

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

Школа Инженерная школа новых производственных технологий  
 Направление подготовки Материаловедение и технологии материалов

Отделение школы (НОЦ) Отделение материаловедение

### МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Исследование процесса электронно-лучевой наплавки нержавеющей проволокой в условиях аддитивных технологий

УДК 621.791.927:621.788:004

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4БМ91	Ким Виктор Александрович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОМ	Клименов В.А.	Д.Т.Н. профессор ОМ		

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОСГН ШБИП ТПУ	Жиронкин С.А.	Д.Э.Н., профессор		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель	Скачкова Л.А.			

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
22.04.01 Материаловедение и технологии материалов	Буюкова С.П.	Д.Т.Н., профессор		

**Планируемые результаты обучения ООП**

<b>Код компетенции</b>	<b>Наименование компетенции</b>
<b>Универсальные компетенции</b>	
<b>УК(У)-1</b>	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий
<b>УК(У)-2</b>	Способен управлять проектом на всех этапах жизненного цикла
<b>УК(У)-3</b>	Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели
<b>УК(У)-4</b>	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном языке, для академического и профессионального взаимодействия
<b>УК(У)-5</b>	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
<b>УК(У)-6</b>	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
<b>Общепрофессиональные компетенции</b>	
<b>ОПК(У)-1</b>	Способен решать производственные и/или исследовательские задачи, на основе фундаментальных знаний в области материаловедения и технологии материалов
<b>ОПК(У)-2</b>	Способен разрабатывать научно-техническую, проектную и служебную документацию, оформлять научно-технические отчеты, обзоры, публикации, рецензии
<b>ОПК(У)-3</b>	Способен участвовать в управлении профессиональной деятельностью, используя знания в области системы менеджмента качества
<b>ОПК(У)-4</b>	Способен находить и перерабатывать информацию, требуемую для принятия решений в научных исследованиях и в практической технической деятельности
<b>ОПК(У)-5</b>	Способен оценивать результаты научно-технических разработок, научных исследований и обосновывать собственный выбор, систематизируя и обобщая достижения в области материаловедения и технологии материалов, смежных областях
<b>Профессиональные компетенции</b>	
<b>ПК(У)-1</b>	Способен обоснованно (осмысленно) использовать знания основных типов металлических, неметаллических и

	композиционных материалов различного назначения, в том числе наноматериалов для решения профессиональных задач.
<b>ПК(У)-2</b>	Способен осуществлять рациональный выбор материалов и оптимизировать их расходование на основе анализа заданных условий эксплуатации материалов, оценки их надежности, экономичности и экологических последствий применения
<b>ПК(У)-3</b>	Способен осуществлять анализ новых технологий производства материалов и разрабатывать рекомендации по составу и способам обработки конструкционных, инструментальных, композиционных и иных материалов с целью повышения их конкурентоспособности
<b>ПК(У)-4</b>	Способен планировать и осуществлять экспериментальные исследования, анализировать и обрабатывать их результаты, делать выводы, составлять и оформлять отчеты по проведенным исследованиям
<b>ПК(У)-5</b>	Способен выполнять перевод технической литературы на иностранном языке, связанной с профессиональной деятельностью в области материаловедения
<b>ПК(У)-6</b>	Способен решать задачи, относящиеся к производству, обработке и модификации материалов и покрытий, деталей и изделий
<b>ПК(У)-7</b>	Способен организовать проведение анализа и анализировать структуру новых материалов, адаптировать методики исследования свойств материалов к потребностям производства и разрабатывать специальные методики
<b>ПК(У)-8</b>	Способен проектировать и организовывать учебный процесс по образовательным программам с использованием современных образовательных технологий

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

Школа Инженерная школа новых производственных технологий  
 Направление подготовки (специальность) 15.04.01 Машиностроение  
 Отделение школы (НОЦ) Отделение материаловедение

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП  
 \_\_\_\_\_ С.П. Буюкова  
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

### ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации
--------------------------

Студенту:

Группа	ФИО
4БМ91	Ким Виктору Александровичу

Тема работы:

Исследование процесса электронно-лучевой наплавки нержавеющей проволокой в условиях аддитивных технологий	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	03.03.2021, № 62-47/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

#### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p><b>Исходные данные к работе</b>  <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объектом магистерской диссертации являются материалы из нержавеющей стали AISI 308L и 40X13. Наплавленные на электронно-лучевой установке.</p>
<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>  <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Изучить литературу по темам: Электроннолучевая наплавка в условиях аддитивных технологий. Произвести подготовку образцов для рассмотрения микроструктуры и измерения микротвердости.</p>
<p><b>Перечень графического материала</b></p>	

(с точным указанием обязательных чертежей)	
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> (с указанием разделов)	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Жиронкин С.А., д.э.н., профессор ОСГН ШБИП ТПУ
Социальная ответственность	Скачкова Л.А., ст. преподаватель ТПУ
Разделы, выполненные на иностранном языке	Евсеева А.М., ст. преподаватель ТПУ
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	

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

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОМ	Клименов В.А.	Д.Т.Н. профессор ОМ		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4БМ91	Ким Виктор Александрович		

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

Школа Инженерная школа новых производственных технологий  
 Направление подготовки Материаловедение и технологии материалов  
 Уровень образования магистр  
 Отделение школы (НОЦ) Отделение материаловедения  
 Период выполнения (осенний / весенний семестр 2020 /2021 учебного года)

Форма представления работы:

магистерская

(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)
26.03.2021	Обзор литературы	20
23.04.2021	Экспериментальная часть	20
03.05.2021	Обсуждение результатов и оформление работы	20
07.05.2021	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсоемкость	15
17.05.2021	Социальная ответственность	10
25.05.2021	Обязательное приложение на иностранном языке	15

**СОСТАВИЛ:**

**Руководитель ВКР**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОМ	Клименов В.А	д.т.н., профессор		

**СОГЛАСОВАНО:**

**Руководитель ООП**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОМ ИШНПТ	Буякова С.П.	д.т.н., профессор		

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

Студенту:

<b>Группа</b>		<b>ФИО</b>	
4БМ91		Ким Виктору Александровичу	
<b>Школа</b>	<b>ИШНПТ</b>	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	Отделение информационных технологий
<b>Уровень образования</b>	Магистратура	<b>Направление/специальность</b>	22.04.01 Материаловедение и технология материалов
<b>Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:</b>			
1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих		Стоимость материалов и оборудования; Квалификация исполнителей; Трудоемкость работы.	
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов		Нормы амортизации; Размер минимальной оплаты труда.	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования		Отчисления в социальные фонды.	
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>			
1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения		Оценка готовности полученного результата к выводу на целевые рынки, краткая характеристика этих рынков	
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований		Построение плана-графика выполнения диссертации, составление соответствующей сметы затрат, расчет величины НДС и цены результата	
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей),		Качественная и количественная характеристика экономического и др.	

бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	видов эффекта от внедрения результата, определение эффективности внедрения
--	--

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

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

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

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОСГН ШБИП ТПУ	Жиронкин Сергей Александрович	Д-р. Экон. Наук		03.03.2021

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4БМ91	Ким Виктор Александрович		03.03.2021



**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
4БМ91	Ким Виктор Александрович

<b>Школа</b>	<b>ИШНПТ</b>	<b>Отделение (НОЦ)</b>	<b>ОМ</b>
<b>Уровень образования</b>	Магистратура	<b>Направление/специальность</b>	Материаловедение и технологии материалов

Тема ВКР:

<b>Исследование процесса электронно-лучевой наплавки нержавеющей проволокой в условиях аддитивных технологий.</b>	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p>Объект исследования: образцы AISI 308L (ГОСТ 08X18H10T) и 40X13, полученные в условиях аддитивных технологий. Основные области применения: медицина, авиастроение и машиностроение.</p>
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
<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>– В санитарных нормах СанПиН 2.2.4-548-96 установлены величины параметров микроклимата, создающие комфортные условия для работы;</li> <li>– ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация;</li> <li>– Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ</li> <li>– СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95;</li> <li>– СНиП 23-05-95 Естественное и искусственное освещение;</li> </ul>

	<p>– ГОСТ 12.1.038-82 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов.</p>
<p><b>2. Производственная безопасность:</b> 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению вредного воздействия</p>	<p>При проведении исследования возможны проявления следующих факторов: – Воздушная среда и микроклимат рабочего помещения; – Уровень шума на рабочем месте; – Освещенность рабочей зоны; – Электробезопасность; – Пожарная безопасность.</p>
<p><b>3. Экологическая безопасность:</b></p>	<p>Факторы рабочего места, влияющие на окружающую среду: – Утилизация люминесцентных ламп; – Переработка бытового мусора.</p>
<p><b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b></p>	<p>– При проведении исследований, в лаборатории может возникнуть короткое замыкание токоведущих частей 3D-принтера, также перегрузки электросети, больших переходных сопротивлений. – При проведении исследований существует вероятность появления пожара.</p>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	21.02.2021
--	------------

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4БМ91	Ким Виктор Александрович		

## Реферат

Работа включает в себя 101 страницу, 18 таблиц, 23 рисунков, 5 глав, приложение А (на английском языке), 23 литературных источника.

Ключевые слова: Аддитивное производство, нержавеющие стали, электронно-лучевая наплавка.

Объектом исследования являются наплавленные образцы, полученные методом электронно-лучевого наплавления в условиях аддитивных технологий.

Цель работы – рассмотрение микроструктуры и измерение микротвердости нержавеющих образцов марки AISI 308L (ГОСТ 08X18H10T) и 40X13.

В ходе исследования рассматривались образцы, полученные методом электронно-лучевого наплавления. В качестве основного материала выступали нержавеющие стали марки AISI 308L (ГОСТ 08X18H10T) и 40X13. Исследование макроструктуры образцов и измерение микротвердости производились при помощи светового микроскопа Axio Observer A1.m и микротвердомера DuraScan.

## **Обозначения и сокращения**

EBM – Электронно-лучевая наплавка;

АП – Аддитивное производство;

АТ – Аддитивные технологии;

НС – Нержавеющая сталь;

НИОКР – Научно-исследовательская и опытно конструкторская работа;

SLM – Выборочная лазерная плавка;

КИМ – Коэффициент использованного материала;

НИР – Научно-исследовательская работа;

НТИ – Научно-техническое исследование.

