы диаграммы исследований в виде диаграмм Ганта.

Диаграмма Ганта представляет собой горизонтальный блок-полоса, в которой работа по теме представлена длинными отрезками времени, характеризующихся даты начала и окончания выполнения этих работ.

График построен в рамках таблицы 11 с разбивкой по месяцам и неделям (7 дней) на период дипломной работы. В то же время работа на графике отличается разным штрихованием, в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Таблица 13 – Календарный план проведения НИР

Этап	Вид работы	Исполнитель	$t_k$	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь
1	Составление и утверждение задания НИР	Научный руководитель	8	■				
2	Подбор и изучение материалов по теме	Научный руководитель Студент	13	■ ■				
3	Выбор направления исследований	Научный руководитель Студент	8		■ ■			
4	Календарное планирование работ по теме	Научный руководитель Студент	8		■ ■			
5	Поиск литературы	Студент	10		■			
6	Метод выбора	Студент	12		■			
7	Проектирование экспериментальных процессов	Научный руководитель Студент	15			■ ■		
8	Анализ результатов данных	Студент	12			■		

9	Определить достоверность результатов	Студент	8						
10	Составление пояснительной записки	Студент	13						

## 6.5 Потенциальные потребители результатов исследования

### 6.5.1 Расчет материальных затрат НИИ

Расчет материальных затрат включает стоимость всех материалов, используемых в процессе разработки проекта:

- Покупка сырья извне;
- Приобретение материалов, используемых для производства научно-технической продукции;
- Приобретенные детали и полуфабрикаты, требующие дальнейшей установки или дополнительной обработки;
- Сырье и материалы как исследовательские объекты, приобретенные детали и полуфабрикаты, а также эксплуатация, техническое обслуживание и ремонт изделий

Таблица 12 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество			Цена за ед., руб.			Затраты на материалы, (Зм), руб.		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
Образец ВТ6	см3	6	6	0	20	20	20	120	120	0
Резиновые перчатки	шт.	1	1	1	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Шлифовальная бумага	шт.	4	4	4	60	60	60	240	240	240
Ручка	шт.	1	1	1	20	20	20	20	20	20
Дополнительная литература	шт.	3	0	0	300	0	0	900	0	00

Итого	128 2	382. 5	262. 5
-------	----------	-----------	-----------

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

В эту статью включены все связанные с этим затраты на покупку и использование конкретного оборудования, которое используется для выполнения конкретных задач.

Таблица 13 - Расчет бюджета расходов на приобретение оборудования для научной инженерии

№п/п	Наименование оборудования	Время использования оборудования, час			Цена использования оборудования, тыс. руб/час			Общая стоимость оборудования, тыс. руб.		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Автоматизированный комплекс Gas Reaction Controller	12	12	12	500	500	500	6	6	6
Итого								6	6	6

### 6.5.3 Основная заработная плата исполнителей темы

Для расчета базовой заработной платы необходимо учитывать научный и инженерный персонал, персонал магазина и производственные мощности, участвующие в окончательной работе. Чтобы рассчитать базовую зарплату, необходимо создать баланс рабочего времени, как показано в таблице 14.

Таблица 14 – Расчет основной заработной платы

№п/п	Наименование этапов	Исполнитель по категории	Трудоёмкость, чел.- дн.	Заработная плата, приходящаяся на один	Всего заработная плата по тарифу (окладам), тыс. руб

						чел.-дн., тыс. руб.					
			1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Составление и утверждение задания НИР	Научный руководитель	1	1	1	1.5			1.5	1.5	1.5
2	Подбор и изучение материалов по теме	Научный руководитель , Студент	5	5	5	0.5			2.5	2.5	2.5
3	Выбор направления исследований	Научный руководитель , Студент	2	2	2	1.5			3	3	3
4	Календарное планирование работ по теме	Научный руководитель , Студент	1 0	10	1 0	2			20	20	20
5	Поиск литературы	Студент	1 5	15	1 5	2			30	30	30
6	Метод выбора	Студент	5	5	5	0.5			2.5	2.5	2.5
7	Проектирование экспериментальных процессов	Научный руководитель , Студент	2 0	20	2 0	1.5			30	30	30
8	Анализ результатов данных	Студент	1 5	15	1 5	2			30	30	30
9	Определить достоверность результатов	Студент	1 0	10	1 0	1			10	10	10
10	Составление пояснительной записки	Студент	5	5	5	0.5			2.5	2.5	2.5
Итого									162	162	162

#### 6.5.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Дополнительная заработная плата исполнителей выпускной работы учитывается согласно Трудовому кодексу РФ, т.е. выплат связанных с обеспечением гарантий и компенсаций.

