

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

### БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

<b>Тема работы</b> <b>Влияние водорода на структурно-фазовое состояние и механические свойства титанового сплава системы Ti-Al-V-Mo</b>
--

УДК 669.295.5:699.788.017.3

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0Б51	Хованова Анастасия Олеговна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭФ ИЯТШ	Степанова Екатерина Николаевна	К.Т.Н		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
В.н.с. лаборатории ИФПМ СО РАН	Грабовецкая Галина Петровна	д.ф.-м.н		

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Конотопский Владимир Юрьевич	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД ШБИП	Скачкова Лариса Александровна			

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ОЭФ ИЯТШ	Лидер Андрей Маркович	д.т.н., доцент		

## 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 ФГОСЗ+  (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 ФГОСЗ+  (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 ФГОСЗ+  (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 ФГОСЗ+  (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	Требования ФГОСЗ+  (ОПК-8, ОПК-9)

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



<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>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Обзор литературных источников на тему влияния водорода на ультрамелкозернистую структуру и механические свойства</li> <li>2. Постановка задачи</li> <li>3. Подготовка образцов для исследований</li> <li>4. Оптический анализ поверхности исследуемых образцов в исходном состоянии</li> <li>5. Электронно-микроскопическое исследование структуры сплава ВТ16-Н</li> <li>6. Исследование микротвердости образцов</li> <li>7. Исследование механических свойств методом одноосного растяжения</li> <li>8. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</li> <li>9. Социальная ответственность</li> <li>10. Заключение</li> </ol>
--	---

**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы**

*(с указанием разделов)*

Раздел	Консультант
Социальная ответственность	Скачкова Лариса Александровна
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Конотопский Владимир Юрьевич

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

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭФ ИЯТШ	Степанова Екатерина Николаевна	к.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0Б51	Хованова Анастасия Олеговна		

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
0Б51	Ховановой Анастасии Олеговне

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

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Принять по действующим ценам</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	–
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>НДС – 20%; Отчисления во внебюджетные фонды – 30%</i>

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

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

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

1. <i>Оценка конкурентоспособности технических решений</i>
2. <i>График проведения и бюджет НИ</i>
3. <i>Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ</i>

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

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент ОСГН ШБИП	Конотопский Владимир Юрьевич	к.э.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
0Б51	Хованова Анастасия Олеговна		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
0Б51	Ховановой Анастасии Олеговне

Школа	Инженерная школа ядерных технологий	Отделение (НОЦ)	Отделение экспериментальной физики
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	Физика

Тема ВКР:

Применение метода электрохимической проницаемости для определения коэффициента диффузии водорода в трубопроводной стали марки 10Г2 до и после коррозионных испытаний

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

<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p>Объектом исследования является титановый сплав ВТ16, предварительно легированный водородом. Для исследования механических свойств применялась вакуумная установка ПВ-3012М. Данные установки находятся в лаборатории ИФПМ со РАН корпус №2. Исследования в данной области представляют интерес в различных промышленных отраслях</p>
---	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p><b>1. 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> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019)</li> <li>- инструкция № 2-14 по охране труда при работе с электрооборудованием напряжением до 1000 В;</li> <li>Документы по воздействию ПЭВМ:</li> <li>- инструкция № 2-08 по охране труда при работе с ПЭВМ и ВДТ;</li> <li>- ГОСТ 22269-76. Система «человек-машина». Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования.</li> <li>- ГОСТ Р 50923-96. Дисплеи. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения.</li> <li>- ПНД Ф 12.13.1-03. Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения). СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и</li> </ul>
--	---

	организации работы.
<b>2. Производственная безопасность:</b> 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	Анализ опасных факторов производственной среды: – электробезопасность; – термическая опасность; – пожаровзрывобезопасность. Анализ вредных факторов производственной среды: – воздействие электрического напряжения на организм человека; – воздействие высокой температуры на организм человека; – воздействие химических веществ на дыхательные пути и организм человека в целом; – микроклимат.
<b>3. Экологическая безопасность:</b>	Выброс паров масла из фильтра пластинчато-роторного насоса;
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	Возможные чрезвычайные ситуации: – возникновение возгорания; – поражение оператора установки электрическим током; Наиболее типичная ЧС: – возникновение возгорания

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД ШБИП	Скачкова Лариса Александровна			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0Б51	Хованова Анастасия Олеговна		

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

Школа Инженерная школа ядерных технологий

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)
01.03.2018	Аналитический обзор литературы	15
01.04.2018	Постановка задачи и подготовка образцов к эксперименту	15
01.09.2018	Оптический анализ поверхности исследуемых образцов в исходном состоянии, электронно-микроскопическое исследование структуры сплава ВТ16-Н, исследование микротвердости образцов	15
30.12.2018	Исследование механических свойств сплава ВТ16 и ВТ16-Н методом одноосного растяжения	15
30.04.2019	Анализ результатов	15
25.05.2019	Социальная ответственность	10
20.05.2019	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	10
15.04.2019	Заключение	5

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭФ ИЯТШ	Степанова Екатерина Николаевна	к.т.н.		

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ОЭФ	Лидер Андрей Маркович	д.т.н., доцент		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 81 с., 24 рисунков, 11 таблиц, 62 литературных источников, 0 приложений. Ключевые слова: титановый сплав, водород, структурно - фазовое состояние, механические свойства, ультрамелкозернистая структура. Объектом исследований являлся двухфазный ( $\alpha+\beta$ ) титановый сплав системы Ti-Al-V-Mo (марка VT16) с различной концентрацией водорода 0,002 – 0,94 мас. %.

Целью работы является изучение влияния водорода на формирование ультрамелкозернистой структуры и механических свойств в сплаве системы Ti-Al-V-Mo (марка VT16).

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи: приготовить образцы для оптических и электронно-микроскопических исследований; исследовать структуру сплавов VT16 и VT16 – H; провести измерения микротвердости; провести механические испытания сплавов при комнатной и повышенной температурах.

В первой главе описаны методы получения ультрамелкозернистой структуры, приведены структура и механические свойства титановых сплавов в ультрамелкозернистом состоянии.

Вторая глава преимущественно посвящена постановке задачи и методике эксперимента.

В третьей главе экспериментально изучено влияние водорода на структурно-фазовое состояние и механические свойства титанового сплава VT16. Показано, что использование метода, представляющего комбинацию обратимого легирования водородом и горячей пластической деформации, приводит к формированию ультрамелкозернистой структуры с меньшими энергетическими затратами и повышенными прочностными характеристиками.

В четвертой главе описан финансовый менеджмент ресурсоэффективность и ресурсосбережение данной работы.

В пятой главе описана социальная часть проведенного исследования.

Область применения: результаты работы могут быть применены для исследования влияния концентрации водорода на механические свойства титанового сплава марки ВТ16

## Содержание

Введение.....	14
Глава 1. Ультрамелкозернистая структура и методы ее получения.....	16
1.1 Методы получения ультрамелкозернистой структуры.....	16
1.1.1 Деформация кручением под высоким давлением.....	16
1.1.2 Метод равноканального углового прессования.....	17
1.1.3 Всестороннее прессование со сменой оси деформации.....	19
1.1.4 Метод, сочетающий обратимое легирование водородом и интенсивную пластическую деформацию.....	20
1.2 Структура и свойства титана и его сплавов в ультрамелкозернистом состоянии.....	23
1.2.1 Структура титана и его сплавов в ультрамелкозернистом состоянии..	23
1.2.2 Механические свойства титана и его сплавов в ультрамелкозернистом состоянии.....	27
Глава 2. Постановка задачи и методика эксперимента.....	33
2.1 Постановка задачи.....	33
2.2 Материал и методы эксперимента.....	33
Глава 3. Экспериментальная часть.....	37
3.1 Структура титанового сплава ВТ16.....	37
3.2 Влияние водорода на механические свойства титанового сплава ВТ16...	39
Глава 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	49
4.1 Организация и планирование работ.....	49
4.1.1 Продолжительность этапов работ.....	50
4.2 Бюджет научного исследования.....	54
4.2.1 Расчет материальных затрат НИР.....	54
4.2.2 Расчет заработной платы.....	56
4.2.3 Расчет затрат на социальный налог.....	56
4.2.4 Расчет затрат на электроэнергию.....	57
4.2.5 Расчет амортизационных расходов НИР.....	58

4.2.6 Расчет прочих расходов НИР .....	58
4.2.7 Расчет общей себестоимости разработки.....	58
Глава 5. Социальная ответственность.....	60
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	60
5.2 Профессиональная социальная безопасность.....	62
5.2.1 Анализ вредных и опасных производственных факторов.....	63
5.2.1.1 Анализ вредных факторов.....	64
5.2.1.2 Анализ опасных факторов.....	67
5.3 Экологическая безопасность.....	68
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	69
5.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований.....	69
5.4.2 Разработка порядка действия в случае возникновения ЧС.....	70
Заключение.....	74
Список литературы.....	75

## **Введение**

В настоящее время наиболее перспективными конструкционными материалами являются титановые сплавы. Вследствие их высокой коррозионной стойкости, биосовместимости и низкой плотности широко используются в морском судостроении, аэрокосмической промышленности, а также в медицине. Однако титановые сплавы имеют недостаточную прочность, поэтому вопрос об улучшении прочностных характеристик особенно важен. Одним из методов повышения механических свойств поликристаллов является измельчение зерен до нано – и/или субмикронного размера. Эффективным способом получения материала с такой структурой является интенсивная пластическая деформация (ИПД). Титановые сплавы являются труднодеформируемыми материалами, поэтому для измельчения их структуры используют метод, комбинирующий обратимое легирование водородом и горячую пластическую деформацию, что позволяет снизить энергетические затраты [1,2].

Влияние водорода заключается в водородном охрупчивании. Это является широко распространенной проблемой для титана и его сплавов, приводящей в процессе эксплуатации к разрушению конструкций из этих материалов. Поэтому для решения этой проблемы необходимо изучить влияние концентрации водорода на свойства и структуру титановых сплавов.

**Целью работы** является изучение влияния водорода на формирование ультрамелкозернистой структуры и механических свойств в сплаве системы Ti-Al-V-Mo-H (марка VT16).

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

1. Знакомство с литературой по теме.
2. Приготовить образцы для оптических, электронно-микроскопических исследований.

3. Методом оптической микроскопии исследовать структуру сплавов ВТ16 и ВТ16 – Н.
4. Электронно-микроскопическим методом исследовать структуру сплава ВТ16 – Н.
5. Провести измерения микротвердости сплавов ВТ16 и ВТ16 – Н.
6. Провести механические испытания сплавов ВТ16 и ВТ16 – Н при комнатной и повышенной температурах.
7. Сделать выводы о проделанной работе.

# Глава 1. Ультрамелкозернистая структура и методы ее получения

## 1.1 Методы получения ультрамелкозернистой структуры

В настоящее время известно множество способов получения УМЗ материалов, среди которых наибольшее распространение получили методы ИПД. Они позволяют получать УМЗ структуру в объемных образцах и заготовках без нарушения сплошности материала. Рассмотрим наиболее подробно используемые методы.

