

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

---

Школа Инженерная школа ядерных технологий

Направление подготовки 03.03.02 «Физика»

Отделение школы (НОЦ) Отделение экспериментальной физики

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Особенности формирования микроструктуры и механических свойств объемных изделий титанового сплава ВТ6, полученных методом электронно-лучевого сплавления</b>

УДК 669.295.5:004.925.84

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0Б41	Акимченко Игорь Олегович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Панин А.В.	д. ф.-м.н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Меньшикова Е.В.	К.ф.н		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Федорчук Ю.М.	Д.т.н.		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Заведующий отделения ЭФ	Лидер А.М.	К.ф.-м.н.		

Томск – 2018 г.

## Запланированные результаты обучения по программе

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

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

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

---

Школа базовой инженерной подготовки  
Направление подготовки 03.03.02 «Физика»  
Отделение школы (НОЦ) экспериментальной физики

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

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
ОБ41	Акимченко Игорь Олегович

Тема работы:

<b>Особенности формирования микроструктуры и механических свойств объемных изделий титанового сплава ВТ6, полученных методом электронно-лучевого сплавления</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	31.01.2018, № 533/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<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>	Объемные изделия титанового сплава ВТ6, изготовленные методом электронно-лучевого сплавления.
--	---

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Обзор литературных источников;</li> <li>– Исследование структуры и механических свойств образцов, полученных методом электронно-лучевого сплавления</li> <li>– Анализ полученных результатов;</li> <li>– Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение;</li> <li>– Социальная ответственность;</li> <li>– Заключение.</li> </ul>
<p><b>Перечень графического материала</b></p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Рентгенограмма напечатанных образцов</li> <li>– Структура поверхности напечатанных образцов</li> </ul>
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b></p>	
<p><b>Раздел</b></p>	<p><b>Консультант</b></p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Федорчук Юрий Митрофанович, профессор отделения общетехнических дисциплин</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Меньшикова Екатерина Валентиновна, доцент отделения социально-гуманитарных наук</p>
<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p>	
<p> </p>	

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

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<p>Профессор ОЭФ ИЯТШ ТПУ</p>	<p>Панин А.В.</p>	<p>д.ф.-м.н.</p>	<p> </p>	<p> </p>

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
<p>0Б41</p>	<p>Акимченко Игорь Олегович</p>	<p> </p>	<p> </p>

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
0Б41	Акимченко Игорь Олегович

<b>Институт</b>	<b>Физико-технический</b>	<b>Кафедра</b>	<b>Общей физики</b>
<b>Уровень образования</b>	бакалавр	<b>Направление/специальность</b>	03.03.02 Физика / Физика конденсированного состояния

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Стоимость материалов и оборудования Зарботная плата участников проекта</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Нормы рабочего времени</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Ставка налога отчислений во внебюджетные средства</i>

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

1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	<i>SWOT - анализ</i>
2. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	<i>Планирование НТИ Подсчет бюджета</i>

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

1. <i>Матрица SWOT</i>
2. <i>Альтернативы проведения НТИ</i>
3. <i>График проведения и бюджет НТИ</i>
4. <i>Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ</i>

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

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент отделения социально-гуманитарных наук	Меньшикова Е.В.	К.ф.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
0Б41	Акимченко Игорь Олегович		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
0Б41	Акимченко Игорь Олегович

<b>ШКОЛА</b>		<b>Отделение</b>	
<b>Уровень образования</b>	Бакалавр	<b>Направление/специальность</b>	03.03.02 Физика / Физика конденсированного состояния

**Тема дипломной работы: «Особенности формирования микроструктуры и механических свойств объемных изделий титанового сплава ВТ6, полученных методом электронно-лучевого сплавления»**

<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Лаборатория находится в институте физики прочности и материаловедения СО РАН, оборудована письменным столом, компьютером, оргтехникой
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p><b>1. Производственная безопасность</b></p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</li> <li>– действие фактора на организм человека;</li> <li>– приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</li> <li>– предлагаемые средства защиты;</li> <li>– (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).</li> </ul> <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– механические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– термические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);</li> <li>– пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).</li> </ul>	<p>К числу вредных факторов на рабочем месте следует отнести присутствие не оптимальных метеоусловий на рабочем месте, периодическую запыленность воздуха, периодическое несоответствие освещенности рабочего места, наличие электромагнитных и радиационных излучений, шум от вентиляции.</p> <p>К числу опасных факторов следует отнести наличие электроисточников,</p> <p>Для всех случаев вредных и опасных факторов на рабочем месте указаны допустимые диапазоны существования, в случае превышения этих значений перечислены средства коллективной и индивидуальной защиты; приведены классы электроопасности помещений и категории пожароопасности помещения.</p>
<p><b>2. Экологическая безопасность:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– защита селитебной зоны</li> <li>– анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> </ul>	Наличие отходов (металлическая стружка, абразивная пыль, черновики бумаги, отработанные картриджи принтера)



<ul style="list-style-type: none"> <li>– анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> <li>– разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</li> </ul>	<p>потребовали разработки методов (способов) утилизации перечисленных отходов.</p>
<p><b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения;</li> <li>– выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>– разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>– разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</li> </ul>	<p>Рассмотрены 2 ситуации ЧС: 1) природная – сильные морозы зимой; 2) техногенная – большая вероятность проведения диверсии; предусмотрены мероприятия по обеспечению устойчивой работы производства.</p>
<p><b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<p>Приведены перечень НТД, используемых в данном разделе, схема эвакуации при пожаре, схема размещения светильников на потолке согласно проведенному расчету.</p>

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	26.02.2018 г.
---	---------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ТПУ	Федорчук Ю.М.	Д.т.н.		26.02.2018 г.