Для расчета дополнительной заработной платы воспользуемся следующей формулой:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}, \quad (9)$$

где  $k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной заработной платы, равный 0,14.

$$Z_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}, \quad (10)$$

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

$Z_{\text{доп}}$  – дополнительная заработная плата (12–20 % от  $Z_{\text{осн}}$ ).

Таблица 15 – Расчёт дополнительной заработной платы

Исполнители	$Z_{\text{осн}}$ , руб.	$Z_{\text{доп}}$ , руб.
Научный руководитель	162000	25920
Студент	-	-
Инженер	162000	25920

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

Вычеты внебюджетных средств определяются по следующей формуле:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) \quad (11)$$

где  $k_{\text{внеб}}$  – коэффициент используется для вычета внебюджетных фондов (пенсионных фондов, фондов обязательного медицинского страхования и пр.).

В 2014 году, согласно Федеральному закону от 24 июля 2009 года № 212-ФЗ, размер премии составлял 30%. В соответствии со статьей 58 (1) Закона № 212-ФЗ учреждения, занимающиеся просвещением и научной деятельностью в 2014 году, приняли показатель сокращения в размере 30%.

#### 6.5.6 Накладные расходы

Количество накладных расходов определяется следующей формулой:

$$Z_{\text{накл}} = (\Sigma \text{статей}) \cdot k_{\text{нр}} \quad (12)$$

где  $k_{\text{нр}}$  - факторы, учитывающие затраты на управление.

Стоимость накладных расходов может быть принята за 16%.

#### 6.5.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Формирование бюджета научно-исследовательского проекта является основой для определения бюджета затрат по проекту и на основе вышеуказанных расчетов. Результаты приведены в таблице 15 - Рассчитать бюджет затрат на НИИ.

Таблица 16 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.		
	Научный руководитель	Студент	Инженер
Материальные затраты НИИ	1282	382.5	262.5
Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	6000	6000	6000
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	162000	162000	162000
Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	25920		25920
	33696		33696

Отчисления внебюджетные фонды	во			
Накладные расходы		13295,68		13235,41
Бюджет затрат НТИ		228898	168382.5	227878.91
Итого		628159.41		

### 6.6 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, социальной и экономической эффективности исследования.

Эффективность - это расчет общих показателей, основанных на достоверности научных исследований. Это связано с определением двух средневзвешенных значений: финансовой эффективности и эффективности использования ресурсов.

Общий финансовый показатель определяется как:

$$\frac{\text{исп. } \Phi_p}{\text{финр } \Phi} \quad (13)$$

где  $\text{финр}_{\text{исп.}i}$  – комплексный финансовый показатель развития;

$\Phi_{pi}$  – стоимость  $i$ -й версии;

$\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость выполнения исследовательского проекта.

$$\text{исп.}1 = 228898/228898 = 1;$$

$$\text{исп.}2 = 168382.5/228898 = 0.735;$$

$$\text{исп.}3 = 227878.91/228898 = 0.995;$$

Общий индикатор ресурсной эффективности варианта реализации объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a \cdot b \quad (14)$$

где  $I_{pi}$  – интегральный показатель эффективности использования ресурсов  $i$ -й версии;

a - весовой коэффициент i-й версии разработки;

n - количество параметров сравнения. Общий индекс эффективности ресурсов вычисляется в табличной форме (таблица 16).

Таблица 16 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта.