### 1.1.1 Деформация кручением под высоким давлением

В основу данного способа положен метод наковальни Бриджмена [3]. Металлический образец помещается между бойками и подвергается деформации кручением под давлением в несколько ГПа (рисунок 1). Деформирование образца происходит сдвигом за счет вращения нижнего бойка и силы поверхностного трения. Отсюда следует, что данный материал будет деформироваться в объеме под действием приложенного давления. В результате такого прессования, образец не разрушается [4].

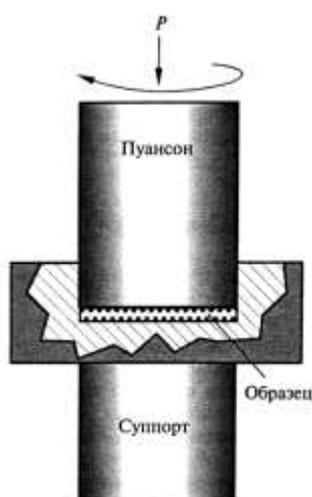


Рисунок 1 – Интенсивная пластическая деформация кручением [5].

Образцы, полученные деформацией кручения под высоким давлением, имеют форму дисков диаметром около 10 – 20 мм и толщиной 1 мм. Как показывают результаты многочисленных исследований, для создания УМЗ структуры требуется вращение на несколько оборотов. Недостатком этого метода является малый объем материала, в котором может быть получена УМЗ структура. Кроме того, полученная структура будет неоднородной по радиусу образца. Это связано с неравномерной деформацией вдоль радиуса диска. Степени деформации образца можно рассчитать по формуле [6]:

$$\varepsilon_c = 2\pi \cdot R \cdot \frac{N}{h}, \quad (1)$$

где  $\varepsilon_c$  – деформация,  $R$  – расстояние от оси образца,  $N$  – число оборотов, а  $h$  – толщина образца.

Из формулы (1) видно, что чем больше деформация материала, тем меньше размер зерна по мере удаления от центра диска.

### **1.1.2 Метод равноканального углового прессования**

Заготовки материала при использовании метода равноканального углового прессования (РКУП) имеют достаточно большие размеры. Они представляют собой, как правило, стержни диаметром 20 – 40 мм и длиной от 100 мм до 300 мм. В специальном оборудовании через два канала с одинаково поперечными сечениями, которые пересекаются под углом 90°, продавливается заготовка (рисунок 2) [7]. Если материал является труднодеформируемым, то деформирование происходит при повышенных температурах от 773 К до 623 К и при большем числе проходов через каналы.

Число проходов заготовки через каналы в данном методе прессования очень важны для формирования УМЗ состояния в материалах. Так, для

получения УМЗ структуры в металлических материалах необходимо минимум 4 прохода образца по каналу. Также важным является направление деформации.

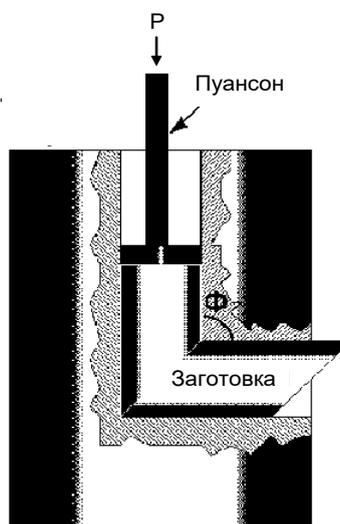


Рисунок 2 – Интенсивная пластическая деформация методом РКУП [7].

Существуют различные маршруты прохождения заготовок по каналу (рисунок 3), причем направление заготовки не изменяется при каждом проходе (маршрут А); после каждого прохода заготовка поворачивается на угол  $90^\circ$  (маршрут В); после каждого прохода заготовка поворачивается на угол  $180^\circ$  (маршрут С) [8]. Такие разновидности маршрутов различаются в ориентации сдвига при повторных проходах образцов через каналы и приводят к изменению формы ячейки. В методе РКУП маршрут В больше всего распространен, так как в заготовках удастся получить структуру наиболее однородную с размером зерен около  $0,1 - 0,8$  мкм.

Недостатками этого метода является наличие смазки в каналах, а также многократное повторение операции продавливания, тем самым загрязняет материал в особенности при повышенных температурах.

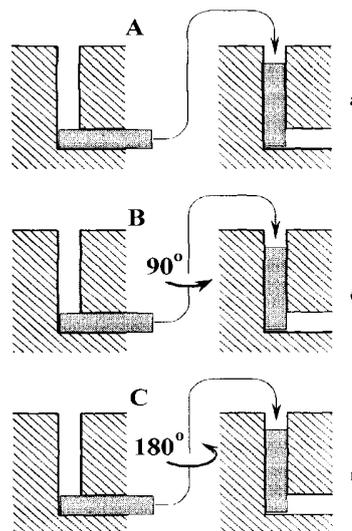


Рисунок 3 – Варианты РКУ прессования (а – маршрут А; б – маршрут В; в – маршрут С).

### 1.1.3 Всестороннее прессование со сменой оси деформации

Наиболее распространенным способом формирования УМЗ структуры в массивных заготовках является метод всестороннего прессования (ВП) со сменой оси деформации. Процесс основан на использовании многократного повторения операций: осадка со сменой оси прилагаемого деформируемого усилия и постепенным понижением температуры (рисунок 4) [9].

Достоинством такого метода является возможность получения УМЗ состояния в достаточно хрупких материалах, а также отсутствие дорогостоящей оснастки. Размер зерен в полученной структуре не превышает 0,5 мкм.

Основным недостатком метода ВП является многократное повторение цикла: осадка – смена оси деформации (длительность воздействия на материал).

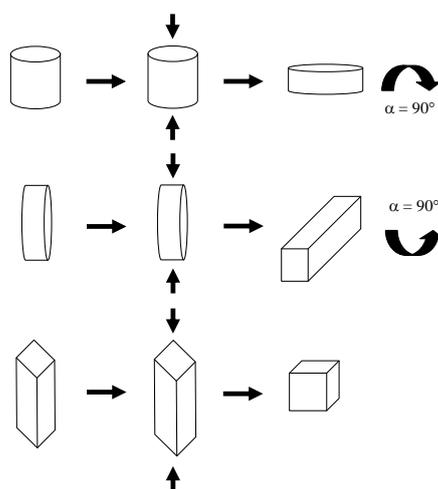


Рисунок 4 – Метод всестороннего прессования со сменой оси деформации.

#### **1.1.4 Метод, сочетающий обратимое легирование водородом и интенсивную пластическую деформацию**

Как говорилось выше, титановые сплавы являются труднодеформируемыми, поэтому формирование УМЗ структуры в них методами ИПД требуют больших энергетических затрат. В качестве перспективного метода получения УМЗ состояния применяется метод, представляющий сочетание обратимого легирования водородом и горячей пластической деформации. Данный метод основан на эффекте пластифицирующего влияния водорода на титановые сплавы.

Механизм водородной пластификации обусловлен тем, что водород может снизить температуру  $\alpha \rightarrow \beta$  перехода, в результате объемная доля  $\beta$ -фазы увеличивается. Особенностью  $\beta$ -фазы является большее наличие систем скольжения, она более легко деформируется при высоких температурах. За счет этого имеет место эффект пластификации и снижение напряжения деформации. Кроме того, водород не только может вызвать новую систему скольжения, но ещё и содействовать увеличению подвижности дислокаций и росту числа дислокаций; приводит к тому, что большее число дислокаций будет участвовать в процессе скольжения, что

облегчит процесс пластической деформации. Это также содействует пластичности при высоких температурах; водород может увеличить динамический эффект рекристаллизации, помогает улучшить пластичность и уменьшить сопротивление деформации.

Влияние водорода на термопластичность титана и его сплавов при повышенных температурах впервые было обнаружено в 60-х гг. немецкими учеными [10]. Титановые образцы насыщались водородом до концентрации 0,5 мас.%. Такие слитки удалось деформировать без образования трещин со степенью осадки 78% при 1223 К. Образцы, которые не содержали водород, в таких условиях разрушались. Таким образом, ученые доказали предположение, что водород повышает пластичность титановых сплавов.

В работе [27] при исследовании влияния водорода и температуры на пластичность и сопротивление деформации титанового сплава ВТ20 было выявлено, что при  $T > 573$  К легирование водородом оказывает пластифицирующее воздействие на сплав ВТ20. При исследовании [27] авторы пришли к выводу, что внедрение водорода в сплав ВТ20 в количестве 0,4 и 0,58 мас.% приводит к снижению сопротивления деформации в 1,5 – 2 раза на всех стадиях деформации.

Подобное исследование сплавов в работе [28] показало, что легирование водородом в количестве от 0,14 мас.% до 1,07 мас.% - для ВТ1-0; 0,76 мас.% - для ВТ20 и 0,52 мас.% - для ВТ6 приводит к снижению сопротивления деформации и повышению пластичности. Дальнейшее увеличение концентраций водорода в сплавах ВТ20, ВТ1-0 и ВТ6 сопровождалось упрочнением и охрупчиванием сплавов.

В работе [26] показано влияние легирования водородом на снижение напряжения при горячей деформации титанового сплава Ti-6Al-4V. Авторы установили, что максимальное напряжение при деформации сначала уменьшается, а затем увеличивается с большей концентрацией водорода при повышенных температурах. Содержание водорода, которая соответствует

минимуму максимального напряжения, изменяется от 0,2 мас.% при 873 К до 0,4 мас.% при 973 К.

Метод, который сочетает обратимое легирование водородом и горячую пластическую деформацию, впервые был предложен в 1996 г. для получения нанокристаллической структуры в титановых сплавах [9,11].

При исследовании титанового сплава ВТ9 было установлено, что легирование водородом сплава при 1073 К до концентрации 0,34 мас.% позволяет при одинаковых условиях деформации получить структуру с большей дисперсностью элементов ( $d_{cp} \sim 60$  нм), чем в нелегированном водородом сплаве ( $d_{cp} - 100$  нм).

Суть данного метода показана на рисунке 5. [12] Сначала совершают легирование водородом сплава или металла, находящегося в твердом состоянии. Легирование осуществляется в водородной среде в процессе отжига. Затем методом ИПД в образце получают УМЗ структуру. В результате предварительного легирования происходит снижение сопротивления материала деформированию, что способствует уменьшению энергетических затрат на получение УМЗ структуры. Далее проводят дегазацию водорода из материала посредством вакуумного отжига [13].

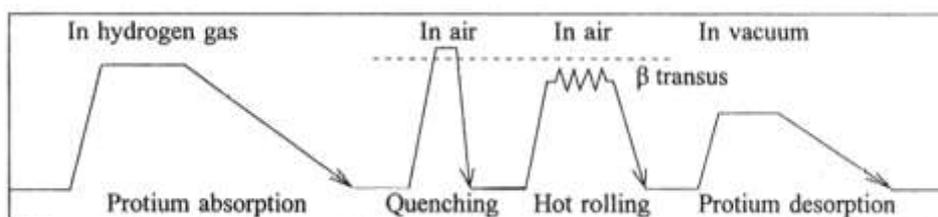


Рисунок 5 – Метод, сочетающий обратимое легирование водородом и интенсивную пластическую деформацию.