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0Б41	Акимченко Игорь Олегович		26.02.2018 г.

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа: 73 страниц, 10 рисунков, 21 таблиц, 20 источников.

Ключевые слова: аддитивные технологии, электронно-лучевое сплавление, 3D-печать, титановый сплав, режимы печати.

Объектом исследования являются объемный изделия, изготовленные методом электронно-лучевого сплавления.

Цель работы – проведение сравнительного анализа структуры и свойств образцов титанового сплава ВТ6, напечатанных при различных режимах.

В результате проведенной работы была разработана техника изготовления деталей прямолинейной формы, представляющих собой вертикальную стенку. Показано как режимы печати влияют на микроструктуру и механические свойства.

В процессе исследования были получены объемные изделия титанового сплава ВТ6, исследована их структура и механические свойства.

Область применения: полученные результаты могут быть использованы в дальнейших исследованиях аддитивного производства.

## Оглавление

Введение.....	13
1. Классификация аддитивных технологий.....	15
1.1. Bed Deposition.....	15
1.2. Direct deposition.....	16
1.3. Основные технологии.....	17
1.3.1 SLA-технология.....	17
1.3.2 SLM-технология.....	19
1.3.3 EBM-технология.....	20
2. Титановые сплавы.....	21
2.1 Титановые сплавы в аддитивном производстве.....	23
3. Материалы и методы исследования.....	24
4. Экспериментальная часть.....	27
4.1 Влияние стратегии печати на форму стенок.....	27
4.2 Влияние тока пучка на микроструктуру образцов.....	27
4.3 Влияние скорости подачи проволоки на толщину стенки.....	29
4.4 Влияние параметров 3D-печати на микротвердость изделий.....	29
5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение..	31
5.1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	31
5.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования.....	31
5.1.2. Анализ конкурентных технических решений.....	32
5.1.3. SWOT-анализ.....	34
5.2. Планирование научно-исследовательских работ.....	35
5.2.1. Структура работ в рамках научного исследования.....	35
5.2.2. Определение трудоемкости выполнения работ.....	37
5.2.3. Разработка графика проведения научного исследования.....	38

5.2.4. Бюджет научно-технического исследования (НТИ) .....	42
5.2.5. Расчет материальных затрат НТИ .....	42
5.2.6. Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ .....	43
5.2.8. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления) .....	46
5.2.9 Затраты на электроэнергию.....	47
5.2.10. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	48
5.3 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования .....	49
5.3.1. Определение ресурсной эффективности исследования .....	49
6. Социальная ответственность .....	51
6.1 Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды.....	51
6.1.1 Метеоусловия .....	51
6.1.2 Шум .....	53
6.1.3 Освещенность .....	54
6.1.4 Электромагнитные поля .....	60
6.2 Анализ выявленных опасных факторов производственной среды.....	63
6.2.1 Электробезопасность .....	63
6.2.2 Факторы пожарной и взрывной природы .....	65
6.3 Охрана окружающей среды .....	68
6.4 Защита в ЧС .....	69
6.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	70
Заключение .....	72
Список литературы .....	73

## **Введение**

Применение новых технологий — главный тренд последних лет в любой сфере промышленного производства. Каждое предприятие в России и мире стремится создавать более дешевую, надежную и качественную продукцию, используя самые совершенные методы и материалы. Использование аддитивных технологий — один из ярчайших примеров того, как новые разработки и оборудование могут существенно улучшать традиционное производство. Аддитивные технологии производства позволяют изготавливать любое изделие послойно на основе компьютерной 3D-модели. Такой процесс создания объекта также называют «выращиванием» из-за постепенности изготовления. Если при традиционном производстве в начале мы имеем заготовку, от которой оптом отсекаем все лишнее, либо деформируем ее, то в случае с аддитивными технологиями из ничего (а точнее, из аморфного расходного материала) выстраивается новое изделие. В зависимости от технологии, объект может строиться снизу-вверх или наоборот, получать различные свойства. Первые аддитивные системы производства работали главным образом с полимерными материалами[1-3]. Сегодня 3D-принтеры, олицетворяющие аддитивное производство, способны работать не только с ними, но и с инженерными пластиками, композитными порошками, различными типами металлов, керамикой, песком. Аддитивные технологии активно используются в машиностроении, промышленности, науке, образовании, проектировании, медицине, литейном производстве и многих других сферах.