## Оглавление

Введение.....	16
Глава 1. Литературный обзор.....	18
1.1 Методика аддитивного производства .....	18
1.2 Классификация аддитивных технологий.....	21
1.3 Электронно-лучевое плавление (ЭЛП, англ. EBM).....	23
1.4 Существующие технологии аддитивного производства .....	26
Глава 2. Объекты и методы исследования.....	34
2.1 Электронно – лучевая наплавка проволокой .....	34
2.2 Краткое описание проволок марки AISI 308L и 40X13 .....	35
Глава 3. Изготовление и подготовка наплавленных образцов .....	39
3.1 Анализ структуры наплавленных образцов .....	41
3.2 измерение микротвердости .....	45
Глава 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	47
4.1 Предпроектный анализ .....	47
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования .....	47
4.1.2 Анализ конкурентных решений.....	47
4.1.3 SWOT-анализ.....	49
4.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации.....	51
4.1.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования.....	53
4.2 Планирование управления научно-техническим проектом.....	53
4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования .....	53
4.2.2 Разработка графика проведения научного исследования .....	55

4.3 Бюджет научно-технического исследования .....	58
4.3.1 Расчет материальных затрат НТИ .....	58
4.3.2 Расчет материальных затрат НТИ .....	59
4.3.3 Расчет затрат на специальное оборудование НТИ .....	59
4.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды .....	61
4.3.5 Формирование бюджета затрат НТИ .....	61
4.3.6 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной, экономической эффективности исследования .....	62
Глава 5. Социальная ответственность.....	65
5.1 Ведение.....	65
5.1.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	66
5.1.2 Мероприятия при организации рабочей зоны .....	67
5.2 Производственная безопасность.....	68
5.2.1 Анализ вредных и опасных факторов. ....	68
5.2.2 Обоснование мероприятий по снижению вредного воздействия .....	70
5.2.3 Воздушная среда и микроклимат рабочего помещения .....	71
5.2.4 Уровень шума на рабочем месте .....	72
5.2.5 Освещенность рабочей зоны.....	73
5.2.6 Электробезопасность .....	77
5.2.7 Пожарная безопасность .....	78
5.3 Экологическая безопасность.....	81
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	82
Заключение .....	84
Список публикаций студента.....	85
Список используемых источников.....	86



## Введение

Повышение качества выпускаемой продукции — это главная задача новых технологий. Создание металлических материалов с заданным комплексом физико-механических свойств может быть реализовано благодаря применению комплексного подхода, сочетающего получение заданного химического состава, технологию получения и упрочняющую обработку, обеспечивающие формирование требуемого фазового состава и определенного структурного состояния материалов. Как известно качество сплавов формируются не только химическим составом и микроструктурой, но и в широкой степени типом, размерами, формой и характером распределения фаз различной природы, и их происхождением [1].

Металлическая 3D-печать все шире используется в таких отраслях промышленности, как авиакосмическая и автомобильная, в энергетике, кораблестроении, медицине, а также в ювелирном деле, исследовательской деятельности, в формировании арт-объектов и в ряде других направлений. Практически всегда металлическую печать выбирают в том случае, когда требования разработчика, технолога, хирурга, стоматолога, ученого или дизайнера выходят за пределы возможностей традиционных видов производства. С одной стороны, это может быть, например, топологически оптимизированная конструкция, либо сложное изделие с объединением в единое целое нескольких элементов сборочного узла, либо индивидуальный имплантат или протез. Другой веской причиной перехода к аддитивной технологии может стать отсутствие цеховых площадей для размещения всего спектра механообрабатывающего оборудования или невозможность использования крайне дорогого и вредного литейного производства [1-2].

Изготовление деталей сложной формы обычными методами — это сложный, дорогостоящий и трудоемкий процесс. Аддитивное производство является перспективным способом решения этой проблемы, и нержавеющие стали считаются хорошим материалом для использования в АП. Коррозионная стабильность, термопрочность, высокая пластичность и превосходные



прочностные характеристики делают нержавеющие стали (НС) значимыми для обширного применения в качестве конструкционных материалов.

Электронно-лучевая трехмерная (3D) печать считается результативной ресурсосберегающей методикой для аддитивного изготовления металлопродукции более сложной формы, близкие к конечным размерам и вызывающие наименьшего обрабатывания. С применением аддитивных технологий изделия изготавливаются путем подачи наплавленного сырья (металлического порошка или проволоки) согласно установленной линии перемещения, его плавления источником тепла (например, электронным лучом или лазером) и затвердевания расплавленного материала, который объединяется с нижележащим слоем [1].

## Глава 1. Литературный обзор

### 1.1 Методика аддитивного производства

Получение материалов, основанных на аддитивном производстве, дает возможность изготавливать детали из неоднородных материалов с различным, в том числе композитным, строением путем послойного нанесения на подложку проволоочного либо порошкового материала с довольно значительной производительностью и вариативностью по форме и размерам (рисунок 1.1).

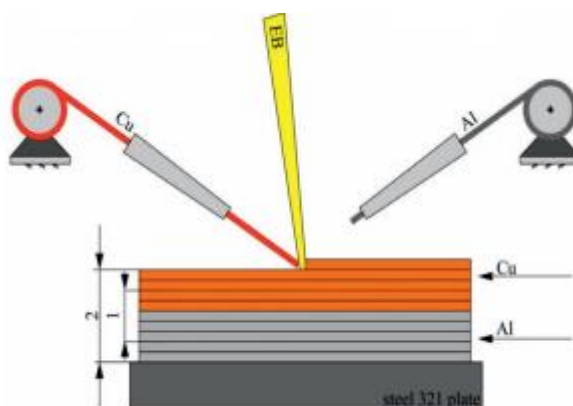


Рисунок 1.1 – Метод электронно-лучевой аддитивной технологии; 1 - градиентная зона 3D-печати; 2 - общая высота образца; EB - электронный пучок

Свое применение метод электронно-лучевого сплавления может найти практически в любой сфере. В медицине с его помощью можно изготовить идеально подходящие по форме титановые и кобальтовые протезы и имплантаты, которые обладают отличной биосовместимостью с человеческим организмом. В аэрокосмической сфере детали, изготовленные методом электронно-лучевого сплавления, отличаются высокой прочностью и имеют небольшой вес. Эта технология активно применяется инженерами аэрокосмических предприятий для производства элементов двигателей и корпусов летательных аппаратов [2].

Таблица 1.1 – Отрасли, применяющие технологии АП

Отрасль	Применения	Извлекаемые выводы
Аэрокосмическая	<p>Прототипирование.</p> <p>Производство компонентов для самолетов, ракетоносителей и спутников. Уменьшение массы изделий.</p>	<p>Снижение себестоимости производства сложных функциональных изделий. Локальное производство по месту требования без ограничений на доставку. Сокращение времени изготовления приводит к уменьшению требуемых запасов сырья. Оптимизация конструкций (облегчение массы, сокращение числа модульных элементов).</p>
Автомобильная	<p>Прототипирование.</p> <p>Уменьшение массы автомобилей. Система охлаждения для прототипов, работающих в особо сложных условиях.</p>	<p>Оптимизация конструкции изделий. Ускорение выхода на рынок новой продукции. Сокращение затрат на ремонт. Сокращение запасов. Улучшение качества изделий</p>

Продолжение таблицы 1.1

<p>Травматология Хирургия Реабилитация</p>	<p>Изготовление имплантов (слуховые аппараты, протезы). Реконструкция костей. Тазобедренные суставы. Импланты черепной коробки.</p>	<p>Уменьшение времени и стоимости операций. Снижение рисков постоперационных осложнений. Сокращение времени изготовления изделий. Оптимизация конструкции имплантов под анатомические особенности.</p>
<p>Стоматология</p>	<p>Зубные протезы и коронки, ортодонтические аппараты</p>	<p>Сокращение времени изготовления изделий. Анатомическая оптимизация изделий.</p>

Наиболее критичным свойством изделий, произведенных аддитивными методами для медицинских применений, является их биологическая совместимость с органами и тканями человека. Импланты и протезы проектируются в соответствии с анатомическими особенностями конкретного пациента.

Типичными расходными материалами, используемыми в электроннолучевой 3D технологии, являются металлический мелкодисперсный порошок сферической формы и металлическая проволока различных конфигураций [3].

Аддитивные технологические процессы (рисунок 1.2) производства дают возможность изготавливать любое изделие послойно на основе компьютерной 3D-модели. Такого рода процесс формирования объекта также называют «выращиванием» из-за постепенности производства. Если при классическом производстве в начале мы имеем заготовку, от которой оптом отсекаем все лишнее без исключений, либо деформируем ее, то в случае с аддитивными технологиями из ничего (а точнее, из аморфного расходного материала) выстраивается новый продукт. В зависимости от технологии, объект может строиться снизу-вверх или наоборот, получать различные свойства [2].



Рисунок 1.2 – Общая схема аддитивного производства

## 1.2 Классификация аддитивных технологий

Аддитивные технологические процессы предоставляют возможность изготавливать изделия уникальной формы с внутренней полой структурой. Интерес к аддитивным технологиям, в качестве альтернативы классическим научно-техническим методам для изготовления металлических изделий возник в авиационной промышленности, космической и энергетическом машиностроении. Мотивацией для введения аддитивных технологий в промышленность являлась экономическая целесообразность. Классифицируются аддитивные технологии:

По принципу добавления материала:

- прямое нанесение материала к месту подвода энергоносителя;
- послойное осаждение материала с последующей обработкой отдельных контуров.

По методу фиксации слоя:

- фотополимеризация;
- склеивание;
- сплавление/спекание.

По типу применяемых материалов для выращивания:

- жидкие (акриловые и эпоксидные фотополимеры);
- сыпучие (полимеры, пески, металлопорошки);
- прутковые и листовые (полимеры, металлы и деревянное волокно).

Существует условное двухуровневое разделение аддитивных устройств.

К первой категории относятся любительские 3D – принтеры, предназначенные для домашнего изготовления, визуального моделирования в рамках образовательного процесса учебных заведениях и для творческой самореализации. Ко второй категории относятся профессиональные и промышленные установки АП, предназначенные для НИОКР и промышленного производства. Таким образом, рынок АТ разделен на два самостоятельных, развивающихся независимо друг от друга рынка [3, 4].

Аддитивные технологии предлагают новые возможности при производстве изделия, а также в ряде случаев оказываются менее дорогостоящими, чем традиционные методы. В отличие от традиционных технологий, в которых процессы изготовления деталей осуществляются методом вычитания материала из заготовки, применение аддитивных технологий предполагает создание детали путем добавления слоя за слоем до получения готового продукта. Отходы материала по традиционным технологиям обработки деталей иногда превышают 70%, в то время как при применении аддитивных технологий, данный коэффициент стремится к нулю.

Непосредственное выращивание продуктов способом аддитивных технологий может осуществляться различными методами и с применением различных материалов, но в основе каждого из них лежит принцип послойного создания (выращивания) твёрдого объекта.

Нержавеющая проволока представляет особый интерес для АТ, так как производство таких же деталей методами традиционных технологий имеют высокую стоимость.

Из данных, приведенных в таблице 1.1, можно выделить наиболее востребованную технологию в настоящее время, для формирования изделий из нержавеющей проволоки, электронно-лучевое плавление (ЭЛП – Electron melting beam, EBM).

### **1.3 Электронно-лучевое плавление (ЭЛП, англ. EBM)**

Данная разработка нередко обозначается как способ скорого производства. Электронно-лучевая плавка (EBM) похожа на выборочную лазерную плавку (SLM) – основным различием этой технологии от SLM считается внедрение электронных излучателей (электронных пушек) взамен лазеров в качестве источников энергии для плавки. В основе изготовления располагается внедрение электрических пучков большой мощности для сплавления железной проволоки в вакуумной камере с образованием поочередных слоев, повторяющих контуры цифровой модели. В отличие от технологий спекания, электронно-лучевая плавка выделяет вероятность создавать детали особо высокой плотности и прочности [4].

Вакуум, созданный в камере, имеет давление меньше  $1 \cdot 10^{-4}$  бар и способствует процессу нагрева металла, ведь любая газовая или воздушная среда создает для электронов слишком высокое сопротивление. В такой вакуумной среде сохраняются свойства материала, утрачиваемые во время плавки. Температура в камере во время печати составляет 640-700°C. За счёт этого вся деталь разогрета равномерно, и процесс охлаждения происходит одновременно по всей поверхности уже после завершения печати.

Проволочная наплавка позволяет изготавливать детали с припуском 1-3 мм на механообработку, что обеспечивает снижение количества стружки в 10 и более раз. Переход от традиционных методов производства к использованию проволочной наплавки может обеспечить сокращение производственных затрат на 60-70% [5].