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Надежность	0.2	4	3	4
Объем работ	0.3	5	3	4
Потребление	0.1	5	4	4
Многосторонность	0.2	4	4	4
Эффективность работы	0.2	5	3	4
ИТОГО	1	4.6	3.3	4

Комплексный показатель ( $I_{испi}$ ) эффективности планов развития определяется по следующей формуле, основанной на общих показателях эффективности ресурсов и общих финансовых показателях:

$$I_{испi} = \frac{I_{р-испi}}{I_{финр}^{испi}}, \quad (12)$$

$$I_{исп1}=4.6/1=4.6; \quad I_{исп2}=3.3/0.735=4.24; \quad I_{исп3}=4.2/0.995=4.02;$$

Сравнение общих показателей эффективности плана развития поможет определить относительную эффективность проекта и выбрать наиболее подходящий вариант из предлагаемого плана. Сравнительная эффективность проекта ( $E_{sr}$ ):

$$E_{sr} = \frac{I_{испi}}{I_{исп\max}}, \quad (13)$$

Таблица 17 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	0.735	0.995

2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4.6	4.4	4
3	Интегральный показатель эффективности	4.6	4.24	4.02
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0.92	0.87

## Вывод

Бюджет исследований был рассчитан при планировании исследовательской работы. В статистике бюджет используется для материальных затрат (1 927 руб), базовых окладов (162 000 руб), дополнительных расходов на заработную плату (25920 руб), расходов на научную продукцию (6000 руб), вычета внебюджетных средств (33 696 руб) и косвенных расходов (13295,86 руб). Общий бюджет составляет 684,776,29 рублей. Эта оценка стоимости бизнеса необходима для финансового состояния и перспектив текущих научных исследований.

## 7 Социальная ответственность

В работе используется контроллер газовой реакции для гидрирования образцов металла в лаборатории. На основе реализации необходимых функций трудового процесса рабочее место проектируется на горизонтальной и вертикальной плоскостях. При проектировании рабочего места при организации рабочего места следует учитывать освещение, температуру, влажность, давление, шум, опасные вещества, электромагнитные поля и другие требования к здоровью и гигиене. При разработке лабораторий необходимо проявлять осторожность, чтобы защитить окружающую среду, особенно в производстве отходов. Также необходимо рассмотреть возможность возникновения чрезвычайной ситуации.

### 7.1 Анализ выявленных вредных и опасных факторов проектируемой производственной среды

В лаборатории, где существуют различные электроустановки, магнетрон, элементы из тяжелых металлов, могут быть следующие вредные факторы: наличие - а) метеоусловия ; б) шум производства; в) Электромагнитные поля; г) Освещенность.

#### 7.1.1 Метеоусловия

Значительное влияние на состояние тела работника, его производительность имеет климат (метеорологические условия) в помещениях, что относится к условиям внутренней среды этих пространств, которые влияют на теплообмен с рабочей средой. Эти условия определяются сочетанием температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха, температуры поверхностей, окружающих человека, и интенсивности теплового (инфракрасного) излучения.

Нормальный ход физиологических процессов и, следовательно, хорошее здоровье возможны только тогда, когда тепло, генерируемое человеческим

организмом, играет в окружающей среде. Микроклиматические условия, которые позволяют этот процесс, считаются лучшими. В случае неудовлетворительных микроклиматических условий в организме человека для поддержания постоянной температуры тела могут начаться различные процессы, направленные на регулирование производства тепла и потери тепла. Когда температура воздуха находится в диапазоне 15-25 ° С, тепловыделение тела почти не меняется (зона безразличия). При более низкой температуре воздуха увеличивается тепловыделение, главным образом из-за мышечной активности (тряски) и увеличения обмена веществ. С увеличением температуры воздуха усиливается процесс теплообмена. Количество тепла, выделяемого в организме человека, во многом зависит от физической активности и уровня тепла - от микроклиматических условий, главным образом от температуры воздуха. Оптимальные и допустимые параметры температуры, относительной влажности и скорости воздуха в рабочей зоне производственных помещений должны соответствовать значениям, приведенным в таблице 18 [СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.].

Таблице 18 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Ia (до 139)	22-24	21-25	60-40	0,1
Теплый	Ia (до 139)	23-25	22-26	60-40	0,1

## 7.1.2 Шум производства

Воздействие шума на работе может нанести вред здоровью работников. Наиболее известным эффектом шума на работе является потеря слуха, он также может усугубить стресс и увеличить риск несчастных случаев.

Нарушение слуха может быть связано с механическим блокированием при передаче звука во внутреннее ухо или повреждением волосковых клеток в улитке, части внутреннего уха. Редко, нарушение слуха также может быть вызвано нарушениями центральной слуховой обработки.