Послойный синтез предполагает проведение построения в среде инертного газа, естественно, с охлаждением каких-то зон, с местной усадкой металла, с захватом молекул газа окружающей среды (азота или аргона), со случайными «пропусками» в работе лазера, с дефектами, связанными с

неоднородностью самого строительного материала – порошка, поскольку он тоже представляет собой неоднородную среду с определенной вариацией дисперсности (обычно от 10 до 100 мкм). В результате этого процесса могут образовываться поры, происходить процессы закалки и возникать какие-либо дефекты. Также высокое влияние имеет режим печати, который включает в себя мощность излучения, скорость сканирования, скорость охлаждения и т.д. И остается вопрос, насколько близкие по структуре и свойствам к исходным материалам можно получить детали.

Целью данной работы является сравнительный анализ структуры и свойств образцов титанового сплава ВТ6, напечатанных при различных режимах.

1. Подготовить образцы;
2. Исследовать микроструктуру с помощью оптического микроскопа;
3. Обработать результаты, полученные с рентгеноструктурного анализа.
4. Измерить микротвердость образцов с помощью твердомера.

## **1. Классификация аддитивных технологий.**

Единой устоявшейся классификации аддитивных технологий пока нет.

Различные авторы подразделяют их:

- по используемым материалам (жидкие, сыпучие, металлопорошковые и т. д.);
- по наличию или отсутствию лазера;
- по типу воздействия на материал (тепловое воздействие, облучение ультрафиолетом или видимым светом т. д.);
- по методам формирования слоя.

Последнее, единственное, что принципиально отличает два вида аддитивных технологий.

### **1.1. Bed Deposition**

Первый вид (рисунок 1): сначала формируют слой порошка и выравнивают его роликом, создавая слой материала определенной толщины; затем выборочно (селективно) обрабатывают порошок в сформированном слое лазером или иным способом, скрепляя частички порошка (сплавляя или склеивая) в соответствии с исходной CAD-моделью. Положение плоскости построения неизменно. При этом часть строительного материала (порошка) остается в созданном слое нетронутой.

К Bed Deposition можно отнести такие известные технологии как:

- Selective Laser Melting (компания SLM Solutions, Германия);
- Direct metal laser sintering (EOS, Германия);
- Electron Beam Melting (Arcam, Швеция);
- LaserCusing (Concept Laser, Германия);
- Solid Phase Laser Sintering (Phenix Systems, Франция);

- InkJet или Binder jetting (ExOne, 3D Systems, США) и ряд других.

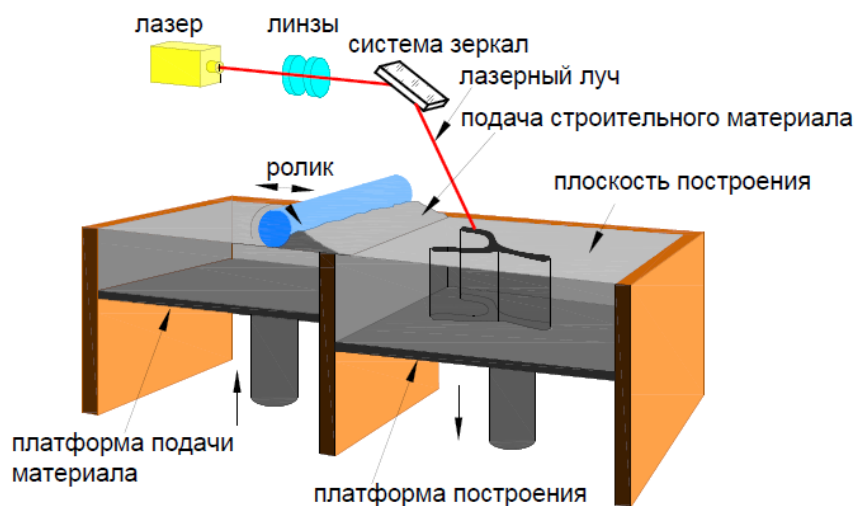


Рисунок 1 – Схема технологии Bed Deposition

## 1.2. Direct deposition.

Второй вид аддитивных технологий – «Direct Deposition» (рисунок 2). В отличие от первого вида материал подается в конкретное место, куда одновременно подводится энергия и где идет процесс формирования детали.