Недостаток метода в том, что температура дегазации водорода для некоторых материалов может превышать температуру рекристаллизации УМЗ состояния. Поэтому не всегда удается сохранить УМЗ состояние в таких материалах в заготовках больших объемов [14].

## **1.2 Структура и свойства титана и его сплавов в ультрамелкозернистом состоянии**

### **1.2.1 Структура титана и его сплавов в ультрамелкозернистом состоянии**

В настоящее время основными способами получения УМЗ структуры в титане и его сплавах с размером зерен  $0,1 - 0,8$  мкм, как правило, являются методы ВП и РКУП. Характерная структура УМЗ титана ВТ1-0, представленная на рисунке 6, получена методом РКУП за 8 проходов образца через каналы [15]. На рисунке 6а наблюдается сложный деформационный контраст, не позволяющий различить элементы данной структуры. На электроннограммах УМЗ титана ВТ1-0 рефлексy от отдельных зерен, как правило, располагаются на окружностях, что говорит о наличии большеугловых разориентировок между ними. Некоторые рефлексy имеют азимутальное размытие (рисунок 6, в), что характерно для структур с высокими внутренними напряжениями. Средний размер элементов такой структуры в поперечном сечении полученного стержня составляет  $0,32 \pm 0,09$  мкм, в продольном сечении  $0,7 \pm 0,28$  мкм. Причем в исходном состоянии средний размер зерен титана ВТ1-0 составляет около 10 мкм.

В [16] при исследовании разориентации границ зерен в УМЗ титане было установлено, что в поперечном сечении большинство границ зерен (до 70 %) имеют большеугловые разориентировки. В то же время в продольном сечении объемная доля большеугловых не превышает 50 %.

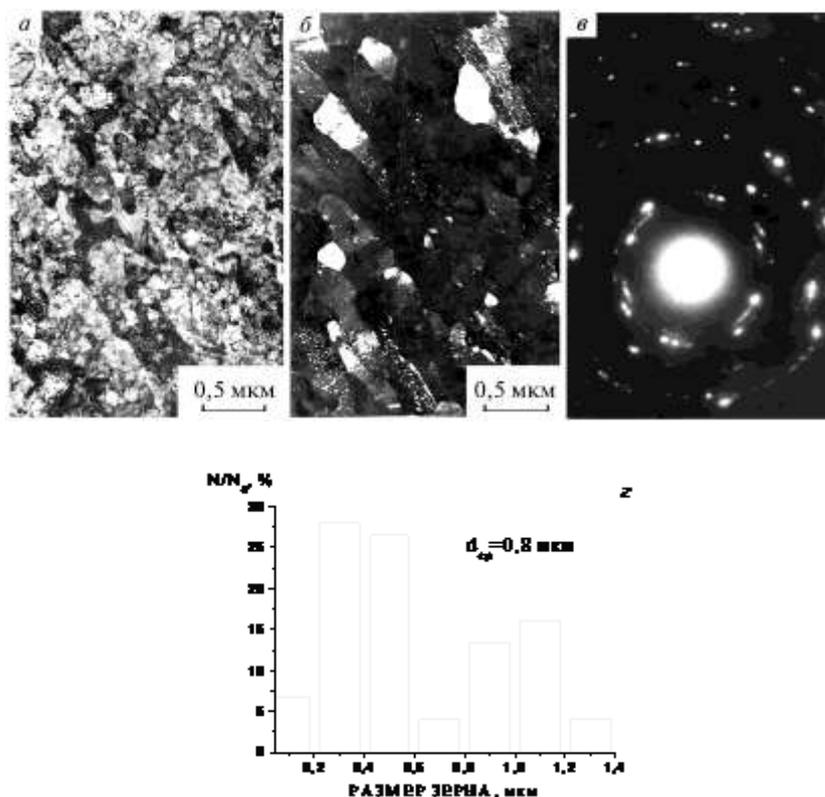


Рисунок 6 – Электроннограмма микроструктуры и гистограмма распределения элементов структуры по размерам УМЗ сплава ВТ1-0, полученного методом равноканального углового прессования (а – светлопольное изображение; б – темнопольное изображение; в – картина микродифракции).

После РКУ прессования неравноосная УМЗ структура формируется также и в титановом сплаве ВТ6. Исследования методом электронной микроскопии показали [17], что при температуре от 1073 К до 873 К по режиму В размер зерен  $\alpha$ -фазы изменяется в пределах 0,5 – 1 мкм. При этом в зернах  $\alpha$ -фазы с размерами больше 0,5 мкм находятся зерна размерами от 0,3 мкм до 0,7 мкм и ориентацией  $5^\circ$  –  $10^\circ$ . Размер зерен  $\beta$ -фазы составляет примерно 0,5 мкм.

Исследования методом рентгеноструктурного анализа показали, что УМЗ состояние титана и его сплавов имеет, как и структурную, так и кристаллографическую текстуры [18]. В [19] было установлено, что текстуру УМЗ структуры титана и его сплавов можно снизить в случае ее

формирования способом ВП. Этот метод позволяет также получать более дисперсную и равноосную УМЗ структуру в сравнении с РКУП.

Недостатком УМЗ структуры, сформированной способами ВП и РКУП, является разнотернистость. Так, в работе [20] при изучении влияния режимов ВП на структуру титанового сплава Ti – 6Al – 4V было установлено, что распределение зерен при их одинаковом среднем размере может иметь значительно разный характер (рисунок 7). На рисунке 7. видно, что гистограммы распределения зерен по размерам примерно одинаковы до 0,5 мкм. При рассмотрении гистограмм было выявлено различие в наличии единичных крупных зерен. Причину появления таких зерен пока не установили.

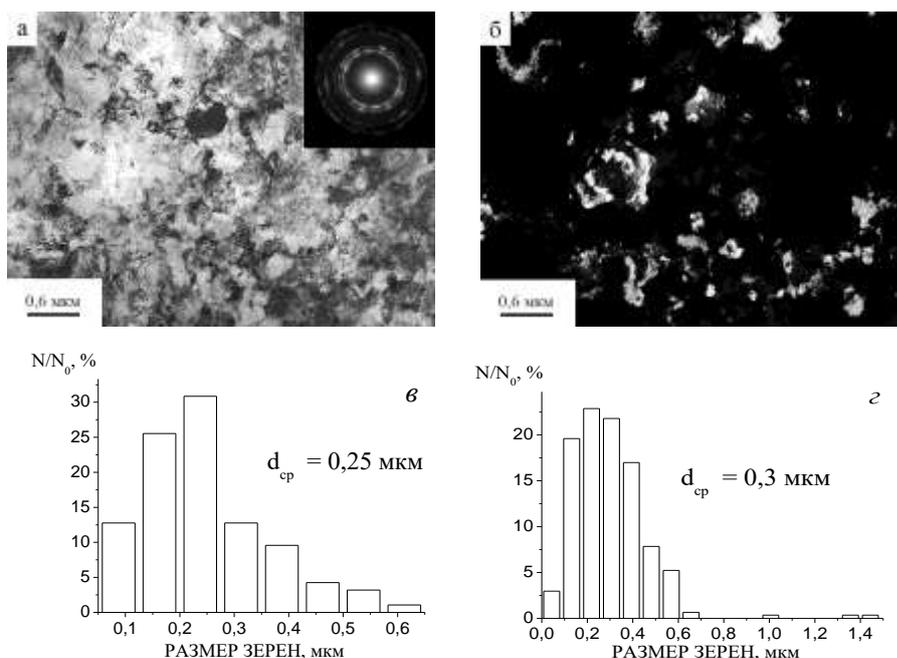


Рисунок 7 – Изображение электронной микроскопии (а,б) и гистограммы распределения элементов структуры по размерам (в,г) титанового сплава ВТ6 после ВП: а – светлопольное изображение; б – темнопольное изображение; в – однородная структура; г – неоднородная структура.

Использование методов ИПД позволяет значительно снизить неоднородность исходной структуры. В [21] при формировании УМЗ

структуры неоднородного сплава Ti – 6Al – 4V (рисунок 8, а), после ИПД формируется УМЗ структура, в которой  $\beta$ -фаза равномерно распределена по всему объему (рисунок 8, б).

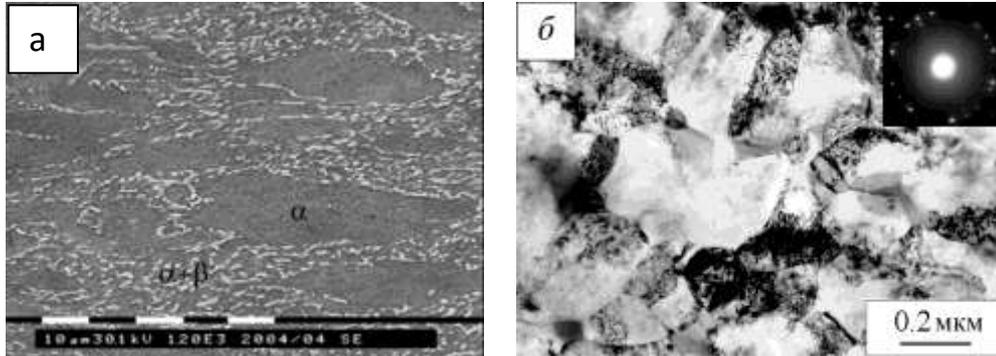


Рисунок 8 – Микроструктура сплава Ti – 6Al – 4V.

а – исходное состояние (а); б – после ИПД.

Однородная УМЗ структура в неоднородном сплаве ВТ6 формируется и при использовании метода, представляющего сочетание обратимого легирования водородом и горячего прессования [22]. При этом циклов число прессования снижается с 5 до одного по сравнению с прессованием без предварительного наводороживания заготовок.

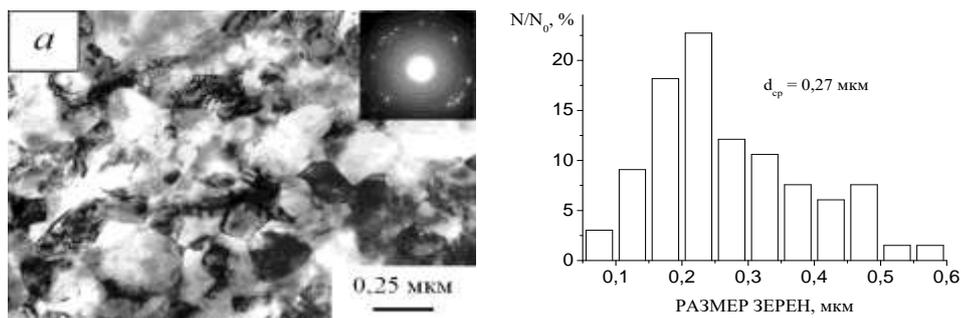


Рисунок 9 – Микроструктура (а) и гистограмма распределения зерен по размерам (б) сплава Ti-6Al-4V, полученного методом, сочетающим обратимое легирование водородом и ИПД.

Таким образом, приведенные выше данные показывают, что использование методов ИПД позволяет формировать в титане и его сплавах УМЗ состояние, дисперсность и однородность которого зависит как от способов, так и от режимов деформации.