Потеря слуха, вызванная шумом, является наиболее распространенным профессиональным заболеванием в Европе, на которое приходится около одной трети всех связанных с работой заболеваний, опережая проблемы с кожей и респираторными заболеваниями. НИХЛ обычно вызван длительным воздействием громкого шума. Первым симптомом, как правило, является невозможность услышать высокие звуки. Если проблема чрезмерного шума не будет устранена, слух человека будет еще более ухудшаться, включая трудности с обнаружением более низких звуков. Обычно это происходит в обоих ушах. Ущерб, вызванный шумом, является постоянным. Потери слуха могут возникать без долгосрочных воздействий. Кратковременное воздействие импульсных шумов (даже одного сильного импульса), таких как выстрелы или гвоздь или заклепочные пушки, может иметь постоянные последствия, включая потерю слуха и непрерывный шум в ушах. Импульсы могут также разделять мембрану барабанной перепонки. Это болезненно, но урон исцеляем.

Способы определяют, как уменьшить влияние шума на рабочем месте:

а) При определении способов производства или процессов следует учитывать необходимость управления шумом.

б) Административный контроль следует использовать, когда невозможно снизить уровень шума посредством технических мер контроля шума.

в) Снабжены личными защитниками слуха правильной оценки и подходят для условий работы.

### 7.1.3 Электромагнитные поля

Основные опасности, как правило, связаны с длительным воздействием колебаний электрических и магнитных полей, которые могут влиять на ткань тела. Электрические поля заставляют клетки тела вибрировать и нагреваться на высоких частотах и в колебательных магнитных полях, генерируются электрические токи в ткани тела, Действует как проводник. В сочетании электрические изменения в клетках и тканях организма заставляют частицы пыли, а также молекулы заряженных газов привлекаться к этим частям.

Длительное высокое воздействие электромагнитных полей может повредить тело белых кровяных телец его тела, чтобы убить опухоли и бороться с болезнями, и есть данные, свидетельствующие о том, что это может также оказывать неблагоприятное воздействие на вашу центральную нервную систему, железы и Мозг, который связан не только с определенными видами рака, но также может вызывать другие проблемы как физически, так и психологически.

Необходимо оградить рабочих от воздействия ЭДС настолько, насколько это возможно. Это может быть достигнуто за счет использования более низкого напряжения и экранированного оборудования, ограничивающего расстояние между оборудованием и рабочим, эксплуатирующим его, и отключением тока и отсоединением любого оборудования, когда оно не используется.

### 7.1.4 Освещенность

Освещение может показаться простой частью рабочей среды, но если это не сделано правильно, это может привести к жалобам, таким как глазное раздражение, раздражение глаз, сухость глаз, помутнение зрения и головные боли. Кроме того, плохое освещение может создавать проблемы безопасности

и снижать производительность, поскольку сотрудники могут становиться неудобными или оказаться не в состоянии идти в ногу с темпом своей работы, потому что они не могут видеть очень хорошо.

Хорошее освещение, с другой стороны, может сделать сотрудников более комфортными и повысить производительность. Пространство, которое хорошо освещено и не имеет слишком большого количества теней или слишком большого количества бликов, позволяет работникам сосредоточиться на задачах под рукой, не прибегая к косоглазиям, использовать неудобные позы или искать дополнительные источники света.

На рабочем месте требуются три основных типа освещения: общая, локализованная и локальная задача. Общее освещение, такое как потолочные светильники, освещает большие площади, в то время как локализованное общее освещение немного ближе к рабочим станциям. Эти потолочные светильники помогают освещать места, где будут выполняться задачи. Местное освещение или освещение задач становятся еще ближе к работникам. Например, настольные лампы и торшеры могут быть скорректированы сотрудниками, чтобы помочь им увидеть материалы, с которыми они работают. При использовании вместе эти типы освещения могут уменьшить напряжение глаз для работников.

## 7.2 Экологическая безопасность.

При разработке лабораторий необходимо проявлять осторожность, чтобы защитить окружающую среду, особенно в производстве отходов.

Лучшая стратегия управления лабораторными отходами направлена на максимизацию безопасности и минимизацию воздействия на окружающую среду, и рассматривает эти цели с момента покупки.