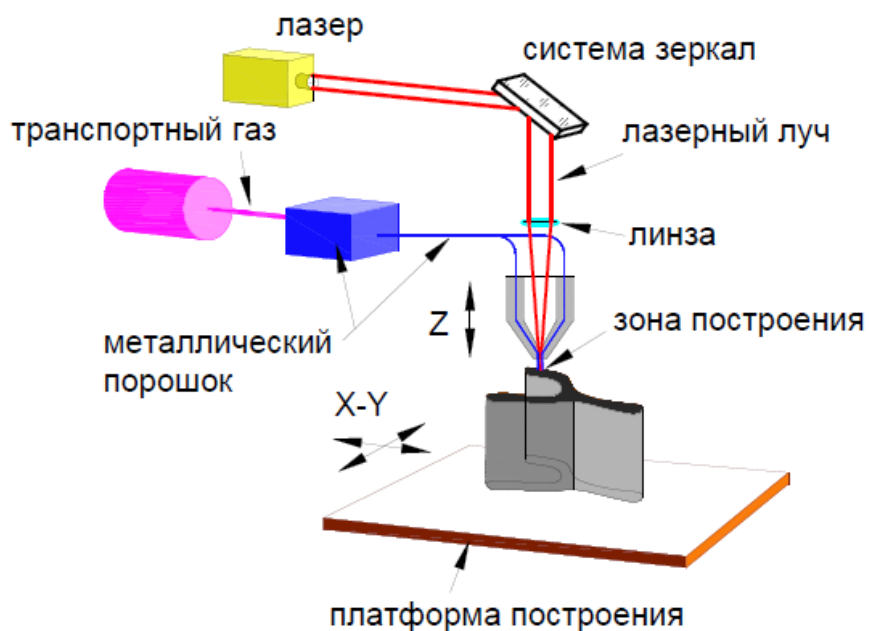


Рисунок 2 – Схема технологии Direct Deposition



К технологии Direct Deposition отнести следующие технологии:

- Direct Metal Deposition (компания POM, США);
- Laser Engineered Net Shape (Optomec, США );
- Direct Manufacturing (Sciaky, США),
- Multiphase Jet Solidification (Fraunhofer IFAM, Германия FDM, США)

и др.

### **1.3. Основные технологии.**

Методы аддитивных технологий позволяют решить такую проблему, как производство деталей любой сложности. Быстрое прототипирование, возможность печати больших конструкций, уменьшение дефектов печати и улучшение механических свойств - вот некоторые из ключевых факторов, которые привели к развитию аддитивных технологий. Наиболее распространенный метод 3D-печати, который в основном использует полимерные нити, известен как fused deposition modelling. Кроме того, селективное лазерное спекание (SLS), селективное лазерное плавление (SLM), электронно-лучевое плавление (EBM), а также струйная печать, контурная обработка, стереолитография, прямое энергетическое осаждение (DED) и производство ламинированных объектов (LOM) являются основными методами аддитивных технологий.

#### **1.3.1 SLA-технология**

Стереолитография (рисунок 3) один из самых ранних методов аддитивного производства, который был разработан в 1986 году [4]. Он использует УФ-излучение (или электронный пучок) для инициирования цепной реакции на слое фотополимера или раствора мономера. Мономеры

(главным образом акриловые или эпоксидные) обладают УФ-активностью и мгновенно превращаются в полимерные цепи после активации (радикализации). После полимеризации образец внутри слоя фотополимера затвердевает. Непрореагировавший материал удаляется после завершения печати. Для получения желаемых механических характеристик можно использовать пост-обработку такую, как нагрев или фотоочистка. Также, как правило, в целях сокращения времени прототипирования при построении степень полимеризацию не доводят до 100 %, поэтому зачастую готовое изделие дополнительно помещают в камеру «дооблучения», где на него воздействуют более мощным световым потоком. SLA печатает высококачественные детали с разрешением до 10 микрометров. С другой стороны, он относительно медленный, дорогой, и диапазон материалов для печати очень ограничен. Кроме того, кинетика реакции и процесс отверждения являются комплексными. Энергия источника света и экспозиции являются основными факторами, контролирующими толщину каждого слоя [4]. SLA может быть эффективно использован для аддитивного производства сложных нанокompозитов [5].

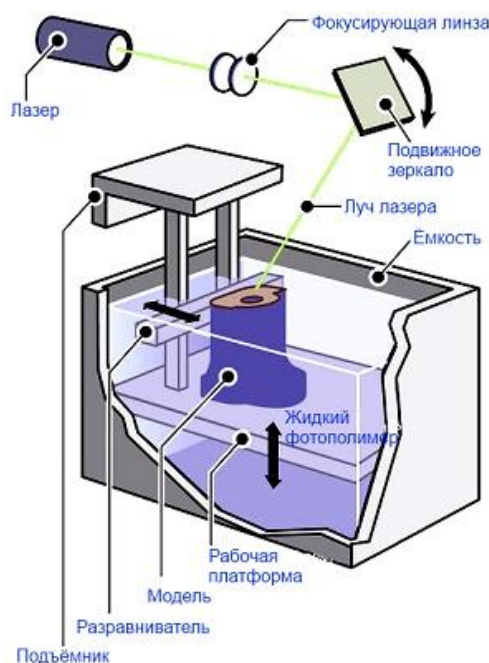


Рисунок 3 – Схема 3D-принтера, работающего по технологии SLA

### 1.3.2 SLM-технология

Выборочная (селективная) лазерная плавка (рисунок 4) (SLM) – метод, в котором для создания трехмерного физического объекта используется лазер высокой мощности (как правило, иттербиевые волоконные лазеры) за счет плавки металлических порошков.