### 1.2.2 Механические свойства титана и его сплавов в ультрамелкозернистом состоянии

Главным для практического применения является вопрос о комплексе исследований прочностных характеристик в УМЗ титановых сплавов. Из данных литературных источников известно, что с уменьшением размера зерна улучшаются механические свойства материала, такие как прочность, твердость и сверхпластичность [23]. Однако с уменьшением зерна материал теряет способность к деформационному упрочнению, что приводит к уменьшению пластичности и вязкости.

При исследовании механических свойств титанового сплава ВТ6 [24] было установлено, что прочность в мелкокристаллическом (МК) состоянии на 33 % меньше, чем в состоянии УМЗ (рисунок 10). Причем пластичность и его свойства понизились с уменьшением размера зерна. В работах было показано, что одной из причин снижения пластичности титана и титановых сплавов в УМЗ состоянии при растяжении и ползучести является повышение их склонности к локализации пластической деформации.

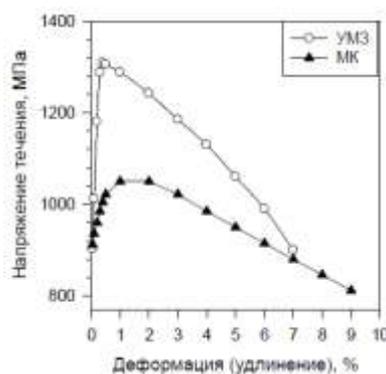


Рисунок 10 – Диаграмма растяжения МК и УМЗ ВТ6.

Подробные исследования развития деформационных процессов позволили установить [32], что локализация пластической деформации в УМЗ титане проявляется в виде макрополосы, образовании которой на кривой растяжения совпадает с достижением предела прочности. Как правило, локализация пластической деформации в УМЗ титане в процессе растяжения реализуется в интервале температур термической стабильности УМЗ структуры. При исследовании склонности к локализации пластической деформации титановых сплавов в УМЗ состоянии в работе [5] было установлено, что локализация пластической деформации в них проявляется в виде мезополос (ширина  $1 \div 10$  мкм) и макрополос (ширина  $300 \div 500$  мкм). При этом мезополосы пластической деформации образуются уже на стадии упрочнения кривой растяжения. Причиной высокой склонности к локализации пластической деформации материалов в УМЗ состоянии, полученном методами ИПД, является наличие высоких внутренних напряжений, препятствующих движению дислокаций.

Не смотря, на склонность к локализации пластической деформации титан и титановые сплавы в УМЗ состоянии неплохо деформируются прокаткой даже при комнатной температуре [25]. При этом в материале, как правило, формируется однородная УМЗ структура большей дисперсности. На рисунке 11 представлены диаграммы растяжения титана ВТ1-0 в УМЗ (кривая 1) и в УМЗ состоянии после прокатки на 75% (кривая 2) [25]. Видно, что прочностные характеристики, пластичность и устойчивость к локализации пластической деформации титана ВТ1-0 после прокатки на 75% существенно выше по сравнению с УМЗ состоянием, полученным методом РКУП.

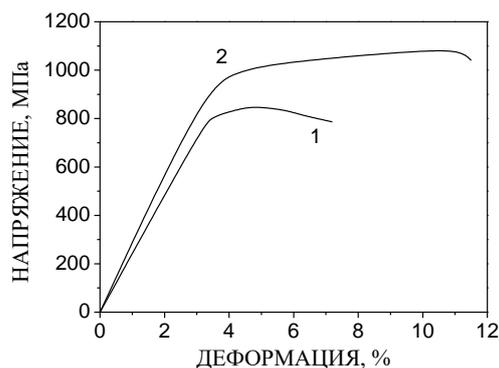


Рисунок 11 – Диаграмма растяжения УМЗ (1) и УМЗ после прокатки на 75% (2) титана VT1-0.

Зависимость деформационного поведения УМЗ титана и его сплавов от наличия внутренних напряжений было обнаружено и при исследовании закономерностей ползучести УМЗ материалов. Так, в работе [26] было обнаружено, что предварительные дорекристаллизационные отжиги, снижающие внутренние напряжения без изменения размеров элементов УМЗ структуры приводят к увеличению значений скорости установившейся ползучести.

Известно, что уменьшение размеров зерен приводит к увеличению скорости поглощения водорода поликристаллическими материалами и, как следствие, повышению водородной хрупкости. Поэтому в ряде работ было исследовано сопротивление водородной хрупкости УМЗ материалов. Так, в работе [11] при исследовании развития деформационных процессов в сплаве VT6-H, который наводорожен до 0,1 мас.%, было установлено, что в УМЗ состоянии сплав имеет более высокие прочностные характеристики при комнатной температуре, чем в крупнозернистом (КЗ) состоянии. Из полученных данных также следовало, что протяженность по деформации стадии деформационного упрочнения существенно зависит от двух факторов: концентрации водорода и его распределения в сплаве.

В работе [28] было рассмотрено деформационное поведение при

растяжении титанового сплава Ti-6Al-4V с различной концентрацией водорода при температурах 273, 923 и 973 К (рисунок 12). Было установлено, что содержание водорода в количестве 0,08 – 0,33 мас.% повышает устойчивость сплава к локализации пластической деформации на макроуровне при температуре 273 К и понижает ее при 923 и 973 К. Как предполагают авторы повышение устойчивости к локализации деформации при 273 К может быть связано с увеличением подвижности дислокаций в присутствии водорода в твердом растворе. При повышенных температурах склонность к локализации деформации возрастает из-за высокой диффузионной подвижности водорода и его склонности концентрироваться в наиболее напряженных участках материала с образованием скоплений и пор.

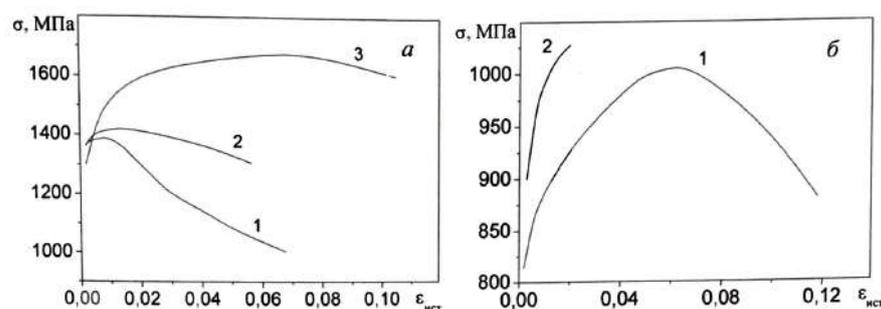


Рисунок 12 – Кривые “истинное напряжение – истинная деформация” субмикроструктурного (а) и КЗ (б) сплава Ti-6Al-4V-H: 1) Ti-6Al-4V-0,002H; 2) Ti-6Al-4V-(0,1 – 0,12)H (водород в выделениях гидроксида); 3) Ti-6Al-4V-0,1H (водород в твердом растворе) [28].

Наличие водорода в УМЗ сплаве оказывает существенное влияние и развитие сверхпластической деформации УМЗ титановых сплавов. Исследования [30] показали, что легирование водородом УМЗ сплава Ti-6Al-4V до 0,24 мас.% при повышенных температурах приводит к увеличению значений пределов текучести и пределов прочности в 4-6 раза и уменьшению значений величины деформации до разрушения в 3-4 раза по сравнению с нелегированным УМЗ сплавом (рисунок 13). Это может быть связано с

повышенной склонностью к локализации деформации в присутствии водорода. Однако, в работе [31] было обнаружено, что при некоторых условиях растяжения УМЗ Ti-6Al-4V-N при повышенных температурах наблюдается увеличение деформации до разрушения примерно в 2 раза по сравнению с нелегированным УМЗ сплавом.

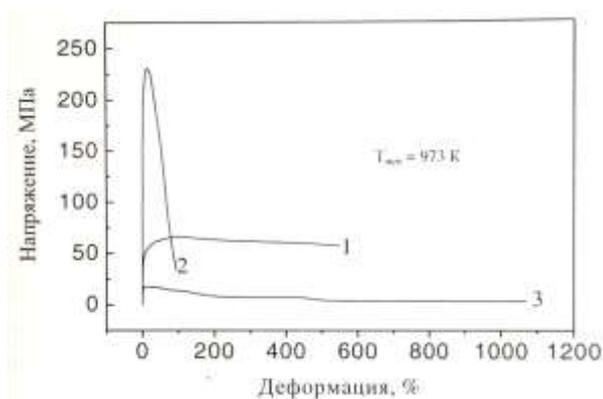


Рисунок 13 – Кривые растяжения сплава Ti-6Al-4V-N при температуре 973К.: 1 - Ti-6Al-4V-0,005Н; 2 - Ti-6Al-4V-0,24Н; 3 - Ti-6Al-4V-0,24Н (растяжение в условиях дегазации).

## **Вывод к главе 1**

Таким образом, методы ИПД позволяют получать в титане и его сплавах УМЗ состояние, обладающее высокими прочностными характеристиками при сохранении технологической пластичности. В то же время титановые сплавы относят к труднодеформируемым сплавам. Влияние водорода на механические свойства УМЗ титановых сплавов зависит не только от концентрации водорода, но и его распределения в объеме материала, что во многом определяется составом материала и объемной долей  $\beta$ -фазы в сплаве. В этой связи важными являются исследования влияния водорода на прочностные и пластические характеристики тех УМЗ титановых сплавах, для которых такие исследования не проводились.

## Глава 2. Постановка задачи и методика эксперимента

### 2.1. Постановка задачи

В настоящее время наибольшее внимание для изучения получили титан и его сплавы. Титановые сплавы широко применяются в различных областях производства: судостроении, медицинской и авиационной промышленности из-за их низкой плотности, высокой коррозионной стойкости и хорошей биосовместимости. Ограничивающим фактором использования титана и его сплавов в промышленности является недостаточная прочность и невысокая пластичность сплава. Эффективным способом повышения прочностных свойств титана и его сплавов ( $T < 0,4T_{пл}$ ,  $T_{пл}$  – температура плавления) является формирование в них УМЗ состояния. Как видно из литературного обзора, для труднодеформируемых титановых сплавов перспективным методом получения объемных заготовок с УМЗ структурой является метод, который сочетает обратимое легирование водородом и горячую пластическую деформацию. В настоящее время в литературных источниках имеются единичные работы по исследованию формирования УМЗ состояния в титановых сплавах таким методом. Поэтому исследование влияния водорода на формирование такого состояния в титановых сплавах является актуальным.

### 2.2. Материал и методы эксперимента

Для исследования был выбран двухфазный ( $\alpha+\beta$ ) титановый сплав системы Ti-Al-V-Mo-N (марка ВТ16), основными легирующими добавками которого являются ванадий, молибден и алюминий. В нем содержится значительное количество  $\beta$  – стабилизаторов (Мо и V), поэтому объемная доля  $\beta$ -фазы в этом сплаве достигает 20-30 %. Сплав марки ВТ16 имеет достаточно высокую коррозионную стойкость, прочность и повышенную по сравнению с другими титановыми сплавами пластичность. Данные

характеристики позволяют ВТ16 широко использовать для изготовления практически всех видов изделий, как правило, это проволока и детали для крепления. Но, несмотря на его широкое применение, эволюция структуры титанового сплава ВТ16 в процессе формирования УМЗ состояния пока еще не изучена.