Популярен способ электронно-лучевой наплавки, при котором формируется на плоскости тела вращения участок оплавления при поддержке электрического луча, развернутого в линию по образующей, подают наплавляемый используемый материал в место оплавления также присваивают обрабатываемой детали вращательно-поступательное передвижение.

Недостатки приведенного способа заключаются в нерациональном использовании наплавляемого материала и мощности электрического луча. При разворачивании электрического луча в одну линию вдоль участка образующей и подаче наплавляемого материала в зону оплавления происходит экранирование электрического луча от изделия, собственно, что приводит к сокращению температуры области оплавления, неполному расплавлению наплавляемого материала, т.е. к потерям наплавляемого материала и мощности электрического луча. Кроме того, указанные недостатки известного способа не позволяют добиться полного переплава и равномерности наплавки, не увеличивая мощности электронного луча сверх меры, с точки зрения допустимых деформаций изделия за счет его чрезмерного нагрева, что в конечном итоге ограничивает технологические возможности способа и не способствует повышению физико-механических свойств наплавляемых изделий [5].

В способе электронно-лучевой наплавки на поверхности наплавляемого изделия создают зону расплава электронным лучом, наплавляемый материал подают в зону расплава, наплавляемому изделию сообщают перемещение, а наплавляемому материалу сообщают направление подачи, перпендикулярное относительно перемещения наплавляемого изделия.

Спектр расстояний не менее 1 см меж наплавляемым изделием и подаваемой наплавочной проволокой или же лентой разъясняется надлежащими обстоятельствами:

– во-первых, при применении предоставленного спектра достигается одновременный прогрев плоскости наплавляемой детали до значительных



температур, ее очистка и получение например именуемой ювенильной ("абсолютно чистой") плоскости с подготовкой использованного материала (путем перевода атомов данной плоскости в крепко возбужденное состояние) и контактированию с наплавляемым материалом, но не считая того расплавление наплавочного сырья (порошкового, проволоки или же ленты);

– во-вторых, при применении предоставленного спектра гарантируется значительная скорость подачи наплавочного сырья (проволоки или же ленты), его интенсивное и безоговорочное расплавление с образованием гомогенных по объему капель. При этом производятся обстоятельства попадания капель расплавленного наплавляемого материала в жидкую ванну расплава, образованную на плоскости наплавляемого изделия из раньше наплавленной проволоки или же ленты и порошка, без разбрызгивания, собственно, что значимо сокращает издержки материала;

– в-третьих, при обозначенном спектре исключается необходимость четкой регулировки промежутка меж поверхностью наплавляемого изделия и торцом проволоки или же ленты при нарастании слоев наплавляемого материала (покрытия), что и дает нам возможность наносить покрытия достаточной толщины (до 10 мм) [3].

При использовании расстояния ниже указанного диапазона не будет обеспечиваться высокая скорость подачи наплавочного материала вследствие недостаточности зазора между поверхностью наплавляемого изделия и торцом проволоки или ленты и невозможности нанесения покрытия большой толщины, а также сложности технической реализации.

Электронно-лучевая наплавка - процесс управляемый: изменяя режимы (мощность, количество проходов и т. д.), изменяя качественные и количественные соотношения компонентов наплавляемого материала, можно в широких пределах задавать состав и структуру наплавляемого слоя, что дает возможность получать изделия с наплавкой, отвечающие различным требованиям их эксплуатации, например, износостойкости, жаростойкости и др.

Новым является то, что наплавляемую поверхность изделия предварительно очищают оплавлением электронным лучом без подачи наплавляемого материала, развертку электронного луча выполняют под прямым углом по направлению перемещения изделия, причем очистку и наплавку производят последовательно.

#### 1.4 Существующие технологии аддитивного производства

Таблица 1.2 – Классификация аддитивных технологий в зависимости от исходного материала и его состояния

Состояние материала	Состояние материала	Процесс
Жидкое	Полимеры	Стереолитография (SL)
		Изготовление объектов послойной наплавки (FDM)
		Струйная печать (JP)
Порошкообразное	Полимеры, металлы, керамика	3D – печать (3DP)
		Селективное лазерное спекание (SLS)
		Прямое лазерное спекание (DMLS)
Твердое	Металлы	Селективная лазерная плавка (SLM)
		Электронно-лучевая плавка (EBM)
		Прямое нанесение металлов (DMD)
	Полимеры, металлы, керамика и композиционные материалы	Точное лазерное формирование (LENS)
		Послойное изготовление объектов из листового материала (LOM)
Произвольное экструзионное формирование (EFF)		

Выбор технологии АП осуществляется на основании анализа по следующим критериям:

- Производительность;
- Стоимость приобретения;
- Качество поверхности модели;
- Точность построения;
- Степень детализации (способность изготовить мелкие фрагменты);
- Стабильность модельного материала;
- Трудоемкость последующей обработки;
- Срок работы установки до замены основных узлов;
- Надежность и сроки поставки используемых материалов и запасных элементов;
- Стоимость модельных (строительных и вспомогательных) материалов;
- Стоимость текущего технологического обслуживания машины;
- Развитость службы технической поддержки в районе
- Надежность и долговечность машины;
- Стоимость гарантийного договора (в пост-гарантийный период);
- Требуемая высокая квалификация и, соответственно заработная плата обслуживающего персонала, но кроме того необходимая область инженерная инфраструктура;
- Время жизни ключевых узлов установки до замены или капремонта.

Процесс электронно-лучевой наплавки совершается последующим образом (рисунок 1.3). Электронный пучок с плотностью мощности необходимой для плавления, фокусируется на поверхности подложки 5 или уже выращенного слоя металла 6. В участке обработки образуется ванна расплава 7, в которую вводится проволока 8, тем самым увеличивая объем расплавленного материала. При смещении положения обработки манипулятором 9 путем поворота подложки либо ее перемещении в горизонтальном направлении происходит смещение ванны расплава, в

результате чего наплавленный в предыдущий момент времени металл затвердевает [3].

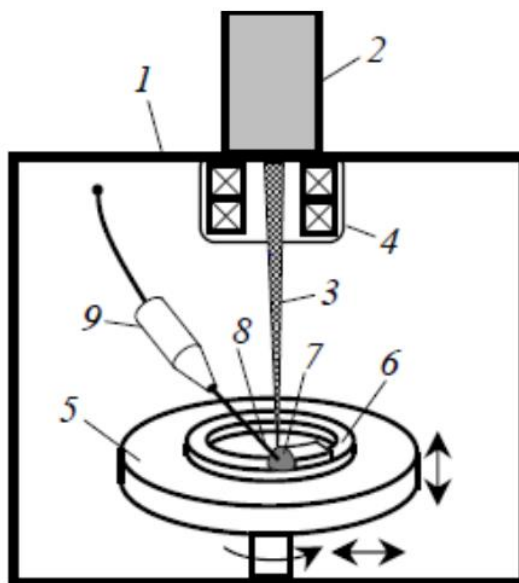


Рисунок 1.3 – Схема установки электронно-лучевого выращивания: 1 - вакуумная камера; 2 - электронный источник; 3 - электронный пучок; 4 - Система магнитной фокусировки; 5 - подложка; 6 - предыдущий наплавленный слой; 7- ванна расплава; 8- подаваемая проволока; 9 - манипулятор подачи проволоки; стрелками показаны направления смещения подложки.

Стоимость сварочной проволоки, в зависимости от металла, дешевле порошка в 2-10 раз. Кроме того, доступен широкий ассортимент материалов проволоки, а это сотни наименований, доступных на рынках стран Европы, в США, Китае и России. Например, не составит большого труда найти качественную проволоку из титана и титановых сплавов, жаропрочных сплавов, тантала, вольфрама, ниобия, молибдена, нержавеющей, малоуглеродистой, инструментальной, мартенситно-стареющей стали, инвара, сплавов алюминия, циркония, бронзы, меди, медноникелевых, магниевых сплавов и др. [5-6].

Подача проволоки в зону плавления может быть как коаксиальная, так и боковая (рисунок 1.4). Применяя коаксиальную подачу проволоки, можно полноценно использовать пять рабочих осей устройства, чего нельзя сказать

при использовании боковой подачи, потому как ограничивается свобода поворота энергетического источника при описании сложных траекторий.

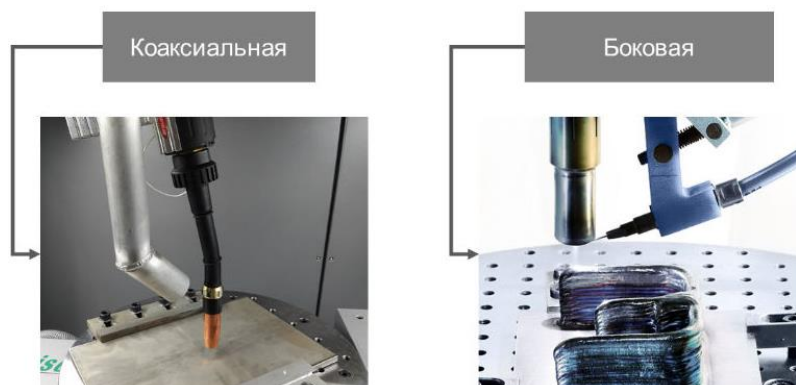


Рисунок 1.4 – Варианты подачи проволоки

Нержавеющая сталь является более доступным вариантом. Она может использоваться для 3D печати водостойких деталей высокой прочности и плотности, и используемых в экстремальной среде, такой как реактивные двигатели самолетов и ракет. Детали из нержавеющей стали изготавливаются на 3d принтере либо путем непосредственного нанесения металла, либо используя композитный материал со связывающим веществом.

Металлургическое качество получаемых материалов с помощью наплавки проволокой заметно выше всех популярных на сегодняшний день аддитивных технологий. Проволока, в отличие от порошка, имеет гомогенную структуру без оставшихся при его производстве газов, включений частиц с неудовлетворительной морфологией и формой, проблем с недостаточной или избыточной температурой сплавления, и т.п. Высокотемпературная ванна расплава получается достаточно большой и однородной.

В проволочных технологиях следует внимательно следить за качеством защитной сварочной смеси (аргон, гелий и их смеси являются предпочтительными технологическими газами для аддитивного производства, а активные компоненты CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> или H<sub>2</sub>, могут быть добавлены для тонкой настройки свойств материала), так как их структура и покрытие зоны сплавления оказывает значимое влияние на качество результата и наличие

окислов на поверхности детали. Наиболее существенное свойство поверхности деталей остается за технологией электронно-лучевой наплавки, поскольку процесс происходит в вакууме. Однако при технологии ЕВМ в корне шва может появляться полость, поэтому обязательно следует проводить контроль качества. Катодная очистка комбинированной технологии «плазма плюс плавящийся электрод» также позволяет получать хорошее качество благодаря удалению оксидной пленки [6].

Технологии проволочной наплавки уместнее всего сравнивать с традиционными технологиями, чаще, с фрезерной обработкой. Наиболее ощутимый эффект в этом случае будет проявляться при работе с труднообрабатываемыми материалами: коррозионностойкими и жаропрочными сталями и сплавами. Особенности обработки этих материалов заставляют уменьшать скорость резания и способствуют снижению стойкости инструмента. Тугоплавкие металлы обладают высокой твердостью, высокой способностью на износ. Добавим к этому необходимость обработки средне-размерных и крупных заготовок с уходом в стружку 60-90% материала, и выбор проволочных аддитивных технологий становится очевидным, ведь коэффициент использованного материала (КИМ) может достигать 90-100% [4].