На первом этапе печати цифровая трехмерная модель распределяется на слои толщиной от 20 до 100 микрон. В качестве чертежей для построения физической модели используется готовый файл в стандартном формате STL

Цикл производства состоит из нанесения тонкого слоя порошка на рабочую поверхность. Роль рабочей поверхности, как правило, играет металлический стол, который передвигается в вертикальном направлении. Процесс печати осуществляется в рабочей камере, которая заполняется инертными газами (например, аргоном). Отсутствие кислорода в рабочей камере позволяет избежать окисления расходного материала, что дает возможность печатать такими материалами, как титан.

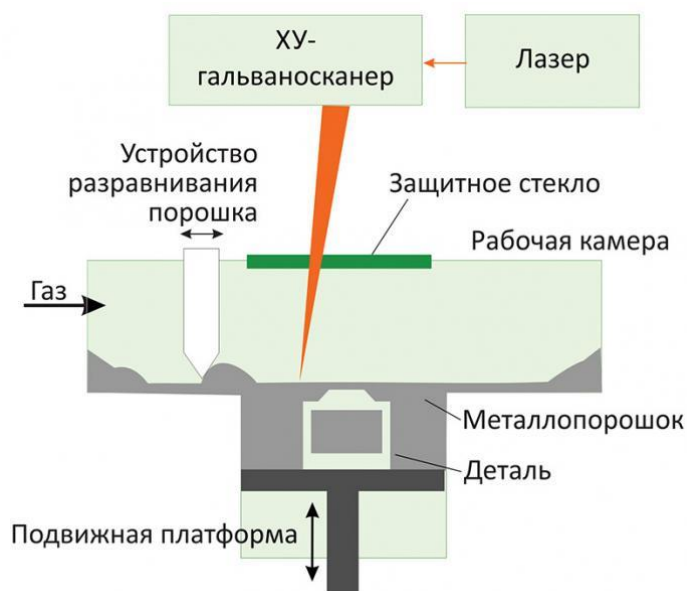


Рисунок 4 – Схема SLM-технологии

Производство трехмерной физической модели осуществляется сплавлением слоев материала, повторяя контуры слоев цифровой модели.

Плавка производится с помощью лазерного луча, направляемого по осям X и Y двумя зеркалами с высокой скоростью отклонения. Мощность лазерного излучателя достаточно высока для плавки частиц порошка в гомогенный материал.

### **1.3.3 EBМ-технология**

Электронно-лучевое сплавление (Electron Beam Melting или EBМ) – способ аддитивного производства металлических изделий. В качестве источников энергии для плавки в этой технологии используются электронные излучатели, так называемые электронные пушки. С помощью электронных пучков высокой мощности в вакуумной камере послойно сплавляют металлические порошки и в итоге получают контуры цифровой модели.

Последовательно этот процесс можно описать следующим образом:

- на специальную платформу насыпают или распыляют металлический порошок и разравнивают его при помощи ножа или валика;
- по координатам, полученным с компьютерной модели, поверхность материала бомбардируется электронами из электронно-лучевой пушки.

Немаловажным здесь является и то, что в одно время можно «облучать» сразу несколько участков материала. Это существенно ускоряет процесс производства изделия.

Вакуум, созданный в камере, имеет давление меньше  $1 \times 10^{-4}$  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.

## 2. Титановые сплавы

Титановые сплавы являются одними из самых важных современных материалов, которые являются ключевыми для повышения производительности в медицине, аэрокосмической промышленности и автомобилестроении [6-10]. Такое широкое применение является результатом отличных сочетаний конкретных механических свойств и превосходной коррозионной стойкости, проявляемой титановыми сплавами [11-16]. Однако, одним из основных недостатков является высокая стоимость титановых сплавов по сравнению с конкурирующими материалами (таблица 1).

Таблица 1 – Стоимость стали, алюминия и титана

	Стоимость материала (\$/кг)		
	Сталь	Алюминий	Титан
Руда	0,04	0,02	0,49(рутил)
Металл	0,22	2,43	12
Слиток	0,33	2,53	20
Лист	0,70- 1,30	2,20-11,00	33,00-110,00

Титан стабилен только в определенных температурных диапазонах. При температуре 882°C, чистый титан подвергается фазовому превращению из низкотемпературной стабильной  $\alpha$ -фазы, с гексагональной плотноупакованной структурой, в  $\beta$ -фазу с объемно-центрированной кубической структурой, который остается стабильным до температуры 1678°C. Основными характеристиками кристаллической структуры являются пластическая деформационная способность и диффузия. Скорость диффузии зависит от микроструктуры решетки. Титан и его сплавы реагируют с несколькими промежуточными элементами, включая кислород, азот и водород. Такие реакции могут возникать при температурах, значительно ниже плавления.