Для формирования УМЗ состояния в исследуемом сплаве использовали комбинированный метод, представляющий комбинацию предварительного наводороживания и горячей пластической деформации методом ВП со сменой оси деформации на гидравлическом прессе ИП-200 и постепенным понижением температуры. Наводороживание цилиндрической заготовки диаметром 20 мм и высотой 35 мм проводили в аппарате типа Сиверста при температуре 873 К и давлении 1 атм. Длительность насыщения в зависимости от требуемой концентрации водорода составляла от 6 до 30 часов. Перед прессованием заготовку гомогенизировали в муфельной печи при температуре 873 К в течение 16 часов. Прессование заготовки осуществляли на воздухе в изотермических условиях при температурах 923 и 823 К. Прессование состояло из 2 циклов, каждый из которых состоял из трех сжатий в трех взаимно перпендикулярных направлениях. Деформация заготовки за одно сжатие составляла 50%. Схема получения УМЗ структуры представлена на рисунке 14.

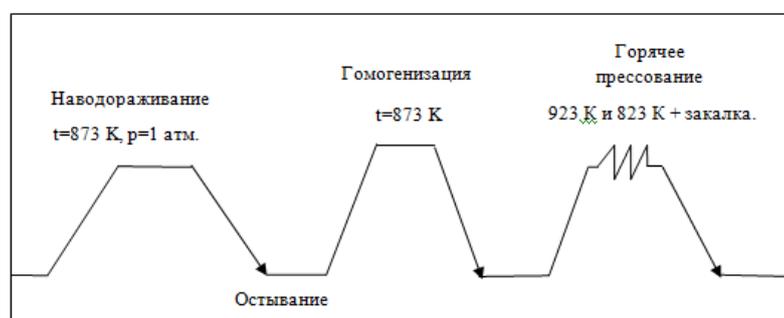


Рисунок 14 – Схема получения УМЗ структуры методом, сочетающим предварительное легирование водородом и горячую пластическую деформацию.

Для исследований микроструктуры сплава ВТ16 использовался оптический микроскоп Olympus GX71, который оснащен высокоразрешающей цифровой камерой. Для изучения УМЗ сплава применялся просвечивающий электронный микроскоп марки JEM-2100. Размеры зерен определяли стандартным методом секущей по темнопольным изображениям. Фольги для исследования структуры методом электронной микроскопии были приготовлены методом механического шлифования и последующей электролитической полировкой с использованием прибора «МИКРОН». Электролитическая полировка проводилась в охлажденном электролите: 80% ледяной уксусной кислоты и 20% хлорной кислоты.

Измерение микротвердости ( $H_{\mu}$ ) проводили на микротвердомере ПМТ-3 с помощью алмазной пирамиды Виккерса с нагрузкой 0,1 кг. Время нагружения составляло 15 секунд. Расчет величины  $H_{\mu}$  проводили по формуле:

$$H_{\mu} = \frac{1,854 \cdot P}{(0,31 \cdot 10^{-6}) \cdot d^2} \quad (2)$$

где  $H_{\mu}$  – число твердости в ГПа,  $P$  – нагрузка в н,  $d$  – диагональ отпечатка.

Испытания на одноосное растяжение при комнатной и повышенной температурах проводились на установке ПВ-3012М с автоматической записью кривой растяжения в координатах “нагрузка-время”. При высоких температурах растяжение образцов проводилось в вакууме с давлением  $10^{-2}$  Па с помощью форвакуумного и диффузионного насоса. Для исследования структуры и свойств сплава были использованы образцы в виде двойной лопатки. Поверхность образцов перед исследованиями подвергали механическому шлифованию и последующей электролитическому полированию. Начальной скоростью растяжения составляла  $6,9 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$ . Типичная кривая растяжения представлена на рисунке 15.

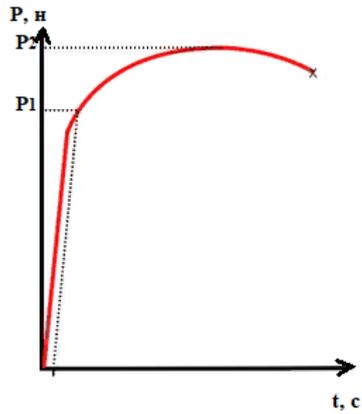


Рисунок 15 – Типичная кривая растяжения в координатах нагрузка-время.

Для расчета  $\sigma_{02}$  и  $\sigma_B$  использовали формулы:

$$\sigma_{02} = \frac{P1}{S}, \quad (3)$$

$$\sigma_B = \frac{P2}{S}, \quad (4)$$

где  $\sigma_{02}$  - предел текучести,  $\sigma_B$  - предел прочности, P1 и P2 – нагрузка, S – площадь поперечного сечения образца.

Для расчета прочностных и пластических свойств сплава использовали по формулы:

$$\sigma = \frac{F}{S}, \quad (4)$$

где  $\sigma$  – напряжение, F – внешняя сила, S – площадь поперечного сечения образца;

$$\delta = \frac{\Delta l}{l}, \quad (5)$$

где  $\delta$  - относительное удлинение,  $\Delta l$  - абсолютное удлинение,  $l$  - первоначальная длина.

## Глава 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

### 4.1 Организация и планирование работ

Определяющим фактором выражения основной части стоимости научно-технической разработки являются заработные платы лиц задействованных в реализации проекта. В связи с этим, наиболее важным моментом является максимально точное определение трудозатрат каждого из участников проекта [37].

Таблица 2 – Перечень работ и продолжительность их выполнения

Этапы работы	Исполнители	Загрузка исполнителей
Разработка технического задания	Науч. руководитель (НР)	НР - 100%
Выбор направления исследований	Науч. руководитель (НР) Студент-инженер (СИ)	НР - 90% СИ - 10%
Теоретические и экспериментальные исследования	Студент-инженер (СИ) Науч. руководитель (НР)	НР - 40% СИ - 60%
Обобщение и оценка результатов	Науч. руководитель (НР) Студент-инженер (СИ)	НР - 30% СИ - 70%
Разработка технической документации	Науч. руководитель (НР) Студент-инженер (СИ)	НР - 10% СИ - 90%
Изготовление исследуемых образцов	Студент-инженер (СИ) Науч. руководитель (НР)	НР - 40% СИ - 60%

Продолжение таблицы 2

Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ОКР)	Студент-инженер (СИ)	СИ - 100%
--	----------------------	-----------

#### 4.1.1 Продолжительность этапов работ

Для определения трудоёмкости реализации научного исследования выпускной квалификационной работы используется экспертный способ, основным показателем которого является человек-день [38]. Для расчета предполагаемого значения трудоёмкости используют следующую формулу:

$$t_{ож} = \frac{3t_{min} + 2t_{max}}{5} \quad (6)$$

где  $t_{ож}$  – ожидаемая трудоёмкость выполнения работы чел.-дн.;  $t_{min}$  – минимально возможная трудоёмкость выполнения работы чел.-дн.;  $t_{max}$  – максимально возможная трудоёмкость выполнения работы, чел.-дн.

Произведем оценку трудоёмкости выполнения научного исследования для научного руководителя (формула 7):

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot 2 + 2 \cdot 5}{5} = 3,2 \text{ чел. -дн.} \quad (7)$$

Произведем оценку трудоёмкости выполнения научного исследования для студента-инженера (формула 8):

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot 100 + 2 \cdot 150}{5} = 120 \text{ чел. -дн.} \quad (8)$$

Определим продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_{РД}$ , учитывая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями, по следующему соотношения (формула 9):

$$T_{РД} = \frac{t_{ож}}{K_{ВН}} * K_{Д} \quad (9)$$

где  $T_{РД}$  – продолжительность одного этапа работы, раб.дн.;  $t_{ож}$  – продолжительность работы, дн.;  $K_{ВН}$  – коэффициент выполнения работ, учитывающий влияние внешних факторов на соблюдение предварительно определенных длительностей, в частности, возможно  $K_{ВН} = 1$ ;  $K_{Д}$  – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсацию не предвиденных задержек и согласование работ,  $K_{Д} = 1$ .

Произведем расчет продолжительности работы выполнения научного исследования для научного руководителя (формула 10):

$$T_{РД} = \frac{3,2}{1} = 3,2 \text{ раб. дн.} \quad (10)$$

Произведем расчет продолжительности работы выполнения научного исследования для студента-инженера (формула 11):

$$T_{РД} = \frac{120}{1} = 120 \text{ раб. дн.} \quad (11)$$

Для проведения научного исследования, представленного в выпускной квалификационной работе, выбирают специальную узко направленную научную тему. Для этого строится специальный ленточный график проведения научных работ в форме диаграммы Ганта [39].

Для построения графика необходимо перевести рабочие дни в календарные дни, для чего воспользуемся следующим соотношением (формула 12):

$$T_{КД} = T_{РД} * T_{К} \quad (12)$$

где  $T_{КД}$  – продолжительность выполнения этапа в календарных днях;  $T_{К}$  – коэффициент календарности, определяющийся выражением (формула 13):

$$T_{К} = \frac{T_{КАЛ}}{T_{КАЛ} - T_{ВД} - T_{ПД}} \quad (13)$$

где  $T_{КАЛ}$  – количество календарных дней в году;  $T_{ВД}$  – количество выходных дней в году;  $T_{ПД}$  – количество праздничных дней в году.

Рассчитаем коэффициент календарности (формула 14):

$$T_K = \frac{365}{365-52-10} = 1,205 \quad (14)$$

Таблица 3 – Временные показатели проведения НИР

Название работы	Трудоемкость работ						Длител. работ в рабочих днях $T_{PD}$		Длител. работ в календар. днях $T_{KD}$	
	$t_{min}$ , чел-дни		$t_{max}$ , чел-дни		$t_{ож}$ , чел-дни		НР	И	НР	И
Исполнители	НР	СИ	НР	И	НР	И	НР	И	НР	И
Разработка технического задания	2		5		3,2		3,2		3,9	
Выбор направления исследований	2	4	4	8	2,8	5,6	2,8	5,6	3,4	6,8
Теоретические и экспериментальные исследования	5	30	10	40	7	34	7	34	8,4	41
Обобщение и оценка результатов	1	5	2	10	1,4	7	1,4	7	1,7	8,4
Разработка технической документации	6	20	12	30	8,4	24	8,4	24	10,1	28,9
Изготовление опытного образца	4	10	8	18	5,6	13,2	5,6	13,2	6,8	15,9
Оформление отчета по НИР		25		35		36		36		43,4
Итого					28,4	119,8	28,4	119,8	34,3	144,4

На основании таблицы 3 построим календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно- исследовательского проекта на основе таблицы 4 с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования. При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Таблица 4 – Календарный план-график проведения ВКР

№ работ	Вид работ	НР Т <sub>кд</sub> , кал. дн.	СИ Т <sub>кд</sub> , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ														
				январь			февраль			март			апрель			май		
				10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30
1	Разработка технического задания	3,9																
2	Выбор направлений исследований	3,4	6,8															
3	Теоретические и экспериментальные исследования	8,4	41															



содержание данной разработки. Расчет сметной стоимости ее выполнения производится по следующим статьям затрат [40]:

1. материалы и покупные изделия;
2. заработная плата;
3. социальный налог;
4. расходы на электроэнергию (без освещения);
5. амортизационные отчисления;
6. командировочные расходы;
7. оплата услуг связи;
8. арендная плата за пользование имуществом;
9. прочие (накладные расходы) расходы.