Аддитивные технологии обладают некоторыми преимуществами перед традиционными технологиями производства. Их характеристики указаны в таблице 1.3.

Схематично различия в традиционном и аддитивном производстве можно изобразить следующей схемой (рисунок 5).

На микроструктуру и, следовательно, механические свойства изделий, произведенные методами аддитивного роста, существенное влияние оказывают параметры обработки, в том числе мощность источника, схема осаждения (скорость подачи также линия движения перемещения материала и пучка) и др. В ходе изготовления разнообразные зоны полученного продукта подвергаются комплексной температурной обработке (они имеют различную

термическую историю), так как материал нагревается и остывает в период нанесения каждого последующего слоя. Подобные непростые тепловые циклы имеют все шансы послужить причиной анизотропии и неоднородности микроструктуры и механических свойств заготовок. Что касается коррозионностойкой проволоки, полученных разными способами АП, то анизотропия механических свойств описана, например, для сталей AISI 304, 304L, 316L в работах [7-11].

Таблица 1.3 – преимущества аддитивных технологий перед традиционными

Области применения	Преимущества
Быстрое прототипирование	Ускорение выхода новой продукции на рынок. Снижение затрат на разработку. Повышение эффективности и конкурентоспособности.
Производство запасных частей	Сокращение времени ремонта. Уменьшение стоимости труда. Сокращение затрат на хранение.
Мелкосерийное производство	Экономически эффективное производство мелких партий. Отсутствие затрат на оснастку и инструмент.
Кастомизированные и уникальные изделия	Массовая кастомизация обходится по меньшей цене. Быстрое изготовление функциональных изделий.
Труднообрабатываемые изделия	Автоматизированное производство изделий сложной геометрической конфигурации при постоянной себестоимости.
Обеспечение обрабатывающих производств	Сокращение трудовых затрат. Сокращение затрат на хранение. Эффективность массовой кастомизации.
Быстрое производство	Одностадийное производство практически готовых изделий.

Продолжение таблицы 1.3

Изготовление компонентов	Улучшение качества готовой продукции. Сокращение цепочки поставок. Снижение затрат на разработку. Вычленение лишних, модульных элементов.
Локализованное производство по требованию	Сокращение затрат на складирование и транспортировку запасов и готовой продукции. Сокращение затрат за счет предотвращения простоев оборудования. Сокращение цепочки поставок. Увеличение жизненного цикла продукции.

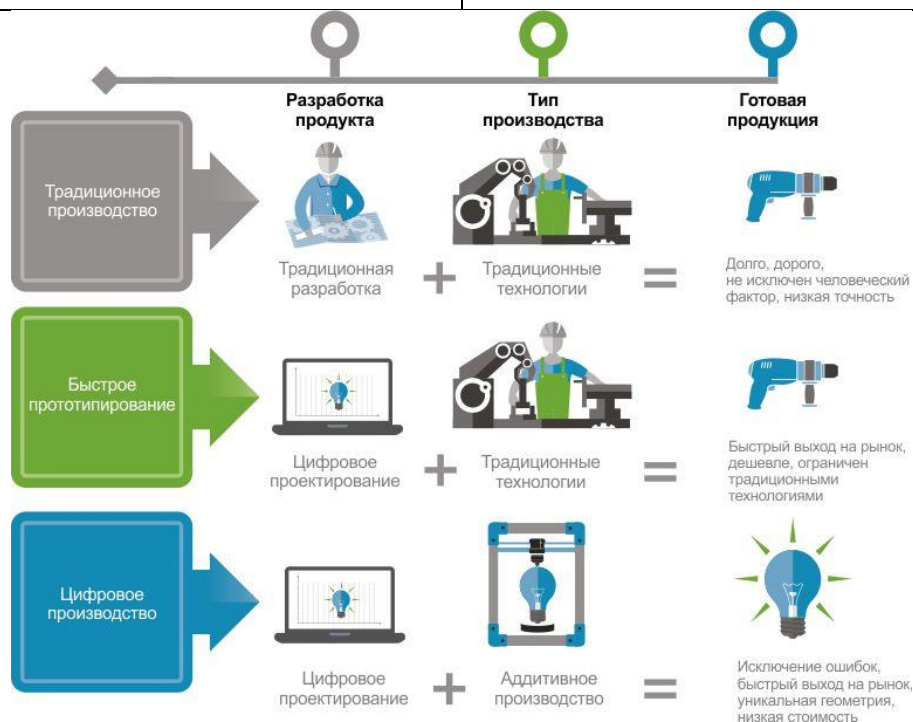


Рисунок 1.5 – Схема различия аддитивного производства от традиционного  
Преимущества аддитивных технологий.

- Улучшенные качества готовой продукции. При помощи послойного построения, изделия обладают уникальным набором свойств. Например, детали, созданные на металлическом 3D-принтере по своему механическому поведению, плотности, остаточному напряжению и другим свойствам превышают аналоги, изготовленные с помощью литья или механической обработки.



- Большое сбережение сырья. Аддитивные технологии применяют практически то количество материала, которое необходимо для изготовления вашего изделия. Тогда как при классических способах изготовления потери сырья могут составлять до 80-85%.

- Возможность производства изделий с непростой геометрией. Спецоборудование для аддитивных технологий позволяет изготавливать предметы, которые нельзя получить другим методом. Например, деталь внутри детали. Либо очень непростые системы охлаждения на основе сетчатых конструкций (этого невозможно получить ни литьем, ни штамповкой).

- Мобильность изготовления и ускорение обмена данными. Больше никаких чертежей, замеров также массивных образцов. В основе аддитивных технологий находится компьютерная модель предстоящего изделия, которую возможно передать в считанные минуты на другой конец мира — и одновременно приступить к изготовлению [12-14].

## Глава 2. Объекты и методы исследования

### 2.1 Электронно – лучевая наплавка проволокой

Технология электронно – лучевого плавления (EBM) разработана в 2000-х годах шведской компанией Arcam AB. Как и в случае с лазерами, электронный пучок также обладает высокой энергетической плотностью, но в данном случае вместо фотонов формируется наплавленный поток электронов. EBM установки способны формировать сфокусированный пучок, приводящий к образованию лунок расплавленного металла [1].

Электронно – лучевая трехмерная (3D) печать на основе подачи проволоки является эффективной технологией аддитивного производства, которая была разработана в последнее десятилетие для непосредственного производства сложных металлических компонентов. В условиях вакуума металлическая проволока нагревается и расплавляется электронным пучком, подается в расплавленную ванну и осаждается слой за слоем, образуя металлическую часть близкую к сетчатой (рисунок 2.1). Пример установки, работающей по этой, технологи представлен на рисунке 2.2.

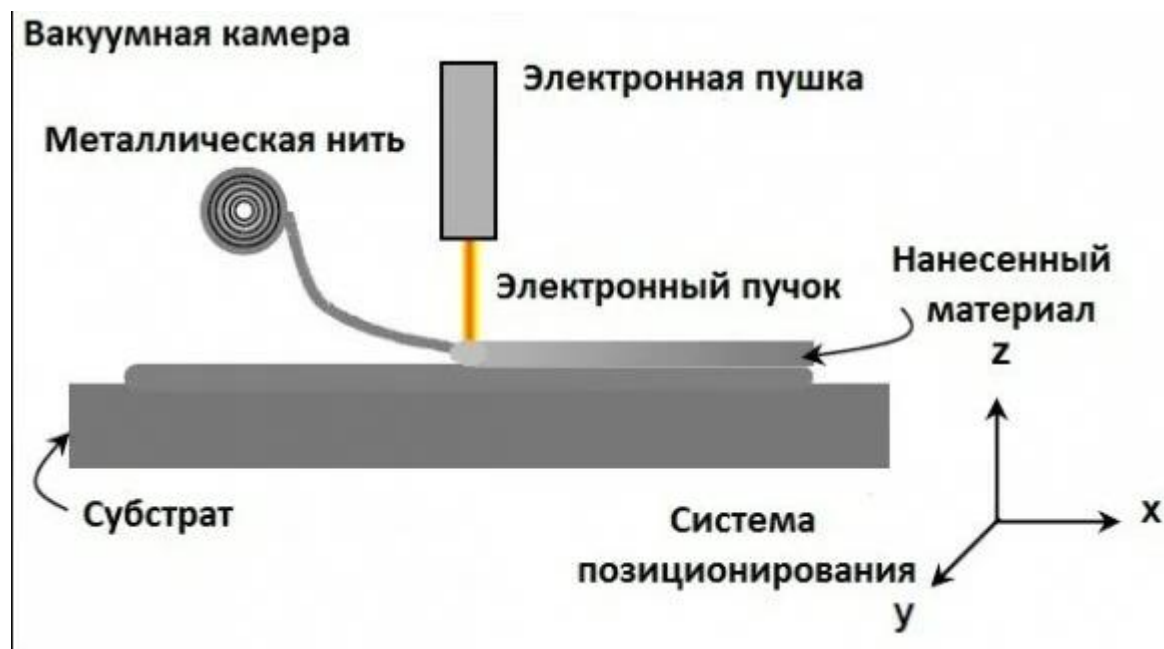


Рисунок 2.1 – Схема электронно – лучевой наплавки проволокой

Небольшой радиус фокусировки, а также высокая энергия электронного пучка могут вызвать большой градиент температуры, что приводит к нежелательным искажениям и остаточному напряжению в детали.

Параметрами, характеризующими процесс наплавки являются энергия и ток электронного луча, его диаметр, размеры, а также скорость подачи проволоки, скорость перемещения детали и форма развертки луча на поверхность детали.



Рисунок 2.2 – Электронно – лучевая установка, находящаяся в корпусе №11 в научно-производственной лаборатории “Современные производственные технологии”

## **2.2 Краткое описание проволок марки AISI 308L и 40X13**

Проволока сварочная нержавеющая AISI 308L (ГОСТ 08X18H10T). По существу, это тонкая нить, выполненная из высококачественной нержавеющей стали с заниженным количеством углерода в химическом составе. Марка стали из которой выполнена нержавеющая проволока, работает в агрессивных средах.

Нержавеющая проволока отличается высокой прочностью, отлично противостоит коррозирующим факторам и проста в применении. Благодаря таким качествам это изделие используется во многих отраслях народного хозяйства и промышленности: машиностроении, станкостроении, сельском хозяйстве, энергетике, нефтегазовом секторе. Проволока из нержавеющей

стали встречается почти во всех механизмах в виде различных деталей: пружин, тросов, электродов и т. д. Долговечность данного изделия в сочетании с небольшим весом делает его применение очень выгодным.

Химический состав марки AISI 308L в %: 0,04 С, 18-21 Cr, 9-12 Ni, 0,5-2,5 Mn, <1 Si, <0,75 Cu, <0,04 P, <0,03 S, остальное Fe.

Сталь 40X13 относится к группе жаропрочных легированных сплавов с высокой коррозионной стойкостью. Она не теряет свои качества и в условиях эксплуатации при повышенных температурах. Благодаря отличным механическим свойствам ее широко применяют в производстве недорогих кухонных ножей.

Химический состав марки 40X13 в %: 0,35-0,44 С, до 0,6 Si, до 0,6 Mn, до 0,6 Ni, до 0,025 S, до 0,03 P, 12-14 Cr, ~ 84 Fe.