Тип присутствующих фаз, размер и форма зерна, морфология и микроструктура определяют свойства и, следовательно, применение титановых сплавов. Технические сплавы, богатые титаном, можно классифицировать по следующим категориям:  $\alpha$ , около  $\alpha$ ,  $\alpha + \beta$ , около  $\beta$ , метастабильный  $\beta$  и стабильный  $\beta$ , в зависимости от их состава и соотношения количества  $\alpha$ - и  $\beta$ -фаз.

$\alpha$ -титановые сплавы имеют в основном  $\alpha$ -структуру и в зависимости от условий обработки могут иметь разную микроструктурную морфологию зерен, от равноосной до игольчатой (мартенситной). Эти классы титановых сплавов являются предпочтительными для высокотемпературных применений.  $\beta$ -титановые сплавы содержат  $\beta$ -стабилизаторы, что является достаточным условием для обеспечения возможности сохранения  $\beta$ -фазовой микроструктуры при медленном охлаждении. В ином случае  $\beta$ -сплавы обычно термодинамически неустойчивы. Метастабильные  $\beta$ -титановые сплавы обычно имеют более высокую прочность, более высокую ударную вязкость и улучшенную формуемость при комнатной температуре по сравнению с  $\alpha$  и  $\alpha + \beta$  титановыми сплавами.

В настоящее время Ti-6Al-4V (VT6) является наиболее широко используемым высокопрочным титановым сплавом. Он находит широкое применение в аэрокосмической промышленности и медицине. Он также используется в автомобильной, морской и химической промышленности. Контроль и оптимизация морфологии  $\alpha$ -фазы является одной из важных проблем использования сплава. Термомеханическая обработка является очень полезным способом улучшения микроструктуры, например, контроль размера и соотношение сторон ламеллярной фазы, оптимизация фазового отношения  $\alpha$  к  $\beta$ -фазе и контроль морфологии  $\beta$ -фазы. Горячая деформация сплава Ti-6Al-4V в поле  $\beta$ -фазы приводит к относительно крупным  $\beta$  зернам,  $\alpha$  фаза

образуется во время охлаждения, а мартенсит может быть образован при закалке.

## **2.1 Титановые сплавы в аддитивном производстве**

Процессы аддитивных технологий включают в себя послойное изготовление, которое по своей сути приводит к многократным циклам нагрева и охлаждения для нижних слоев. Это, в свою очередь, означает переплавку предыдущего слоя (слоев), а также повторное нагревание и фазовые трансформации для нижележащих слоев.

Производство деталей из титанового сплава включает в себя не только трансформацию из жидкого состояния в твердое ( $\beta$ ), но и переход из ОЦК- $\beta$  в ГПУ  $\alpha$ -фазу при дальнейшем охлаждении. Формирование микроструктуры при аддитивном производстве действительно сложно и зависит от любого изменения параметров процесса, которые влияют на скорость охлаждения и повторный нагрев. Большинство работ по титановым сплавам были сфокусированы на сплаве Ti-6Al-4V (VT6), так как этот сплав хорошо известен своей тенденцией к эпитаксиальному росту и имеет хорошие механические свойства.

Для метода электронно-лучевого сплавления типичны столбчатые  $\beta$ -зерна из-за высоких скоростей охлаждения и температурных градиентов [17]. Другой особенностью типичных микроструктур для VT6 является мартенситная фаза [18], которая появляется в виде пластин.

В работах [19,20] микроструктура напечатанных изделий из титанового сплава VT6 представляет собой  $\beta$ -зерна с внутренними игольчатыми  $\alpha$ -мартенситами.

### 3. Материалы и методы исследования

Материалом исследования являлись изделия прямолинейно формы, представляющие собой вертикальную стенку. Печать изделий осуществлялась из проволоки титанового сплава ВТ6. Состав титанового сплава ВТ6 представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Содержание легирующих элементов в титановом сплаве ВТ6

Химический элемент	Содержание, масс. %
Al	5,3-6,8
Zr	до 0,3
Fe	до 0,3
Si	до 0,15
O	до 0,2
H	до 0,015
C	до 0,15

Перед проведением исследования изготовленные изделия были разрезаны, подготовлены механическим шлифованием на абразивной бумаге, полированием алмазной пастой и травлением в растворе азотной кислоты.

3D-печать осуществлялась на электронно-лучевой установке в Институте физики прочности и материаловедения СО РАН, рабочее давление в которой  $1.3 \times 10^{-3}$  Па и значение ускоряющего напряжения ( $U$ ) составляло 30 кВ. В процессе 3D-печати прямолинейной детали электронно-лучевая пушка и механизм подачи проволоки зафиксированы, а стол с закрепленной подложкой и деталью движется в горизонтальной плоскости так, что расстояние между катодом электронно-лучевой пушки и местом расплавки материала остаётся неизменным и равно 630 мм. В то время, как по мере наплавления слоя, стол с подложкой опускается вниз.