Наилучшим подходом к лабораторным отходам является предотвращение его генерации. Примеры включают сокращение масштабов лабораторных операций, сокращение образования отходов во время лабораторных операций

и замену неопасных или менее опасных химических веществ в химических процедурах.

Все отходы, подходящие для сбора отходов местного самоуправления, называются «контролируемыми отходами». Элементы этой категории, которые включают грязную бумагу, пластик, резину и древесину, обычно помещают в мусорные ведра, имеющиеся в каждой лаборатории, и собираются чистящими средствами. Тем не менее, каждая лаборатория также должна иметь контейнер для определенных предметов, которые не могут быть помещены в обычные мусорные контейнеры.

### 7.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Если обнаружена неисправность Gas Reaction Controller, необходимо остановить работу, выйти из программы, выключить питание компьютера, выключить насос, отключить Gas Reaction Controller от основного источника питания и уведомить супервизора.

Если в цилиндре протекает утечка газа, подача газа должна быть немедленно остановлена, и аварийная ситуация должна быть сообщена непосредственному руководителю.

В случае пожара немедленно прекратите работу, закройте газовые баллоны, выключите электрооборудование, вызовите пожарный отдел на 01 или 010, уведомите об этом начальника и используйте основные методы пожаротушения для тушения пожара.

Во избежание риска возгорания и взрыва необходимо принять следующие меры:

- 1) Планирование защиты жизни и имущества на уровне предприятия от пожаров и взрыва;
- 2) Эвакуация работников;
- 3) Создайте инвентарь личного защитного снаряжения и сохраните его;
- 4) Проектирование, размещение, строительство и эксплуатация инфраструктуры, включая потенциально опасную инфраструктуру;

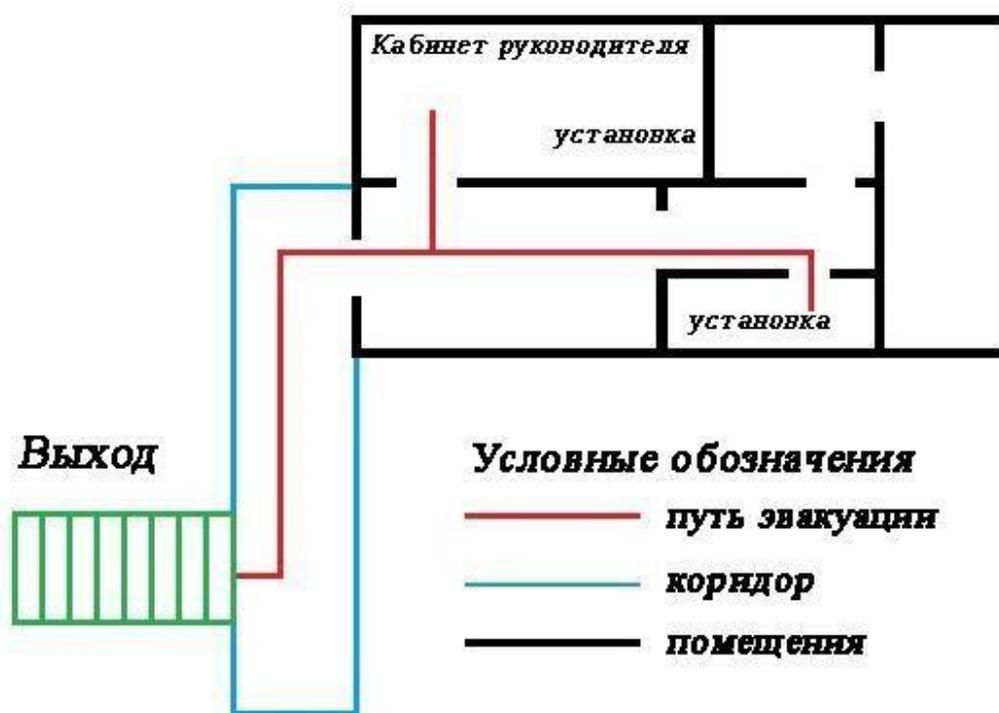


Рисунок 9 – План эвакуации из лаборатории

7.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности  
 ГОСТ 12.1.045-84 Электростатические поля. Допустимые уровни на  
 рабочих местах и требования к проведению контроля.