Таблица 6 – Материальные затраты НИР

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (З <sub>м</sub> ), руб.
Титановый сплав BT16	Шт.	20	100	2000
Бумага	Лис.	150	2	300
Интернет	М/бит	1	350	350
Ручка	Шт.	1	20	20
Тетрадь	Шт.	1	50	50
Итого			522	2700

Допустим, что ТЗР составляют 5 % от отпускной цены материалов, тогда расходы на материалы с учетом ТЗР равны:

$$C_{\text{мат}} = 2700 * 1,05 = 2835 \text{ руб} \quad (15)$$

#### 4.2.2 Расчет заработной платы

Для вычисления основной заработной платы необходимо учесть научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, участвующих в выполнении выпускной квалификационной работе [41].

Среднедневная тарифная заработная плата рассчитывается по формуле 16:

$$Z_{\text{дн-т}} = \frac{MO}{25,083} \quad (16)$$

где MO – месячный должностной оклад работника, руб.

Таблица 7 – Расчёт основной заработной платы

Исполнитель и	Оклад, руб/мес	Среднедневная ставка, руб/раб. день	Затраты времени, раб. дни	Коэффициент	Фонд з/платы, руб
НР	47104	1682,28	28	1,699	80029,42
И	15470	616,75	120	1,62	119896,2
<b>Итого:</b>					<b>199925,62</b>

#### 4.2.3 Расчет затрат на социальный налог

Затраты на единый социальный налог (ЕСН), включающий в себя отчисления в пенсионный фонд, на социальное и медицинское страхование, составляет 30% от полной заработной платы по проекту (формула 17):

$$C_{\text{соц}} = 199925,62 * 0,3 = 59977,7 \text{ руб} \quad (17)$$

#### 4.2.4 Расчет затрат на электроэнергию

Стоимость электроэнергии в Томске составляет 5,748 рубля за 1 кВт/час. Следовательно, стоимость электропотребления составляет (формула 18):

$$C_{\text{эл.об.}} = P_{\text{об}} * C_{\text{э}} * t_{\text{об}} \quad (18)$$

где  $P_{\text{об}}$  – мощность, потребляемая оборудованием, кВт;  $C_{\text{э}}$  – тариф на 1 кВт·час;  $t_{\text{об}}$  – время работы оборудования, час.

Затраты на электроэнергию для технологических целей приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Затраты на электроэнергию НИР

№ п/п	Наименование оборудования	Время использования оборудования, ч	Потребляемая мощность $P_{\text{об}}$ , кВт/ч.	Затраты $\text{Э}_{\text{об}}$ , руб
1	Оптический микроскоп Olympus GX71	30	2,1	63
2	Микротвердомер ПМТ-3	20	1,5	30
3	Компьютер	700	0,3	210
4	Просвечивающий электронный микроскоп марки JEM-2100	30	3,5	105
5	Установка ПВ-3012М	180	3,0	540
Итого:				948

#### 4.2.5 Расчет амортизационных расходов НИР

Так как специальное оборудование, необходимое для проведения научных исследований уже имелось в данной научной лаборатории, нужно высчитать начисление амортизации [42].

Срок полезного использования установки составляет 10 лет, поэтому норма амортизации равна (формула 19):

$$H_a = \frac{1}{n} * 100 = \frac{1}{10} * 100 = 10\% \quad (19)$$

где  $H_a$  – норма амортизации в процентах,  $n$  – срок полезного использования в годах.

Первоначальная стоимость персонального компьютера составляет 45000 рублей. Из этого следует, что годовая сумма амортизации составит:

$$C_{AM} = \frac{Ц_{ОБ} * H_a * t_{рф}}{F_d} = \frac{45000 * 0,4 * 884,8}{2384} = 6680,54 \text{ (руб.)} \quad (20)$$

#### 4.2.6 Расчет прочих расходов НИР

Прочие расходы научного исследования составляют 10 % от суммы всех предыдущих расходов, а именно (формула 21):

$$C_{проч} = (C_{мат} + C_{зп} + C_{соц} + C_{эл.об} + C_{AM}) = (2835 + 199925,62 + 59977,7 + 948 + 6680,54 * 0,1) = 27036,68 \text{ руб} \quad (21)$$

#### 4.2.7 Расчет общей себестоимости разработки

Формирование бюджета научно-исследовательского проекта является основой для определения бюджета затрат проекта, и формируется исходя их вышеприведенных расчетов. Результатом является таблица 9 расчетов бюджета затрат проекта [43].

Таблица 9 – Расчет бюджета затрат на разработку проекта

Статья затрат	Условные обозначения	Сумма, руб
Материалы и покупные изделия	$C_{\text{мат}}$	2835
Основная заработная плата	$C_{\text{зп}}$	199925,62
Отчисления в социальные фонды	$C_{\text{соц}}$	59977,7
Расходы на электроэнергию	$C_{\text{эл}}$	948
Амортизационные отчисления	$C_{\text{ам}}$	6680,54
Прочие расходы	$C_{\text{проч}}$	27036,68
<b>Итого:</b>	<b>C</b>	<b>297403,54</b>
Прибыль	$C_{\text{приб}} = C * 20\%$	59480,7
НДС	$\text{НДС} = (C_{\text{приб}} + C) * 20\%$	71376,84
<b>Цена разработки НИР</b>		<b>428261,08</b>

#### Вывод к главе 4

Т.к. полученный результат выполненного проекта предполагает использование только в сфере научных исследований, то оценка его экономического эффекта и эффективности не корректна.

## **Глава 5. Социальная ответственность**

В настоящее время повсеместное внедрение комплексной системы управления охраной труда путем объединения разрозненных мероприятий в единую систему целенаправленных действий на всех уровнях и стадиях производственного процесса является одним из основных направлений коренного улучшения всей профилактической работы по снижению производственного травматизма и профессиональной заболеваемости.

При выполнении настоящей бакалаврской работы были использованы: вакуумная установка ПВ-3012М с автоматической записью кривой растяжения, персональная электронно-вычислительная машина (ПЭВМ). При помощи вакуумной установки ПВ-3012М производилось растяжение титанового сплава ВТ16, предварительно легированного водородом, в интервале температур 293 – 973 К с автоматической записью кривой растяжения в координатах нагрузка-время. Таким образом, требуется провести анализ вредных и опасных производственных факторов, также комплекс защитных мероприятий.

Данные титановые сплавы ВТ16 в основном используются в качестве крепежных деталей в судостроении и для лопастей самолетов. Для изготовления таких деталей предъявляются строгие требования: структура должна быть мелкозернистая и однородная. Следовательно, изучение механических свойств данного сплава в УМЗ состоянии особенно актуально.

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

#### **5.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства**

К работе на вакуумной установке ПВ-3012М с автоматической записью кривой растяжения в координатах нагрузка-время. допускаются

лица не моложе 18 лет, не имеющих медицинских противопоказаний, прошедших вводный инструктаж и инструктаж по безопасности труда на рабочем месте [44]. К самостоятельной работе допускаются работники после специального обучения и проверки знаний правил электробезопасности, приобретенных навыков и безопасных способов выполнения работы на установке ПВ-3012М ознакомленные с инструкцией по эксплуатации прибора имеющие не менее II группы по электробезопасности.

Повторная проверка знаний норм и правил электробезопасности, проводится с работниками не реже 1 раза в 12 месяцев, повторный инструктаж на рабочем месте – не реже 1 раза в 3 месяца.

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

По данной теме рассматриваются специальные законодательные и нормативные документы:

1. инструкция № 2-14 по охране труда при работе с электрооборудованием напряжением до 1000 В;
2. инструкция № 2-08 по охране труда при работе с ПЭВМ и ВДТ.

### **5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя**

В этом разделе рассмотрены различные аспекты вопросов, тесно связанных с созданием рабочего места в полном соответствии с существующими нормами техники производственной безопасности, нормами санитарии и требованиями по охране окружающей среды [45, 46, 47, 48].

Помещение, в котором располагается установка, имеет линейные размеры 6,32×7,3 м и высоту 3 м. В помещении есть четыре окна размерами

1,8×1,5 м, которые обеспечивают достаточное проникновение солнечного света, с противоположной стороны окон находится дверной проем.

Растяжение образцов титанового сплава ВТ16 производилось при помощи вакуумной установки ПВ-3012М. Установка оснащена двумя насосами для откачки воздуха (пластинчато-роторный и диффузионный). Для испытания образец помещался в вакуумную камеру. Термопары крепились к образцу. С помощью форвакуумного и диффузионного насосов в рабочей камере достигался вакуум  $10^{-2}$ Па. По достижению требуемого вакуума включался нагрев печи с молибденовыми нагревателями. Образец растягивался после установления требуемой температуры.

## 5.2 Профессиональная социальная безопасность

Для идентификации потенциальных факторов был использован ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» [49]. Перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды представлены в таблице 1.

Таблица 10 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разраб отка	Изгото вление	Эксплу атация	
1.Отклонение показателей микроклимата	-	-	+	Требования к микроклимату устанавливаются согласно СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений [7].

Продолжение таблицы 10.

2. Превышение уровня шума				Требования к уровню шума на рабочих местах устанавливаются согласно [8]. ГОСТ 12.1.003-8. Шум. Общие требования безопасности. [9]. ГОСТ 12.1.029-80. Средства и методы защиты от шума.
3.Отсутствие или недостаток естественного света	-	-	-	-
4.Недостаточная освещенность рабочей зоны		-	+	Требования к освещению устанавливаются СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*[10].
5.Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	-	-	+	Система стандартов по электромагнитной безопасности складывается из ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Общие требования безопасности. [11] и СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы» [12].

### 5.2.1 Анализ вредных и опасных производственных факторов

Работая на вакуумной установке ПВ-3012М возможно воздействие вредных и опасных факторов, негативно влияющих на здоровье сотрудников. К первой группе факторов можно отнести микроклимат помещения, шум,

освещение рабочей зоны, а также электромагнитное поле. В качестве второй группы факторов необходимо рассмотреть возможность поражения электрическим током.

### 5.2.1.1 Анализ вредных факторов

Основные параметры, характеризующие условия труда это: микроклимат, шум, вибрация, электромагнитное поле, излучение, освещённость.

Воздух рабочей зоны (микроклимат) производственных помещений определяют следующие параметры: температура, относительная влажность, скорость движения воздуха. Оптимальные и допустимые значения характеристик микроклимата приведены в таблице 11 [50].

Таблица 11 – Оптимальные и допустимые параметры микроклимата[50].

Период года	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный и переходный	23-25	40-60	0,1
Тёплый	23-25	40	0,1

К мероприятиям по оздоровлению воздушной среды в производственном помещении относятся: правильная организация вентиляции и кондиционирования воздуха, отопление помещений. Вентиляция может осуществляться естественным и механическим путём. В помещение должны подаваться следующие объёмы наружного воздуха: при объёме помещения до 20 м<sup>3</sup> на человека – не менее 30 м<sup>3</sup> в час на человека; при объёме помещения более 40 м<sup>3</sup> на человека и отсутствии выделения вредных веществ допускается естественная вентиляция.