Хром придает сплаву устойчивость к воздействию среды, в которой она будет эксплуатироваться, при концентрации выше 13% делает его нержавеющей. Он также влияет на механические свойства сплава и его структуру. По химическому составу сталь 40X13 относится к среднеуглеродистым сплавам группы X13 и имеет соответствующее содержание других легирующих элементов;

- кремния – не более 0,8%;
- марганца – 0,5-0,8%;
- меди и никеля – по 0,3%.

Никель повышает прочность и пластичность материала, кремний увеличивает упругость и показатель электрического сопротивления. Как и в других сплавах на основе железа, в нем присутствуют небольшие примеси:

- серы – 0,025%;
- фосфора – 0,03%.

Химический состав определяет характеристики стали 40X13:

- твердость после закалки НВ 10-1 – 460-550 МПа;
- предел кратковременной прочности – 55-880 МПа, в зависимости от назначения;

- предел текучести при 20°С – 910 МПа;
- относительное удлинение при разрыве – 10-15%;
- ударная вязкость – 59 Дж/см<sup>2</sup>;
- модуль упругости при 20 °С, E 10<sup>-5</sup> – 2,18 МПа;
- теплоемкость – 25 Вт/(м\*град);
- плотность – 7650 кг/м<sup>3</sup>;
- удельное сопротивление при 20 °С, R 109 – 590 Ом\*м.

Таблица 2.1 – Соответствия основных марок нержавеющей сталей и химический состав [6]

Стандарты нержавеющей сталей				Содержание легирующих элементов, %						
*	DIN	AISI	ГОСТ	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Ti
C1	1.4021	420	20X13	0,20	1,5	1	12 -14			
F1	1.4016	430	12X17	0,12	1	1	16- 18			
A1	1.4305	303		0,12	6,5	1	16 -19	5-10	0,7	
A2	1.4301	304	12X18H9	0,12	2	0,75	18 -19	8-10		
	1.4948	304H	08X18H10	0,08	2	0,75	18 -20	8 - 10,5		
	1.4306	304L	03X18H11	0,03	2	1	18 -20	10 - 12		
A3	1.4541	321	08X18H10 T	0,08	2	1	17 -19	9-12		5xC- 0,7
A4	1.4401	316	03X17H14 M2	0,03	2	1	16 -18	10 - 14	2 - 2,5	
	1.4435	316S	03X17H14 M3	0,03	2	1	16 -18	12 - 14	2,5 -3	
	1.4404	316L	03X17H14 M3	0,03	2	1	17 -19	10 - 14	2 - 3	
A5	1.4571	316Ti	08X17H13 M2T	0,08	2	0,75	16 -18	11 - 12,5	2 - 3	5xC- 0,8
	1.4845	310S	20X23H18	0,20	2	0,75	24 -26	18 - 20		

Обозначения нержавеющей сталей:

S1 - Мартенситная сталь

F1 - Ферритная сталь

A1, A2, A3, A4, A5 - Аустенитные нержавеющей стали [6].

Основные элементы нержавеющей сталей можно разделить на ферритизирующие и аустенизирующие. Каждый из элементов способствует образованию той или иной структуры:

– ферритизирующие элементы – это Cr (хром), Si (кремний), Mo (молибден), W (вольфрам), Ti (титан), Nb (ниобий);

– аустенизирующие элементы – это C (углерод), Ni (никель), Mn (марганец), N (азот), Cu (медь).

У аустенитных — низкая прочность (условный предел текучести 0,2% в состоянии после аустенизации 200 МПа), низкое сопротивление коррозионному растрескиванию.

У ферритных — низкая прочность (немного выше, чем у аустенитных: условный предел текучести 0,2% составляет 250 МПа), плохая свариваемость при больших толщинах, низкотемпературная хрупкость.

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

### **4.1 Предпроектный анализ**

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

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

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

Сегментирование – это разделение покупателей на однородные группы, для каждой из которых может потребоваться определенный товар (услуга).

Результаты проведенного исследования представляют ценность для научных групп, применяющих аддитивные технологии в абсолютно любой отрасли. Например, это может быть мелкосерийное производство (изготовление пресс-форм, заготовок, вставок), медицина (изготовление протезов и имплантов) или аэрокосмическая (производство элементов газовых турбин, двигателей и корпусов летательных аппаратов) и т.д.

Таким образом, многие ученые-экспериментаторы заинтересованы в изучении механических свойств 3D-напечатанных изделий, в получении в максимально короткие сроки очень точной детали, для использования в своих практических целях.

#### **4.1.2 Анализ конкурентных решений**

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

Бф – метод, использовавшийся в данной работе электронно-лучевое сплавление

Бк1 – изготовление деталей методом селективного лазерного спекания  
(СЛС)

Бк2 – изготовление деталей методом прокатки

Таблица 4.1 – оценочная карта сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Бф	Бк1	Бк2	Кф	Кк1	Кк2
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1.Классы материалов для использования	0,2	5	3	3	1	0,6	0,6
2.Удобство в эксплуатации	0,25	5	5	3	1,25	1,25	0,75
3.Уровень шума работы установки	0,1	4	4	2	0,4	0,4	0,2
4. Качество изделий	0,1	4	4	3	0,4	0,4	0,3
5.Простота в эксплуатации	0,1	4	4	4	0,4	0,4	0,4
6.Возможность подключения в сеть ЭВМ	0,1	5	5	5	0,5	0,5	0,5
Экономические критерии оценки эффективности							
1.Цена изготавливаемой продукции	0,15	3	2	2	0,3	0,3	0,3
Итого:	1	46	43	38	4,4	3,85	3,05



Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в таблице 1, подбираются, исходя из 48 выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum Vi \cdot Bi, \quad (4.1)$$

где  $K$  – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

$Vi$  – вес показателя (в долях единицы);

$Bi$  – балл  $i$ -го показателя.

$$K_{\text{ф}} = 0,2 \cdot 5 + 0,25 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 + 0,1 \cdot 5 + 0,15 \cdot 3 = 4,4$$

$$K_{\text{к1}} = 0,2 \cdot 3 + 0,25 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 + 0,1 \cdot 5 + 0,15 \cdot 2 = 3,85$$

$$K_{\text{к2}} = 0,2 \cdot 3 + 0,25 \cdot 3 + 0,1 \cdot 2 + 0,1 \cdot 3 + 0,1 \cdot 4 + 0,1 \cdot 5 + 0,15 \cdot 2 = 3,05$$

Как видно из приведенных расчетов, наиболее конкурентоспособен другой метод аддитивных технологий изготовления деталей (селективное лазерное спекание).

#### **4.1.3 SWOT-анализ**

SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта. Матрица составляется на основе анализа рынка и конкурентных технических решений, и показывает сильные и слабые стороны проекта, возможности и угрозы для разработки.

Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде. Матрица SWOT представлена в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – SWOT-анализ

	<p><b>Сильные стороны</b>  <b>научно-исследовательского проекта:</b>                      С1. Легкий интерфейс использования</p> <p>С2. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями</p> <p>С3. Процесс работы на установке автоматизирован</p> <p>С4. Изготовление деталей с погрешностью в размерах на <math>\pm 0,2</math> мм на каждые 100 мм (высокоточная производство)</p>	<p><b>Слабые стороны</b>  <b>научно-исследовательского проекта:</b>                      Сл1. Установка не транспортабельна из-за больших габаритов</p> <p>Сл2. Изготовление деталей исключительно в вакууме</p> <p>Сл3. Длительный процесс подготовки установки к работе из-за больших температур в камере</p> <p>Сл4. Большие затраты на приобретение расходного материала</p>
<b>Возможности:</b>		
<p>В1. Легкость управления мощностью электронного пучка позволяет использовать разнообразные режимы плавки</p>	<p>Наличие необходимых материалов и оборудования, а также персонала в процессе исследований может способствовать повышению</p>	<p>Для повышения спроса на изготовленную продукцию необходимы квалифицированные кадры среди потенциальных потребителей</p>
<p>В2. Возможность использовать расходный материал в виде проволоки и порошка</p>	<p>производительности в будущем</p>	
<p>В3. Технология может применяться в любом мелкосерийном производстве.</p>		
<p>В4. В аэрокосмической сфере детали, изготовленные методом электронно-лучевого сплавления, отличаются высокой прочностью и имеют небольшой вес</p>		

## Продолжение таблицы 4.2

<b>Угрозы:</b>		
У1. Периодическая неисправность электронной пушки	Периодическая неисправность электронной пушки может	Низкий уровень проникновения на рынок способствует
У2. Недостаток квалифицированных специалистов	способствовать к изготовлению брака, так как процесс автоматизирован,	несвоевременному финансированию научного
У3. Неумышленное совершение НСД.	исправить это уже во время работы невозможно	исследования при дальнейшем развитии проекта.
У4. Несвоевременное финансирование научного исследования при дальнейшем развитии проекта		

### 4.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации

На какой бы стадии жизненного цикла не находилась научная разработка полезно оценить степень ее готовности к коммерциализации и выяснить уровень собственных знаний для ее проведения (или завершения). Для этого необходимо заполнить специальную форму, содержащую показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциям разработчика научного проекта. Перечень вопросов приведен в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1.	Определен имеющийся научно-технический задел	4	4

Продолжение таблицы 4.3

2.	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического Задела	4	5
3.	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	4	4
4.	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	3	3
5.	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	4	3
6.	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	3	3
7.	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	3	3
8.	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	2	3
9.	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	3	4
10.	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	5	4
11.	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	3	4
12.	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	3	3

### Продолжение таблицы 4.3

13.	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	3	3
14.	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	3	3
15.	Проработан механизм реализации научного проекта	5	5
	<b>ИТОГО БАЛЛОВ</b>	52	54

Итоговые значения проработанности научного проекта и знания у разработчика лежат в диапазоне от 52 до 54, что говорит о высокой перспективности проекта. Знания разработчика достаточными для успешной ее коммерциализации.

#### **4.1.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования**

Перспективность данного научного исследования высокая. Таким образом, для коммерциализации этого достаточно. Так как основной научно-технический задел определен, этого достаточно для коммерциализации следующими методами: торговля патентной лицензией; передача ноу-хау и инжиниринг. Степени проработанности научного проекта и уровень знаний разработчика достаточно для реализации пунктов, которые были выбраны.

#### **4.2 Планирование управления научно-техническим проектом**

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

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке: - определение структуры работ в рамках научного исследования; - определение участников каждой работы; - установление продолжительности работ; - построение графика проведения научных

исследований. Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты, численность групп может варьироваться. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей. Для дальнейшей оценки экономической эффективности составлен перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования и распределение исполнителей по видам работ (Таблица 4.4).

Таблица 4.4 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ работы	Содержание работы	Должность исполнителя
Разработка задания на НИР	1	Составление и утверждение задания	Научный руководитель
Проведение НИР			
Разработка направления исследования	2	Изучение поставленной задачи и поиск материалов по теме	Студент
	3	Выбор методов исследования	Научный руководитель, студент
	4	Календарное планирование работ	Научный руководитель, студент
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Подготовка образцов для исследования	Студент
	6	Проведение экспериментов	Студент

Продолжение таблицы 4.4

Обобщение и оценка результатов	7	Анализ полученных результатов, выводы	Научный руководитель, студент
	8	Оценка эффективности полученных результатов	Научный руководитель, студент
Оформление полученных в НИР результатов	9	Составление пояснительной записки	Студент

#### 4.2.2 Разработка графика проведения научного исследования

При выполнении дипломных работ студенты в основном становятся участниками сравнительно небольших по объему научных тем. Поэтому наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_k = T_r \cdot K_{\text{кал}}, \quad (4.2)$$

где  $T_k$  – продолжительность выполнения работы в календарных днях;  $T_r$  – продолжительность выполнения работы в рабочих днях;  $k_{\text{кал}}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$K_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} \quad (4.3)$$

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.