Были рассмотрены и реализованы 2 стратегии печати. Первая стратегия печати (рисунок 5 (а)) включала в себя движение столика по горизонтали с опусканием столика с подложкой на краях стенки с дальнейшим движением в обратную сторону по горизонтали. Вторая стратегия печати (рисунок 5 (б)) представляет собой одновременное движение столика как по вертикали, так и по горизонтали на протяжении всего этапа сканирования.

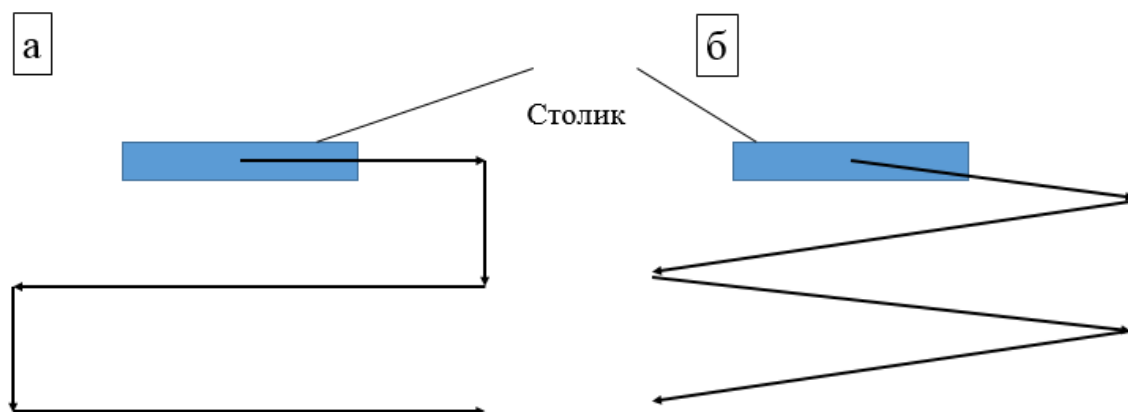


Рисунок 5 – Схема движения столика с опусканием вниз на краях (а) и на всей длине печати (б)

В процессе печати варьировались следующие параметры: ток пучка ( $I$ ) в пределах 16...18мА, скорость подачи проволоки ( $V_w$ ) – 7,8...17,9 мм/с, скорость движения столика по оси  $X$  ( $V_x$ ) – 4,3...7,1, скорость движения столика по оси  $Z$  ( $V_z$ ). Все режимы представлены в таблице 3. Для всех режимов печати была выбрана вторая стратегия движения столика (рисунок 2 (б)).

Таблица 3 – Режимы печати

№ режима	$U$ , кВ	$I$ , мА	$V_x$ , мм/с	$V_z$ , мм/с	$V_w$ , мм/с
I	30	16	4,30	0,05	7,80
II	30	18	5,60	0,07	10,00

III	30	18	7,10	0,13	17,90
IV	30	17	5,60	0,10	10,00

Измерение микротвердости исследуемых образцов выполнялось на микротвердомере ПМТ-3 с использованием пирамидки Викерса. Нагрузка на индентор составляла 50 г. Выдержка составила 10 с.

Металлографические исследования проводились на оптическом микроскопе ZEISS AXIOVERT 40.

Анализ структуры и фазового состава производился на дифрактометре SHIMADZU XRD-7000 с  $\text{Co } k_{\alpha}$  источником.

## 4. Экспериментальная часть

### 4.1 Влияние стратегии печати на форму стенок

Сопоставлении внешнего вида образцов титанового сплава ВТ6, изготовленных разными стратегиями печати, позволяет наглядно продемонстрировать влияние стратегии печати на форму 3D изделий.

В случае использования первой стратегии печати происходит расплавление металла у краёв стенки, и края растекались (рисунок 6 (а)). При печати объемных изделий со второй стратегией такого не наблюдается (рисунок 6 (б)).

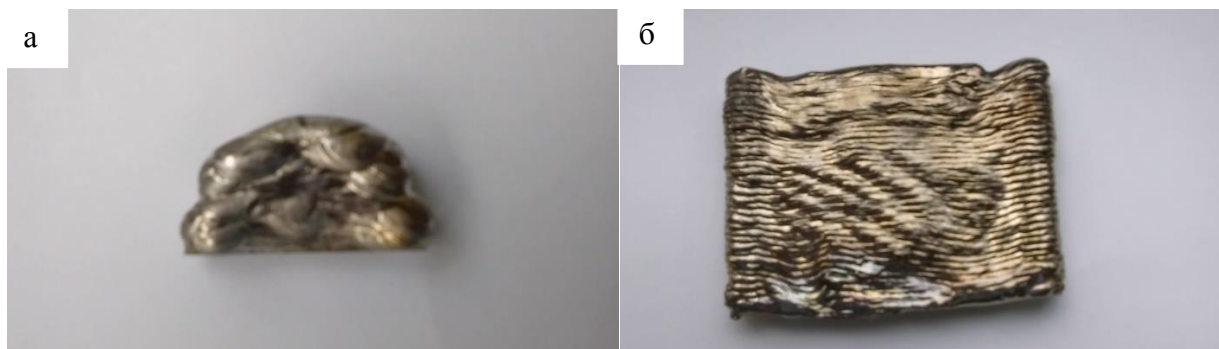


Рисунок 6 – Стенки, напечатанные с помощью метода электронно-лучевого сплавления с использованием первой стратегии печати (а) и второй стратегии печати (б)

### 4.2 Влияние тока пучка на микроструктуру образцов

Сравнивая снимки шлифа образцов, представленные на рисунке 7, микроструктура на всех изображениях представляет собой столбчатые зерна с игольчатой морфологией внутри. Из этого можно сделать вывод, что ток пучка, изменяемый в диапазоне 16...18 мА, не оказывает влияние на микроструктуру образцов.