ГОСТ 30331.4-95 Часть 4. Требования по обеспечению безопасности.  
 Защита от тепловых воздействий.

ГОСТ Р ИСО 6942-2007 Одежда для защиты от тепла и огня. Методы  
 оценки материалов и пакетов материалов, подвергаемых воздействию  
 источника теплового излучения.

ГОСТ Р ИСО 11439-2010 Газовые баллоны. Баллоны высокого давления  
 для хранения природного газа. Технические условия.

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

СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату  
 производственных помещений.

СП 51.13330.2011. Защита от шума.

## Вывод

Во время проверки безопасности путем внедрения контроллеров газовой реакции, вредных и опасных факторов были определены меры защиты на рабочем месте и рассмотрены чрезвычайные ситуации.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе проведены комплексные исследования свойств титанового сплава ВТ6 с покрытием AlN, исследовано взаимодействие водорода с титанового сплава ВТ6 с покрытием AlN. Установлено, что покрытие на основе нитрида алюминия повышает износостойкость сплава ВТ6 в 2 раза и микротвердость поверхности титанового сплава в 1,7 раза. Повышение твердости образцов после нанесения покрытий связано с образованием нитрида алюминия, твердость которого, как известно, существенно выше твердости титана. Установлено, что нанесение покрытия AlN приводит к снижению скорости поглощения водорода сплавом ВТ6. Твердость наводороженных образцов ниже на ~ 40 % твердости ненасыщенных образцов с покрытием.

## Список использованных источников

1. Gurrappa I. Characterization of titanium alloy Ti-6Al-4V for chemical, marine and industrial applications // *Materials Characterization*. – 2003. – V. 51, Issues 2-3. – P. 131-139.
2. Brewer W. D., Bird R. K., Wallace T. A. Titanium alloys and processing for high speed aircraft // *Materials Science and Engineering: A*. – 1998. – Volume 243, Issues 1-2. – P. 299-304.
3. Xu J.J., Cheung H.Y., Shi S.Q. Mechanical properties of titanium hydride // *Journal of Alloys and Compounds*. – 2007. – 436. –P. 82 – 85
4. Колачев Б. А. Водородная хрупкость металлов / Б. А. Колачев. – М. : Металлургия, 1985. – 217 с
5. Тюрин Ю. И. Аккумулирующие свойства водорода в твердом теле / Ю. И. Тюрин, И. П. Чернов. – М. :Энергоатомиздат, 2000. – 285 с
6. Водород в металлах : В 2-х т. : Пер. С англ. / Под ред. Г. Алефельда, И. Фёлькиля. – М. : Мир, 1981. –Т. 2. Прикладные аспекты. – 1981. – 430с
7. Гельд П.В., Рябов Р.А., Мохрачева Л.П. Водород и физические свойства металлов и сплавов. – М.: Наука. –1985. –232 с
8. Гольцов В.А. Водород в металлах. – ВАНТ. Сер. Атомно-водородная энергетика. – 1977. –вып. 1. –с. 65–101
9. Ливанов В. А. Водород в титане / В. А. Ливанов, А. А. Буханова, Б. А. Колачев. –М. :Металлургиздат, 1962. –246 с
10. Мороз Л. С. Водородная хрупкость металлов / Л. С. Мороз, Б. Б. Чечулин. –М. : Металлургия, 1967. –256 с 47
11. E. Tal-Gutelmacher, Eliezer D. Hydrogen cracking in titanium-based alloys // *Journal of Alloys and Compounds*. – 2005. –404–406. – P. 621–625.
12. Zhu T., Li M. Effect of 0.770 wt%H addition on the microstructure of Ti–6Al–4V alloy and mechanism of hydride formation // *Journal of Alloys and Compounds*. – 2009. – 481. – P. 480–485.