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе  $T_k$  необходимо округлить до целого числа.

Таблица 4.5 – Временные показатели проведения ВКР

№ работы	Исполнители	Продолжительность работ				
		$t_{\text{min}}$ чел-дн	$t_{\text{max}}$ чел-дн	тож чел- дн	$T_{\text{р}}$ раб. дн	$T_{\text{к}}$ кал. дн
1	Научный руководитель, студент	3	10	6	3	4
2	Студент	10	30	18	18	22
3	Научный руководитель, студент	7	15	10	5	6
4	Научный руководитель, студент	8	18	12	6	7
5	Студент	8	15	10	10	12
6	Студент	11	26	17	17	21
7	Научный руководитель, студент	8	18	12	6	7
8	Научный руководитель, студент	7	15	10	5	6
9	Студент	8	14	10	5	6
Итого:		Научный руководитель			25	30
		Студент			75	91



На основе таблицы 4.5 строятся календарный план-график. График строится, для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта на основе таблицы 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 4.6 – Календарный план проведения НИР

№	Вид работы	Исполнители	Тк к.д.	Продолжительность выполнения работ															
				Февр.	Март	Апр.	Май	Июнь											
1	Составление и утверждение задания	Научный руководитель, студент	4	■															
2	Изучение поставленной задачи и поиск материалов по теме	Студент	22		■	■													
3	Выбор методов исследования	Научный руководитель, студент	6				■												
4	Календарное планирование работ	Научный руководитель, студент	7				■												
5	Подготовка образцов для исследования	Студент	12					■											
6	Проведение экспериментов	Студент	21						■	■									



8) накладные расходы.

Остановимся более подробно на расчетах основных затрат.

### **4.3.2 Расчет материальных затрат НИИ**

Данная статья включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта. В эту статью входят затраты на сырье, материалы, используемые в процессе НИИ, комплектующие изделия и т.д. В материальные затраты также включаются дополнительно затраты на канцелярские принадлежности, диски, картриджи и т.п. Однако их учет ведется в данной статье только в том случае, если в организации их не включают в расходы на использование оборудования или накладные расходы. В первом случае на них определяются соответствующие нормы расхода от установленной базы. Во втором случае их величина учитывается как некая доля в коэффициенте накладных расходов.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + kT) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расх\ i}, \quad m \quad (4.4)$$

где  $m$  – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;  $N_{расх\ i}$  – количество материальных ресурсов  $i$ -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м<sup>2</sup> и т.д.);  $C_i$  – цена приобретения единицы  $i$ -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м<sup>2</sup> и т.д.);  $kT$  – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Транспортные расходы принимаются в пределах 15-25% от стоимости материалов. Материальные затраты, необходимые для данной разработки, занесены в таблице 4.7.

### **4.3.3 Расчет затрат на специальное оборудование НИИ**

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме. Определение стоимости спецоборудования

производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене. При приобретении спецоборудования необходимо учесть затраты по его доставке и монтажу в размере 15% от его цены.

Таблица 4.7 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед. руб	Затраты на материалы (Зм), руб.
Проволока	Кг	3	6500	19500
Интернет	М/бит	1	350	350
Канцелярские товары	Шт.			1500
Итого:				21350

В данной работе использовалось уже имеющееся оборудование, и закупка специального оборудования не производилась. В таком случае затраты на специальное оборудование отсутствуют.

Однако в ходе эксплуатации основного оборудования средства были затрачены в соответствии с амортизационными отчислениями.

Так, расчет амортизационных отчислений производился линейным методом, результаты расчетов сведены в таблицу 4.8.

Таблица 4.8 – Амортизационные расходы

№	Наименование оборудования	Стоимость тыс. руб	Срок полезного использования, лет	Норма амортизации, %	Срок эксплуатации, дней	Амортизационные расходы, руб
1	ЭЛУ 5	4500000	10	10	64	114741
2	Микротвердомер DuraScan	245000	10	10	59	5408,4

Продолжение таблицы 4.8

3	Оптический микроскоп ZEISS AXIOVERT 25	500000	10	10	64	12749
Итого:						132898,4

#### 4.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Звнеб = Квнеб \cdot (Здоп + Зосн) \quad (4.5)$$

где  $Квнеб$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность, водится пониженная ставка – 27,1%. Отчисления во внебюджетные фонды представлены в табличной форме (таблица 4.9).

Таблица 4.9 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб	Дополнительная заработная плата (12% от основной), руб.
Научный руководитель	49550	5946
Студент	39900	4788
Коэффициент отчислений	0,271	
Итого:	27149,9	

#### 4.3.5 Формирование бюджета затрат НИИ

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при

формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 4.10.

Таблица 4.10 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
Материальные затраты НТИ	21350
Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	132898,4
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	89450
Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	10734
Отчисления во внебюджетные фонды	27149,9
Бюджет затрат НТИ	281582,3

#### 4.3.6 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной, экономической эффективности исследования

Интегральный показатель ресурсной эффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i b_i$$

где  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности для  $i$ -го варианта исполнения разработки;  $a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го варианта исполнения разработки;  $b_i$  – балльная оценка  $i$ -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;  $n$  – число параметров сравнения.

В качестве возможных вариантов исполнения выберем реализованный способ, а также два альтернативных варианта:



Продолжение таблицы 4.11

Продолжительность исследования	0,25	4	4	5
Качество исследования	0,2	4	4	5
Точность результатов исследования	0,2	5	5	5
<b>Итого:</b>	1	18	16	16

Проведем расчет интегрального показателя ресурсоэффективности для каждого варианта исполнения:

$$I_{p-исп1} = 5 \cdot 0,35 + 4 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,2 = 4,55$$

$$I_{p-исп2} = 3 \cdot 0,35 + 4 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,2 = 3,85$$

$$I_{p-исп3} = 1 \cdot 0,35 + 5 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,2 = 3,6$$

Из рассчитанных значений видно, что вариант исполнения, который реализован в данной работе наиболее ресурсоэффективный.



## **Глава 5. Социальная ответственность**

### **5.1 Ведение**

Условия труда считаются безопасными, если воздействие вредных или опасных производственных факторов не превышает установленные нормативы.

Одно из основных направлений профилактической работы по снижению производственного травматизма и профессиональной заболеваемости является повсеместное внедрение комплексной системы управления охраной труда. Охрана труда – система законодательных, социально-экономических, организационных, технологических, гигиенических и лечебно-профилактических мероприятий и средств, обеспечивающих безопасность, сохранение здоровья и работоспособности человека в процессе труда.

Охрана труда и безопасность жизнедеятельности регулируется рядом различных нормативно-правовых, законодательных актов, в том числе Трудовым Кодексом Российской Федерации, Кодексом об административных нарушениях, Уголовным Кодексом и Конституцией РФ.

Процесс работы характеризуется такими вредными факторами, как недостаток естественного освещения, недостаточная освещенность рабочего места, возможность короткого замыкания и поражение исследователя током.

Необходимо, также учесть возможность возникновения чрезвычайной ситуации. Так как офисное помещение, в котором проходил процесс работы, находится в городе Томске, то наиболее типичной чрезвычайной ситуацией для данного региона является экстремально низкие температуры воздуха.

В данной главе рассмотрены и найдены решения для обеспечения удовлетворительных условий труда исследователя. Проведена характеристика производственных процессов, анализ вредных и опасных факторов при данном виде производственной деятельности и решению вопросов безопасности, на основе требований действующих нормативно технических документов.

Данная выпускная квалификационная работа была проведена в офисном помещении, оборудованном необходимой техникой для выполнения исследований, использования стандартного и специфического программного обеспечения.

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

Согласно трудовому законодательству, в РФ регламентируется 8-ми часовой рабочий день. Во время рабочего дня отводится специальные промежутки времени для перерывов на отдых и питание. Продолжительность перерывов на отдых и питание составляет от 30 до 60 мин [15].

К работе с оборудованием допускаются сотрудники Томского политехнического университета, получившие допуск. Для получения допуска к самостоятельной работе работник должен ознакомиться с правилами работы на оборудовании сдать экзамен.

В соответствие с инструкцией по охране труда при работе с лабораторным комплексом в ТПУ к работе с электронным оборудованием допускаются лица (сотрудники Института, аспиранты, студенты и прикомандированные лица) не моложе 18 лет, не имеющие медицинских противопоказаний и прошедшие инструктаж (не реже 1 раза в год).

По данной теме рассматриваются законодательные и нормативные документы:

- 1) Инструкция № 2-08 по охране труда при работе с ПЭВМ и ВДТ.
- 2) ГОСТ 12.1.003-2014. Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности.
- 3) ГОСТ 30494-96 Здания жилые и общественные помещения. Параметры микроклимата в помещении.
- 4) ГОСТ 12.1.005-88 Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
- 5) СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.

6) ГОСТ 12.1.009 - 2009. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Термины и определения.

7) ГОСТ 12.1.030 - 81. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление.

8) ГОСТ 12.1.038-82 (2001). Электробезопасность. Предельно допустимые значения прикосновения и токов.

9) СНиП 21-01-97. Пожарная безопасность зданий и сооружений.

10) СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы [15].

### **5.1.2 Мероприятия при организации рабочей зоны**

Основным объектом в производственных условиях является рабочее место, представляющее собой в общем случае пространство, в котором может находиться человек при выполнении производственного процесса. Рабочее место является основной подсистемой производственного процесса.

Основные требования к размерам и конструкции рабочего стула в зависимости от вида выполняемых работ установлены в ГОСТ 12.2.032—78 и ГОСТ 21889-76 [15]. Рабочее место для выполнения работ сидя организуют при легкой работе, не требующей свободного передвижения работающего. Конструкция рабочего места и взаимное расположение всех его элементов (сиденье, органы управления, средства отображения информации и т. д.) должны соответствовать антропометрическим, физиологическим и психологическим требованиям, а также характеру работы.

Компоновка рабочих столов, стеллажей и другой мебели подобрана таким образом, чтобы не создавать заторов и препятствий при эвакуации людей из помещения во время возникновения чрезвычайных ситуаций.

Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы» экран видеомонитора должен находиться от глаз пользователя на

оптимальном расстоянии 600-700 мм, но не ближе 500 мм с учетом размеров алфавитно-цифровых знаков и символов.

Согласно ГОСТ 12.2.032-78 рабочее место должно быть по высоте таким, чтобы при выполнении исследований и проведении расчетов, и обработке данных не было необходимости сгибать корпус или приседать [16].

Рациональный режим чередования труда и отдыха снижает утомляемость и травматизм, повышает производительность труда. В работе, требующей тонкой координации движений и не столько физического, сколько нервного напряжения, желательны короткие (3...5 мин) частые перерывы. Для борьбы с монотонностью работы, которая ускоряет наступление усталости и приводит к быстрому нервному истощению, надо менять ритм работы, позу, вводить кратковременные перерывы и использовать их для упражнений производственной физкультуры [16].

## **5.2 Производственная безопасность**

### **5.2.1 Анализ вредных и опасных факторов.**

Самостоятельно объект исследования, а именно, электронно-лучевая установка не сопутствует вредными и опасными факторами. Соответствует всем нормам СанПиНа. Не выделяет токсических веществ, излучения, постороннего запаха, в общем, не подвергает опасности жизнь человека.