На установке ПВ-3012М установлена принудительная вытяжка из вакуумного насоса.

Система отопления должна обеспечивать достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха. В помещениях с повышенными требованиями к чистоте воздуха должно использоваться водяное отопление. Параметры микроклимата в используемой лаборатории регулируются системой центрального отопления, и имеют следующие значения: влажность – 40%, скорость движения воздуха – 0,1 м/с, температура лето – 20-25 °С, зимой – 13-15 °С. В лаборатории осуществляется естественная вентиляция. Воздух поступает и удаляется через щели, окна, двери. Основной недостаток такой вентиляции в том, что приточный воздух поступает в помещение без предварительной очистки и нагревания.

Шум и вибрация ухудшают условия труда, оказывают вредное воздействие на организм человека, а именно, на органы слуха и на весь организм через центральную нервную систему. В результате этого ослабляется внимание, ухудшается память, снижается реакция, увеличивается число ошибок при работе. Шум может создаваться работающим оборудованием, установками кондиционирования воздуха, осветительными приборами дневного света, а также проникать извне.

Источник шумового загрязнения – вращающиеся части механических насосов. При работе механического насоса максимальность шумового загрязнения составляет 52 дБ на расстоянии 1 м. Длительность возникновения максимальных шумов составляет не более 5 минут. Рабочее место расположено в 2-2,5 метров от установки. Предельно допустимый уровень шумов и средства защиты должны удовлетворять [51–52]. Работающих в этих зонах, администрация снабжает средствами индивидуальной защиты, которыми являются специальные наушники, вкладыши в ушную раковину, противозумные каски, защитное действие которых основано на изоляции и поглощения звука.

Уровень освещенности, на рабочем месте, должен соответствовать условиям работы и быть оптимальным по яркости. Световой спектр должен максимально соответствовать дневному освещению, так как оно оптимально соответствует человеческой физиологии. Очень высокий уровень освещенности, так же, как и недостаточный, приводит к быстрому утомлению зрения. Освещение должно быть равномерным на всей площади рабочего места, так как при переносе взгляда с более освещенных на менее освещенные участки рабочего места и наоборот происходит понижение остроты зрения на достаточно долгий промежуток времени. Требования к уровню освещенности в производственных помещениях утверждены сводом правил [53].

Для производственных помещений всех назначений применяются системы общего (равномерного или локализованного) и комбинированного (общего и местного) освещения. Выбор между равномерным и локализованным освещением проводится с учётом особенностей производственного процесса и размещения технологического оборудования. Система комбинированного освещения применяется для производственных помещений, в которых выполняются точные зрительные работы. Применение одного местного освещения на рабочих местах не допускается. Учитывая особенности процесса работы на установке ПВ-3012М (не требуется освещения для проведения работ высокой точности) возможно применение схемы общего равномерного освещения.

Электромагнитное поле – это силовое поле, образованное вокруг электрического тока, эквивалентное электрическому полю и магнитному полю, расположенным под прямыми углами друг к другу [59].

Источниками электромагнитного излучения являются приборы, работающие от электрического тока. Например: линии электропередач компьютеры, телефоны, и т.д. Помещение, в котором располагается научно-исследовательское оборудование, оснащено персональными компьютерами, которые являются основным источником электромагнитного излучения. В

России система стандартов по электромагнитной безопасности складывается из ГОСТ [54] и СанПиН [55]. Длительное воздействие электромагнитного излучения на организм человека ведёт к нарушениям процессов в ЦНС, сбоям в работе сердечнососудистой системы. Первыми симптомами воздействия электромагнитных полей являются быстрая утомляемость, слабость, головные боли, понижение частоты пульса и повышение температуры тела.

### **5.2.1.2 Анализ опасных факторов**

В зависимости от условий в помещении опасность поражения человека электрическим током увеличивается или уменьшается. Не следует работать с ЭВМ и другими электрическими установками в условиях повышенной влажности (относительная влажность воздуха длительно превышает 75%), высокой температуры (более 35°C), наличии токопроводящей пыли, токопроводящих полов и возможности одновременного прикосновения к имеющим соединение с землёй металлическим элементам и металлическим корпусом электрооборудования. Существует опасность электропоражения в следующих случаях:

- при непосредственном прикосновении к токоведущим частям во время ремонта;
- при прикосновении к нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением (в случае нарушения изоляции токоведущих частей);
- при прикосновении с полом, стенами, оказавшимися под напряжением;
- при коротком замыкании в высоковольтных блоках: блоке питания и блоке дисплейной развёртки.

Проходя через организм человека, электроток производит термическое, электролитическое, механическое, биологическое, световое воздействие.

Электробезопасность представляет собой систему организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока. Электроустановки классифицируют по напряжению: с номинальным напряжением до 1000 В (помещения без повышенной опасности), до 1000 В с присутствием агрессивной среды (помещения с повышенной опасностью) и свыше 1000 В (особо опасные помещения).

Лаборатория относится к помещению без повышенной опасности поражения электрическим током. В помещении применяются следующие меры защиты от поражения электрическим током: недоступность токоведущих частей для случайного прикосновения, все токоведущие части изолированы и ограждены. Недоступность токоведущих частей достигается путем их надежной изоляции, применения защитных ограждений, расположения токоведущих частей на недоступной высоте. К СКЗ относятся заземление и разделение электрической сети с помощью трансформаторов – в результате изолированные участки сети обладают большим сопротивлением изоляции и малой емкостью проводов относительно земли, за счет чего значительно улучшаются условия безопасности [61, 62].

Основными электрозащитными средствами в электроустановках напряжением до 1000 В являются изолирующие штанги, указатели напряжения, а также изолирующие устройства и приспособления для ремонтных работ. К дополнительным изолирующим электрозащитным средствам относятся диэлектрические перчатки, резиновые коврики и дорожки, изолирующие подставки на фарфоровых изоляторах и переносные заземления.

### **5.3 Экологическая безопасность**

Охрана окружающей среды – комплексная проблема и наиболее активной формой ее решения является сокращение вредных выбросов

промышленных предприятий через полный переход к безотходным или малоотходным технологиям производства. Необходимо улучшить систему улавливания/фильтрации масляных паров при работе пластинчато-роторных насосов, так как масло и масляные пары непосредственно влияют на окружающую среду в целом. В данный момент стоят фильтры улавливающие масло и масляные пары, но все же, используемые фильтра не улавливают все вредные вещества. Следовательно, данный вопрос также необходим к рассмотрению.

Воздействие масляных продуктов на почву сопровождается:

- отторжением пахотных земель или уменьшением их плодородия;
- чрезмерным насыщением токсичными веществами растений, что неизбежно приводит к загрязнению продуктов питания растительного и животного происхождения;
- загрязнением грунтовых вод, особенно в зоне свалок.

Так же необходимо позаботиться о отдельных контейнерах для отходов бытового характера: отдельные мусорные баки для бумаги, стекла, металлических частей, пластика, резины и т. д. Необходимо заключить договор с компанией, вывозящей мусор, чтобы она обеспечивала доставку разделенных отходов фирмам, занимающимся переработкой отходов.

## **5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

### **5.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований**

При возникновении неисправностей в работе на установке ПВ-3012М необходимо выполнить следующие действия:

- отключить питание компьютера;
- отключить диффузионный и пластинчато-роторный насосы;
- отключить печь с термопарами;

- закрыть клапан подачи воды;
- известить об этом вышестоящего руководителя.

При возникновении возгорания необходимо немедленно прекратить работу, отключить электрооборудование, позвонить в подразделение пожарной охраны по телефону 01 или 112, сообщить о случившемся руководителю подразделения и приступить к тушению огня первичными средствами пожаротушения.

При поражении работника электрическим током необходимо как можно скорее освободить пострадавшего от воздействия электрического тока, проверить состояние пострадавшего и вызвать при необходимости скорую помощь, до приезда скорой помощи оказать пострадавшему необходимую первую помощь или, при необходимости, организовать доставку пострадавшего в ближайшее лечебное учреждение, о произошедшем несчастном случае поставить в известность руководителя структурного подразделения.

#### **5.4.2 Разработка порядка действия в случае возникновения ЧС**

Самым распространенным видом ЧС является пожар. Под пожаром понимают неконтролируемое горение, причиняющее материальный ущерб, вред жизни и здоровью людей, интересам общества, государству.

Причины возникновения пожара электрического характера: короткое замыкание, перегрузки по току, статическое электричество и т. д. Для устранения причин возникновения и локализации пожаров в помещении лаборатории должны проводиться следующие мероприятия:

- 1) использование только исправного оборудования;
- 2) проведение периодических инструктажей по пожарной безопасности;

3) отключение электрооборудования, освещения и электропитания при предполагаемом отсутствии обслуживающего персонала или по окончании работ;

4) содержание путей и проходов для эвакуации людей в свободном состоянии.

Для локализации или ликвидации загорания на начальной стадии используются первичные средства пожаротушения. Первичные средства пожаротушения обычно применяют до прибытия пожарной команды.

В общественных зданиях и сооружениях на каждом этаже должно размещаться не менее двух переносных огнетушителей. Огнетушители следует располагать на видных местах вблизи от выходов из помещений. Размещение первичных средств пожаротушения в коридорах, переходах не должно препятствовать безопасной эвакуации людей.



Рисунок 24 – План эвакуации при пожаре и других ЧС из помещений лаборатории ИФПМ со РАН корпус №2, 1 этаж.

Здание должно соответствовать требованиям пожарной безопасности, а именно, наличие охранно-пожарной сигнализации, плана эвакуации, порошковых или углекислотных огнетушителей с поверенным клеймом, табличек с указанием направления к выходу.

## **Выводы к главе 5**

В данном разделе были рассмотрены необходимые правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности, в которых регламентируются условия труда, необходимые инструкции по работе со специальным оборудованием, а также гигиенические требования к организации работы.

Были выявлены и проанализированы опасные и вредные факторы производственной среды. К вредным факторам можно отнести: воздействие электрического напряжения на организм человека, микроклимат, воздействие шума и высоких электромагнитных полей. К опасным факторам можно отнести: электробезопасность, термическую опасность и пожаровзрывоопасность.

К факторам рабочего места, влияющим на окружающую среду, относятся масляные пары. Для предотвращения негативного влияния эксплуатации установки используются необходимые фильтры. Установка ежегодно проходит поверку и аттестацию.

Также были рассмотрены различные чрезвычайные ситуации при работе на вакуумной установке ПВ-3012М и правильный порядок действий при их возникновении.

## **Заключение**

В теоретической части было изучено, что методы ИПД позволяют получать в титане и его сплавах УМЗ состояние, обладающее высокими прочностными характеристиками при сохранении технологической пластичности. По методу Виккерса была измерена микротвердость титанового сплава в крупнозернистом и ультрамелкозернистом состоянии с различной концентрацией водорода. Были проведены исследования структурно-фазового состояния титанового сплава VT16 и VT16-H. При анализе экспериментальных данных было установлено, что механические свойства зависят от концентрации водорода и структуры сплава. Водород повышает предел текучести за счет скопления водорода в наиболее напряженных участках образца.