13. Агеев В. Н., Афанасьева Е. Ю., Потехина Н. Д. Кинетика окисления тонких пленок титана, выращенных на поверхности вольфрама // Физика твердого тела. – 2004. – Т. 46. – №. 8. – С. 45-52.
14. Морозов А. Н., Михайличенко А. И. Получение Наноструктурированных Высокоупорядоченных Пленок Диоксида Титана // Успехи в химии и химической технологии. – 2012. – (140) . – С. 3030-3422.
15. Yan L., ramamurthys., Noel J.J., Shoesmith D.W. Hydrogen absorption into alpha titanium in acidic solutions // Electrochimica Acta. – 2006. – 52. – P. 1169–1181
16. Сергеевич М. В., Маратович К. Р., Романович Ш. С. // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета . – 2011. – № 4 (44) . – том 15.
17. Поляков И. А., Самойленко В. В., Ленивцева О. Г. // III международная научная школа для молодежи «Материаловедение и металлофизика легких сплавов», 2014. – С. 71-75.
18. Yang, He. Electrodeposition of nickel-based composite coatings for tribological applications. UNIVERSITY OF SOUTHAMPTON: national Centre for Advanced Tribology at Southampton (ncats), 2015. – P.120-121.
19. Смыслов А. М., Мингажев А. Д., Смылова М. К., Селиванов К. С., Мингажева А. А. Ионно-Плазменная Технология Формирования Покровий На Лопатках Турбины Гтд Из Жаростойких Никелевых Сплавов // Машиностроение и машиноведение. – 2012. – Том 16, № 1(46) . – С.77-80.
20. Ильющенко А. Ф., Купченко Г. В., Лученок А. Р. Литейно – Импульсный Метод Получения Изделий Из Сплава На Основе Титан – Алюминий // Литьё и металлургия. – 2012, (68) . – С. 130-134.
21. Погребняк А.Д., Рузимов Ш.М., Кульментьева О.П., Русаков В.С., Алонцева Д.Л., Дядюра К.А., Понарядов В.В. Характеристики И Свойства Защитных Покровий На Основе Ni-Cr И Co-Cr После Обработки

- Концентрированными Потоками Энергии // ФИП. – 2005. – No3-4, vol. 3. – С. 158 – 189.
22. Братушка С.Н., Маликов Л.В. Ионно-Плазменная Модификация Титановых Сплавов // Вопросы атомной науки и техники. №6. Серия: Вакуум, чистые материалы, сверхпроводники. – 2011. (19) . – с.126-140.
23. Candel Bou, JJ., Borrás A. Recent advances in laser surface treatment of titanium alloys // Journal of Laser Applications. – 2011. – 23(2). – P. 1-7.
24. Пушкарев А. И., Ремнев Г. Е., Пономарев Д. В. Использование Импульсных Электронных Пучков В Плазмохимии // Известия Томского политехнического университета. – 2006. – (309) . – С. 103-108.
25. Поляков А.Н., Иманбеков Ж.Ж., Иманбекова Т.Д. ЗАЩИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ Ti, Al и Be // Наука и инженерное образование без границ: Труды международного форума. – 2009. –Т. 1. – С.503-506.
26. Смыслов А. М., Мингажев А. Д., Смыслова М. К., Селиванов К. С., Мингажева А. А. Нанослойное покрытие для лопаток турбомашин из титановых сплавов // Машиностроение. – 2011. – Т. 15, № 1 (41). – С. 109–112.
27. Tabor, David. The hardness of metals. Oxford university press, 2000. – P.4-16
28. Tabor, David. The hardness of metals. Oxford university press, 2000. – P. 99-101
29. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://matved2010.narod.ru/glava523.html>.
30. Ronan G. A., Cole A. Glow discharge spectrometry : пат. 5184016 США. – 1993.
31. Nelis T., Payling R. Glow discharge optical emission spectrometry //Surface Analysis Methods in Materials Science. – Springer, Berlin, Heidelberg, 2003. – С. 553-559.
32. Clark J. D. H., Hoodless R. C. Glow discharge spectrometer : пат. 4912324 США. – 1990.

33. Электронный ресурс. Режим доступа:  
[http://nytek.ru/upload/medialibrary/4d1/profiler\\_pic1.png](http://nytek.ru/upload/medialibrary/4d1/profiler_pic1.png)
34. Максимов Е Г, Панкратов О А. Водород в металлах[J] // Успехи физических наук. – 1975. – V. 116(7) . – P. 385-412.
35. Kudiiarov V. N. et al. Application of automated complex Gas Reaction Controller for hydrogen storage materials investigation //Advanced Materials Research. – Trans Tech Publications, 2013. – Т. 740. – С. 690-693.