Таблица 5.1 – Возможные опасные и вредные факторы [17].

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Испытания	
1. Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	В санитарных нормах СанПиН 2.2.4-548-96 установлены величины параметров микроклимата, создающие комфортные условия для работы.
2. Превышение уровня шума		+		
3. Отсутствие или недостаток естественного света	+	+	+	ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация.
4. Недостаточная освещенность рабочей зоны		+	+	СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95. [59].
5. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	+	+	+	СНиП 23-05-95 Естественное и искусственное освещение. ГОСТ 12.1.038-82 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов.
6. Пожар взрывоопасность	+	+	+	Эксплуатационные мероприятия предусматривают правильную эксплуатацию оборудования и правильное содержание помещения, удовлетворяющее требованиям СНиП 245-71.

При проведении работ, связанных с теоретическим исследованием, важную роль играет планировка рабочего места. Она должна соответствовать

правилам охраны труда и удовлетворять требованиям удобства выполнения работы, экономии энергии и времени инженера.

Основным документом, определяющим условия труда при работе с ПЭВМ, является СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы». В правилах указаны основные требования к помещениям, микроклимату, шуму и вибрации, освещению помещений и рабочих мест, организации и оборудованию рабочих мест.

При организации рабочего места, следует принять во внимание тот факт, что качество и производительность труда, зависят от существующих на данном рабочем месте условий труда и соответствия этих условий установленным нормам. Организация рабочего места заключается в выполнении ряда мероприятий, обеспечивающих рациональный и безопасный труд и должна соответствовать ГОСТ 22269–76 [17].

### **5.2.2 Обоснование мероприятий по снижению вредного воздействия**

При выполнении данной работы возникает вероятность воздействия таких производственных факторов как: шума, тепловыделений, недостаточной освещенности, электрический ток, физические и эмоциональные перегрузки, умственное перенапряжение.

Все опасные и вредные производственные факторы в соответствии с ГОСТ 12.0.003-74 подразделяются на физические, химические, биологические и психофизиологические [18].

К физическим факторам можно отнести:

- Повышенная запыленность;
- Повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны;
- Повышенный уровень шума на рабочем месте;
- Опасность поражения электрическим током.

К химическим факторам относится реактив для травления образцов. При травлении образцов реактив может попасть на кожу, что может привести к ожогу, а также пары реактива могут попасть на слизистые глаз и носоглотки

(при дыхании незащищенном маской), что может вызвать местные покраснения и раздражение. Травление проводилось раствором на специально оборудованном рабочем месте, после чего образцы промывались дистиллированной водой и протирались этиловым спиртом.

К психофизическим факторам можно отнести шумовое воздействие, монотонность работы, умственное перенапряжение и т.п. При подготовке шлифов рабочий выполняет монотонную работу, связанную с однообразным набором последовательных действий, которые могут вызвать возникновение переутомляемости [18].

### **5.2.3 Воздушная среда и микроклимат рабочего помещения**

Микроклимат в производственном помещении оказывает существенное влияние на здоровье и самочувствие людей. Значительные колебания микроклимата могут приводить к перегреву или переохлаждению организма, что снижает производительность труда и влечет за собой заболевания и травматизм. Нормы производственного микроклимата установлены системой стандартов безопасности труда [19].

Микроклимат производственных помещений определяется действующими на организм сочетаниями температуры, влажности и скорости движения воздуха, а также температуры окружающих поверхностей. Оптимальные микроклиматические условия обеспечивают общее и локальное ощущение теплового комфорта в течение 8 – часовой рабочей смены, не вызывают отклонений в состоянии здоровья и создают предпосылки для высокой работоспособности.

Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны должны соответствовать ГОСТ 12.1.005–88. Допустимые нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха приведены в таблице 5.1 для категории 1б.

Для помещения без избытка выделения тепла для работ категории тяжести 1б допустимые параметры микроклимата должны соответствовать требованиям таблицы.

Таблица 5.2 – Допустимые нормы микроклимата в рабочей зоне производственных помещений (по ГОСТ 12.1.005–88)

Период	Параметр микроклимата	Величина
Холодный	Температура воздуха в помещении.	22...24°C
	Относительная влажность.	40...60%
	Скорость движения воздуха.	До 0,1м/с
Теплый	Температура воздуха в помещении.	23...25°C
	Относительная влажность.	40...60%
	Скорость движения воздуха.	0,1...0,2м/с

Микроклимат комнаты поддерживается на оптимальном уровне системой водяного центрального отопления, естественной вентиляцией, а также искусственным кондиционированием и дополнительным прогревом в холодное время года.

#### 5.2.4 Уровень шума на рабочем месте

Шум является общебиологическим раздражителем и в определенных условиях может влиять на органы и системы организма человека. Шум ухудшает точность выполнения рабочих операций, затрудняет прием и восприятие информации. Длительное воздействие шума большой интенсивности приводит к патологическому состоянию организма, к его утомлению. Интенсивный шум вызывает изменения сердечно-сосудистой системы, сопровождаемые нарушением тонуса и ритма сердечных сокращений, изменяется артериальное кровяное давление [20].

Методы установления предельно допустимых шумовых характеристик стационарных машин изложены в ГОСТ 12.1.003–2014. Шум на рабочих местах также может проникать извне через открытые проемы форточек, окон и дверей из кабинета в коридор. Для оценки шума используют частотный спектр измеряемого уровня звукового давления, выраженного в децибелах



(дБ), в активных полосах частот, который сравнивают с предельным спектром (таблица 5.3).

Таблица 5.3 – Уровни звукового давления (по ГОСТ 12.1.003–83)

Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами в Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБА
1,5	3	25	50	100	1000	2000	4000	8000	
86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Измерения уровней шума в лаборатории показали, что он не превышает нормативных значений.

### 5.2.5 Освещенность рабочей зоны

Создание комфортных световых условий труда улучшает условия зрительной работы, снижает утомляемость, способствует повышению производительности труда, благотворно влияет на производственную среду, оказывая положительное психологическое воздействие на работающего, повышает безопасность труда и снижает травматизм.

Недостаточность освещения приводит к напряжению зрения, ослабляет внимание, приводит к наступлению преждевременной утомленности. Чрезмерно яркое освещение вызывает ослепление, раздражение и резь в глазах. Неправильное направление света на рабочем месте может создавать резкие тени, блики, дезориентировать работающего.

В данном рабочем помещении используется смешанное освещение. Естественное освещение осуществляется через окно в наружной стене здания. В качестве искусственного освещения используется система общего освещения (освещение, светильники которого освещают всю площадь помещения). Освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 300 лк. В данной работе использовались «Общие санитарно-гигиенические требования к показателям микроклимата рабочей зоны, который устанавливает стандарт СанПиН 2.2.4.3359–16».

Для организации такого освещения лучше выбрать люминесцентные лампы, так как они имеют ряд преимуществ перед лампами накаливания: их спектр ближе к естественному освещению; они имеют большую экономичность (больше светоотдача) и срок службы (в 10–12 раз больше, чем лампы накаливания). Но следует помнить, что имеются и недостатки: работа ламп такого типа иногда сопровождается шумом; они хуже работают при низких температурах; такие лампы имеют малую инерционность. Для данного помещения, в котором будет эксплуатироваться информационная система, люминесцентные лампы подходят.

В настоящее время в лаборатории используются светильники ШОД (люминесцентный светильник, соответствующий широкому типу кривой силы света, относящийся классу отраженного света светильника по светораспределению).

Нормами для данных работ установлена необходимая освещенность рабочего места  $E=300$  лк (так как работа очень высоко точности – наименьший размер объекта различия равен 0,15–0,3 мм разряд зрительной работы – Г, фон – светлый, контраст объекта с фоном – большой).

Произведем расчет освещения.

Помещение имеет площадь 48м<sup>2</sup>, ширина составляет 6 м, длина – 8 м, высота – 2,5 м. Воспользуемся методом светового потока. В помещении лаборатории используются люминесцентные лампы ШОД, использование которых допускается при умеренной влажности и запыленности.

Величина освещенности корректируется с учетом коэффициента запаса, т.к. со временем за счет загрязнения светильников и уменьшения светового потока ламп снижается освещенность. Значение коэффициента запаса, выбираемого для помещения с малым выделением пыли, при люминесцентных лампах  $KЗ = 1,5$ .

Расположение светильников должно соответствовать двум критериям: обеспечение высокого качества освещения, ограничение ослепленности и необходимой направленности света на рабочие места.

Наиболее экономичное создание нормированной освещенности. Расположим светильники параллельно стенам. Расстояние между светильниками рассчитаем по формуле:

$$\lambda=L/h; \quad (5.1)$$

где  $L$  – расстояние между светильниками, м;

$h$  – высота подвеса светильника над рабочей поверхностью, м.

Находим  $\lambda = 1,2$  (при  $h = 2,5$  м)

Отсюда следует, что  $L=\lambda \times h=1,2 \times 2,5 = 3$  (м).

Расстояние от стен помещения до крайних светильников  $1/3L$ .

$$F=\frac{E \times K \times S \times Z}{\eta \times n}; \quad (5.2)$$

где  $F$  – рассчитываемый световой поток, лм;

$E$  – нормированная минимальная освещенность, лк (определяется по таблице). Работу специалиста, в соответствии с этой таблицей, можно отнести к разряду точных работ, следовательно, минимальная освещенность будет  $E = 400$ лк;

$S$  – площадь освещаемого помещения (в нашем случае  $S = 48$ м<sup>2</sup>);

$Z$  – отношение средней освещенности к минимальной (обычно принимается равным 1,1-1,2, пусть  $Z = 1,1$ );

$K$  – коэффициент запаса, учитывающий уменьшение светового потока лампы в результате загрязнения светильников в процессе эксплуатации (его значение зависит от типа помещения и характера проводимых в нем работ и в нашем случае  $K = 1,5$ );

$\eta$  – коэффициент использования, (выражается отношением светового потока, падающего на расчетную поверхность, к суммарному потоку всех ламп и исчисляется в долях единицы; зависит от характеристик светильника, размеров помещения, окраски стен и потолка, характеризуемых коэффициентами отражения от стен (РС) и потолка (РП)). Их оценивают субъективно и определяют по таблице. Так, для свежепобеленного потолка и со свежепобеленными окнами без штор РС = 50% и РП = 70% соответственно.

Значение  $\eta$  определим по таблице коэффициентов использования различных светильников. Для этого вычислим индекс помещения по формуле:

$$I = \frac{S}{h \times (A+B)}; \quad (5.3)$$

где  $S$  – площадь помещения,  $S = 48 \text{ м}^2$ ;

$h$  – расчетная высота подвеса,  $h = 2,5 \text{ м}$ ;

$A$  – ширина помещения,  $A = 6 \text{ м}$ ;

$B$  – длина помещения,  $B = 8 \text{ м}$ . Подставив значения получим:

$$I = \frac{48}{2,5 \times (6+8)} = 1,37;$$

Зная индекс помещения  $I$ , по таблице находим  $\eta = 0,6$

При выборе осветительных приборов используем светильники типа ОД. Каждый светильник комплектуется двумя лампами.

Размещаем светильники в два ряда. В каждом ряду можно установить 3 светильника типа ОДР. Длина одного светильника 1 м., ширина 0,5 м. При этом разрывы между светильниками в ряду составят 50 см. Изображаем в масштабе схему размещения на нем светильников (рисунок 5.1).