В процессе формирования бюджета НИР были использованы группировки по материальным затратам, затратам на социальное оборудование, затратам по основной заработной плате, затратам по дополнительной заработной плате, отчислениям во внебюджетные фонды. Всего бюджет с учетом прибыли и НДС составил 428261,08 рублей. Однако, оценка его экономического эффекта и эффективности не корректна.

В процессе рассмотрения безопасности и гигиены труда при осуществлении работ с вакуумной установкой были выявлены опасные и вредные факторы рабочей зоны, их причины и средства защиты от чрезвычайных ситуаций.

## Список литературы

1. Балоян Б. М. и др. Наноматериалы. Классификация, особенности свойств, применение и технологии получения //Москва. – 2007.
2. Валиев Р. З., Александров ИВ Наноструктурные материалы, полученные интенсивной пластической деформацией //М.: Логос. – 2000. – Т. 272. – С. 3.
3. Бриджмен П. Исследование больших пластических деформаций и разрушения //М.: ИИЛ. – 1955.
4. Кузнецов Р. И., Быков В. И., Чернышев В. П. Пластическая деформация твердых тел под давлением—Свердловск //Препринт. – 1982. – Т. 4. – С. 85.
5. Колобов Ю. Р. и др. Зернограничная диффузия и свойства наноструктурных материалов. – 2001.
6. Смирнова Н.А., Левит В.И., Пилюгин В.И., Кузнецов Р.И., Давыдова Л.С., Сазонова В.А. Эволюция структуры гцк монокристаллов при больших пластических деформациях // ФММ. 1986. - Т.61. - С.1170-1177.
7. Raab G. J. et al. Continuous processing of ultrafine grained Al by ECAP–Conform //Materials Science and Engineering: A. – 2004. – Т. 382. – №. 1-2. – С. 30-34.
8. Segal V. M. Materials processing by simple shear //Materials Science and Engineering: A. – 1995. – Т. 197. – №. 2. – С. 157-164.
9. Ywahashi Y., Wang J., Horita Z., Nemoto M., Langdon T.G. Principle of equal-channel angular pressing for the processing of ultrafine grained materials // Scripta Mater. 1996. - V.35. - P. 143-146.
10. Hirth J. P. Effects of hydrogen on the properties of iron and steel //Metallurgical Transactions A. – 1980. – Т. 11. – №. 6. – С. 861-890.
11. Мазурский М.И., Мурзинова М.А., Салищев Г.А., Афоничев Д.Д. Использование водородного легирования для формирования

- субмикроструктурной структуры в двухфазных титановых сплавах // Металлы. 1995. - №6. - С.83
12. Yoshimura H., Nakahigashi J. Tensile and impact properties of mesoscopic-grained  $\alpha + \beta$ -type titanium alloys obtained through hydrogen treatments // Journal of alloys and compounds. – 1999. – Т. 293. – С. 858-861.
  13. Nakahigashi J., Yoshimura H. Ultra-fine grain refinement and tensile properties of titanium alloys obtained through protium treatment // Journal of Alloys and Compounds. – 2002. – Т. 330. – С. 384-388.
  14. Мельников Е. В. и др. Влияние легирования водородом на особенности фазовых превращений при прокатке метастабильной аустенитной стали X18H10T // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. – 2013. – Т. 18. – №. 4-2.
  15. Жеребцов С. В., Галеев Р. М., Валиахметов О. Р. Формирование субмикроструктурной структуры в титановых сплавах интенсивной пластической деформацией // Кузнечно-штамповочное производство. 1999. -№7.-С. 17-22
  16. Мельников Е. В. и др. Влияние легирования водородом на особенности фазовых превращений при прокатке метастабильной аустенитной стали X18H10T // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. – 2013. – Т. 18. – №. 4-2.
  17. Сарафанов Г. Ф., Перевезенцев В. Н. Закономерности деформационного измельчения структуры металлов и сплавов // Нижний Новгород. – 2007. – Т. 96.
  18. Saitova L. et al. Enhanced superplastic deformation behavior of ultrafine-grained Ti-6Al-4V alloy // Materialwissenschaft und Werkstofftechnik: Entwicklung, Fertigung, Prüfung, Eigenschaften und Anwendungen technischer Werkstoffe. – 2008. – Т. 39. – №. 4-5. – С. 367-370.

19. Tikhonova M., Belyakov A., Kaibyshev R. Strain-induced grain evolution in an austenitic stainless steel under warm multiple forging //Materials Science and Engineering: A. – 2013. – Т. 564. – С. 413-422.
20. Kaibyshev O. A., Kazachkov I. V., Galeev R. M. The influence of texture on superplasticity of the titanium alloy VT 6 //Journal of Materials Science. – 1981. – Т. 16. – №. 9. – С. 2501-2506.
21. Грабовецкая Г. П. и др. Эволюция структурно-фазового состояния сплава Ti-6Al-4V в процессе формирования субмикроструктурной структуры с использованием обратимого легирования водородом //Известия высших учебных заведений. Физика. – 2006. – Т. 49. – №. 4. – С. 86-91.
22. Gallego J. et al. Microstructural characterization of Ti-6Al-7Nb alloy after severe plastic deformation //Materials Research. – 2012. – Т. 15. – №. 5. – С. 786-791.
23. Meyers M. A., Mishra A., Benson D. J. Mechanical properties of nanocrystalline materials //Progress in materials science. – 2006. – Т. 51. – №. 4. – С. 427-556.
24. Жеребцов С. В. и др. Механические и технологические свойства ультрамелкозернистого двухфазного титанового сплава ВТ6, полученного всесторонней изотермической деформацией //Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. – 2012. – Т. 16. – №. 7 (52).
25. Feng J C, H, He P. Effect of hydrogen on diffusion bonding of the hydrogenated Ti-6Al-4V alloy containing 0.3% hydrogen International Journal of Hydrogen Energy, 2007, 32(14): 3054-3068.
26. Грабовецкая Г. П., Забудченко О. В., Мишин И. П. Деформационное поведение субмикроструктурного титана при ползучести //Деформация и разрушение материалов. – 2013. – №. 1. – С. 26-33.
27. Дударев Е. Ф. и др. Деформационное поведение и механические свойства ультрамелкозернистого титана, полученного методом

- равноканального углового прессования //Металлы. – 2004. – №. 1. – С. 87-96.
28. Грабовецкая Г. П. и др. Влияние легирования водородом на деформационное поведение и локализацию пластической деформации на макромасштабном уровне субмикроструктурного титанового сплава Ti-6Al-4V //Физическая мезомеханика. – 2006. – Т. 9. – №. S1.
29. Забудченко О.В., Грабовецкая Г.П. Деформационное поведение субмикроструктурного титанового сплава Ti-6Al-4V-H при повышенных температурах // Физика – 2009.
30. Степанова Е.Н., Грабовецкая Г.П., Забудченко О.В., Мишин И.П. Деформационное поведение субмикроструктурного сплава Ti-6Al-4V, легированного водородом //Известия высших учебных заведений. Физика. – 2011. – Т. 54. – №. 6. – С. 67-73.
31. Мурзинова М. А., Салищев Г. А., Афоничев Д. Д. Сверхпластичность титанового сплава ВТ6, легированного водородом, с субмикроструктурной структурой //Физика металлов и металловедение. – 2007. – Т. 104. – №. 2. – С. 204-211.
32. Grabovetskaya G. P. et al. Effect of hydrogen on the formation of structure and mechanical properties of the ultrafine-grained titanium alloy of Ti–Al–V–Mo system //AIP Conference Proceedings. – AIP Publishing, 2018. – Т. 2051. – №. 1. – С. 020101.
33. Ливанов В. А., Буханова А. А., Колачев Б. А. Водород в титане. – 1962.
34. Ильин А. А., Колачев Б. А., Носов В. К. Водородная технология титановых сплавов. – 2002.
35. Колачев Б. А., Ливанов В. А., Буханова А. А. Механические свойства титана и его сплавов. – Metallurgy, 1974.
36. M. Robertson. The effect of hydrogen on dislocation dynamics // Engineering Fracture Mechanics, 2001. – 671-692.

37. Кнышова Е. Н. Экономика организации: учебник / Е. Н. Кнышова, Е. Е. Панфилова. – Москва: Форум Инфра-М, 2012. – 334 с.: ил. – Профессиональное образование.
38. Бочаров В. В. Инвестиции: учебник для вузов / В. В. Бочаров. – 2-е изд. – СПб: Питер, 2009. – 381 с. – Учебник для вузов.
39. Староверова Г. С. Экономическая оценка инвестиций : учебное пособие / Г. С. Староверова, А. Ю. Медведев, И. В. Сорокина. – 2-е изд., стер. – Москва: КноРус, 2009. – 312 с
40. Несветаев Ю. А. Экономическая оценка инвестиций: учебное пособие / Ю. А. Несветаев; Московский Государственный индустриальный университет; Институт дистанционного образования. – 3-е изд., стер. – Москва: Изд-во МГИУ, 2006. – 162 с.
41. Шульмин В. А. Экономическое обоснование в дипломных проектах: учебное пособие для вузов / В. А. Шульмин, Т. С. Усынина. – Старый Оскол: ТНТ, 2012. – 192 с.
42. Голосовский С. И. Эффективность научных исследований в промышленности / С. И. Голосовский. – Москва: Экономика, 1986. – 159 с.
43. Мигуренко Р. А. Научно-исследовательская работа: учебно-методическое пособие / Р. А. Мигуренко; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ), Институт дистанционного образования (ИДО). – 2-е изд., стер. – Томск: Изд-во ТПУ, 2010. – 184 с.
44. РФ Т. К. Трудовой Кодекс Российской Федерации» от 30.12. 2001 № 197-ФЗ //Российская газета. – 2001. – №. 256.
45. ГОСТ Р. 50923-96. Дисплеи //Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения. – 1996.

46. ГОСТ 22269-76. Система «человек-машина». Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования.
47. ПНД Ф. 12.13. 1-03 Методические рекомендации //Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения). – 2003. – Т. 3. – С. 25.05.
48. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.
49. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
50. СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
51. ГОСТ 12.1.003-8. Шум. Общие требования безопасности.
52. ГОСТ 12.1.029-80. Средства и методы защиты от шума.
53. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95\*
54. ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Общие требования безопасности.
55. СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы».
56. Беляков Г. И. Охрана труда и техника безопасности [Электронный ресурс]: учебник для прикладного бакалавриата/ГИ Беляков.—3-е изд., перераб. и доп.—Мультимедиа ресурсы (10 директорий; 100 файлов; 740МВ).—Москва: Юрайт, 2016.—1 Мультимедиа CD-ROM.—Бакалавр. Прикладной курс.—Электронные учебники издательства" Юрайт".—Электронная копия печатного издания.—Системные требования: Pentium 100 MHz, 16 Mb RAM //М.: Юрайт. – 2017. – Т. 404.
57. ГОСТ 12.1.012-90 ССБТ. Вибрационная болезнь. Общие требования.

58. СП 51.13330.2011. Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003
59. Белов С. В. Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды (техносферная безопасность) //М.: Юрайт. – 2011. – С. 680.
60. Кукин П. П. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность технологических процессов и производств. Охрана труда. – Высш. шк., 2007.
61. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление.
62. ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.