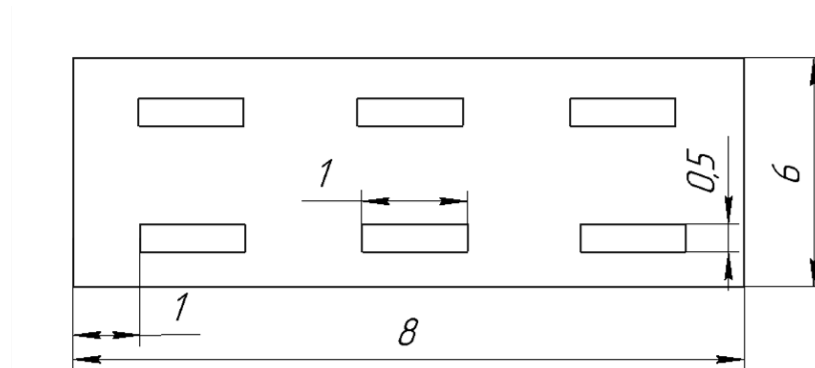


Рисунок 5.1 – Схема расположения светильников.

Подставим все значения в формулу для определения светового потока  $F$ :

$$F = \frac{400 \times 1,5 \times 48 \times 1,1}{0,6 \times 12} = 4400$$

В соответствии со световым потоком выбираем стандартную лампу ЛБ -80-4 с потоком 4960 лм.

Таким образом, система освещения лаборатории соответствует нормам.

### **5.2.6 Электробезопасность**

Электробезопасность – система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества [21].

Согласно требованиям электробезопасности (ГОСТ 12.1.019-79 «ССБТ. Электробезопасности. Общие требования и номенклатура видов защиты»). Всё электрооборудование и приборы должны находиться на специально отведенных местах, и заземлены. Сопротивление заземления должно быть не более 4 Ом.

В настоящее время большая доля внимания уделена электробезопасности, так как использование в повседневной жизни различного вида электроустановок неуклонно растет. Анализ опасности электрических сетей практически сводится к определению значения тока, протекающего через тело человека в различных условиях, в которых может оказаться человек при эксплуатации электрических сетей. Безопасной для человека является величина переменного тока – 10мА, постоянного – 50мА, безопасное напряжение 12 В [21].

В используемом помещении применяются установки напряжением до 1 кВ. По электробезопасности помещение относится к первому классу – помещения без повышенной опасности (сухое, хорошо отапливаемое, помещение с токонепроводящими полами, с температурой 18—20°, с влажностью 40-50%). Заземление металлических нетоковедущих частей обеспечивается присоединением вилки прибора к специальной розетке с заземляющим контактом. Имеется устройство защитного отключения. Защита от прямого прикосновения не требуется, поскольку отсутствуют электроустановки, а электрооборудование находится в зоне системы

уравнивания потенциалов, и наибольшее рабочее напряжение не превышает 25 В переменного или 60 В постоянного тока.

К электрозащитным средствам относятся: СКЗ от поражения электротоком:

- изолирующие штанги всех видов (оперативные, измерительные, для наложения заземления);

- указатели напряжения всех видов (высокого, низкого) и классов напряжений (с газоразрядной лампой, бесконтактные, импульсного типа, с лампой накаливания и др.);

- бесконтактные сигнализаторы наличия напряжения;

- защитные ограждения (щиты, ширмы, изолирующие накладки, колпаки);

- изолированный инструмент;

- указатели напряжения для проверки совпадения фаз, устройства для прокола кабеля, устройство определения разности напряжений в транзите, указатели повреждения кабелей;

- предупредительная блокировка, изоляция токопроводящих частей, заземление, зануление, изолирующие коврики и дорожки, использование малых напряжений, электрическое разделение сетей, выравнивание потенциалов, защитное отключение;

- изолирующие лестницы, канаты, вставки телескопических вышек и подъемников; штанги для переноса и выравнивания потенциала; гибкие изолирующие покрытия и накладки. СИЗ от поражения электротоком:

- изолирующие и электроизмерительные клещи;

- переносные заземления; - диэлектрические галоши, изолирующие боты и перчатки, каски защитные диэлектрические, изолирующие подставки, ковры.

### **5.2.7 Пожарная безопасность**

Одним из наиболее распространенных и опасных видов техногенных ЧС является пожар. Пожаром называется неконтролируемое горение вне

специального очага. Пожары причиняют значительный материальный ущерб, в ряде случаев вызывают тяжелые травмы и гибель людей. основополагающими законодательными актами в области пожарной безопасности являются Федеральные законы "О пожарной безопасности" и "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности", определяющие общие правовые, экономические и социальные основы обеспечения пожарной безопасности в Российской Федерации [22].

Технический регламент о требованиях пожарной безопасности регламентирует классификацию зданий по степени огнестойкости, конструктивной и функциональной пожарной опасности. По пожарной опасности помещение и здание возможно отнести к классу Д, т.е. к помещениям, в которых находятся (обращаются) негорючие вещества и материалы в холодном состоянии.

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

- использование только исправного оборудования;
- проведение периодических инструктажей по пожарной безопасности;
- отключение электрооборудования, освещения и электропитания при предполагаемом отсутствии обслуживающего персонала или по окончании работ;
- содержание путей и проходов для эвакуации людей в свободном состоянии.

Основными видами защиты различных объектов от пожаров, являются средства сигнализации и пожаротушения. В рассматриваемом здании предусмотрена электрическая пожарная сигнализация, позволяющая быстро и точно указать место возникновения пожара. Сигнализация обеспечивает

автоматический ввод в действие предусмотренных на объекте средств пожаротушения и дымоудаления.

В качестве средств пожаротушения используются пожарные краны, находящиеся в коридоре, а также передвижной углекислотный огнетушитель типа ОП-1. Огнетушитель порошковый ОП-1 предназначен для тушения возгорания твердых, жидких и газообразных веществ (класса А, В, С или В, С в зависимости от типа применяемого порошка).

Необходимость разработки плана эвакуации людей в случае пожара, инструкций к нему, а также проектирование системы оповещения людей о пожаре в школах, назначение лиц имеющих право на её включение регламентированы п.п.16,17,102 ППБ 01-03. План эвакуации из рассматриваемого офисного помещения, изображен на рисунке 5.2.



Рисунок 5.2 – План эвакуации при пожаре и других ЧС из помещений административного здания



### 5.3 Экологическая безопасность

Охрана окружающей среды – это комплексная проблема и наиболее активная форма её решения: сокращение вредных выбросов промышленных предприятий через полный переход к безотходным или малоотходным технологиям производства. Охрану природы можно представить как комплекс государственных, международных и общественных мероприятий, направленных на рациональное использование природы, восстановление, улучшение и охрану природных ресурсов.

Основными факторами, обуславливающим необходимость обращения особого внимания вопросам охраны окружающей среды, являются следующие:

- Токсичность или другое физиологическое действие порошков ряда металлов и неметаллов, газов применяемых в производстве;
- Взрывоопасность и пожароопасность некоторых материалов и газов;
- Слив кислот, щелочей, солей отходов вредных веществ в общую систему канализации;
- Пыль на рабочем месте.

В настоящее время на первый план выдвигаются задачи борьбы с загрязнением атмосферы, так как от их решения в значительной мере зависит здоровье людей. Охрана атмосферы включает в себя:

- Уменьшение и полное прекращение выбросов вредных веществ в атмосферу;
- Сохранение и увеличение биомассы производителей кислорода и поглотителей углекислоты;
- Сохранение и восстановление оптимальной циркуляции атмосферы в региональном масштабе;
- Утилизация отходов вредных производств [22].

Многие предприятия сейчас внедряют новейшие технологии в процесс эксплуатации, отчистки и утилизации отходов производства. Так, внедрение

электрооборудования, ПЭВМ, различных средств вычислительной техники значительно упрощают процесс проектирования, эксплуатации, а также утилизации и защиты природы от вредных воздействий человечества. Например, инженер, использует электронные пакеты обработки и носители информации, что значительно сокращает применение бумаги, а значит и вырубку тысячи гектаров леса. Рост энергопотребления приводит к таким экологическим нарушениям, как глобальное потепление климата, загрязнение атмосферы и водного бассейна Земли вредными и ядовитыми веществами, опасность аварий в ядерных реакторах, изменение ландшафта Земли. Целесообразным является разработка и внедрение систем с малым потреблением энергии. Проблему с выбросом перегоревших люминесцентных ламп можно частично решить при выполнении требований утилизации соответствующих ламп.

#### **5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

При возникновении возгорания необходимо немедленно прекратить работу, отключить электрооборудование, позвонить в подразделение пожарной охраны по телефону 01 или 101, 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 [23].

Офисное помещение расположено в городе Томск с континентально циклоническим климатом и природные явления (землетрясения, наводнения, засухи, ураганы и т. д.), в данном городе отсутствуют.

Возможными ЧС на объекте в данном случае, могут быть сильные морозы и диверсия. Для Сибири в зимнее время года характерны морозы и метели. В результате порывов ветра могут быть обрывы линий электропитания, из-за чего возможны перебои в электроснабжении; перегрузки, которые могут стать причиной пожара. Для предотвращения подобных ситуаций необходима организация системы аварийного электропитания, по возможности проведение линии электроснабжения под землей. Низкие температуры могут привести к авариям систем теплоснабжения. В случае переморозки труб должны быть предусмотрены запасные обогреватели. Их количества и мощности должно хватать для того, чтобы работа на производстве не прекратилась.

Также рекомендуется организация дополнительного служебного транспорта для лучшего сообщения, перемещения сотрудников и мобильности их в достижении аварийных участков.

В последнее время, в связи с внешней политикой страны, возможны проявления диверсии. Угрозы могут быть как ложными, так и действительными, поэтому необходимы меры предосторожности по этому поводу. В качестве мер безопасности могут быть предприняты следующие действия – установка системы видеонаблюдения и круглосуточной охраны, сохранение конфиденциальной информации об охранной системе. Необходимо так же проводить информирование должностных лиц и тренировки по отработке действий на случай экстренной эвакуации.

## Заключение

В ходе выполнения работы была рассмотрена микроструктура наплавленных нержавеющей сталей. В ходе просмотра структуры сделали вывод что структура является неравновесной мартенситной, с большим скоплением интерметаллидов карбидов хрома. Они выделяются из-за неравномерного термического воздействия. Для уменьшения выделения интерметаллидов нужно проработать режимы наплавки.

По итогам выполнения раздела финансов была проведена оценка экономической эффективности ресурсоэффективности проекта. По результатам расчета экономических показателей эффективности, можно сделать вывод о том, что проект является инвестиционно-привлекательным. Данный проект имеет хорошие экономические показатели.

В разделе социальной защиты были рассмотрены и проанализированы опасные и вредные факторы, которые могут оказывать воздействие на обслуживающий персонал исследовательской лаборатории, а также средства защиты от этих факторов. При выполнении исследовательской работы в лаборатории существует вероятность воздействия таких вредных производственных факторов, как повышенный уровень шума, повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека, недостаточная освещенность, контакт человека с реактивом для травления образцов, отклонение показателей микроклимата.

В результате анализа были проработаны решения, обеспечивающие безопасность работников. Даны рекомендации по обеспечению оптимальных условий труда и охране окружающей среды.

## Список публикаций студента

1. Стрелкова И.Л., Клименов В.А. Исследование процесса электронно-лучевой наплавки нержавеющей проволокой в условиях аддитивных технологий. // XXI Международная научная конференция студентов и молодых ученых «Современные техники и технологии» (СТТ-2015) (в печати).