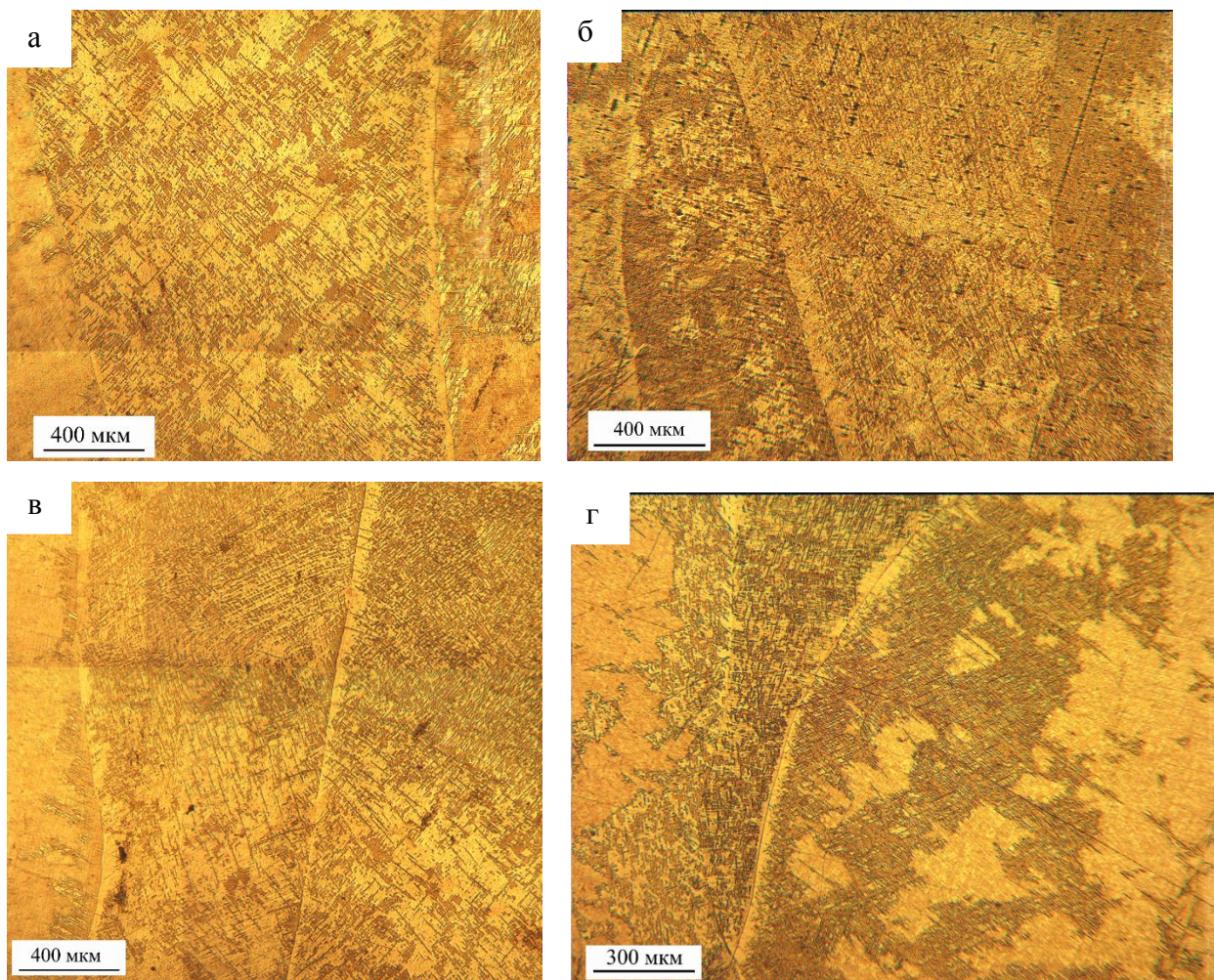


Рисунок 7 – Снимки микроструктуры шлифов грани стенок, изготовленных методом электронно-лучевого сплавления разными режимами печати (I режим – а, II режим – б, III режим– в, IV режим – г).

Несмотря на то, что печать осуществлялась послойно, на шлифе образцов следов сплавления слоев не обнаружено.

Из рентгенограммы (рисунок 8) видно, что в напечатанных образцах присутствуют альфа и бета фазы титана.

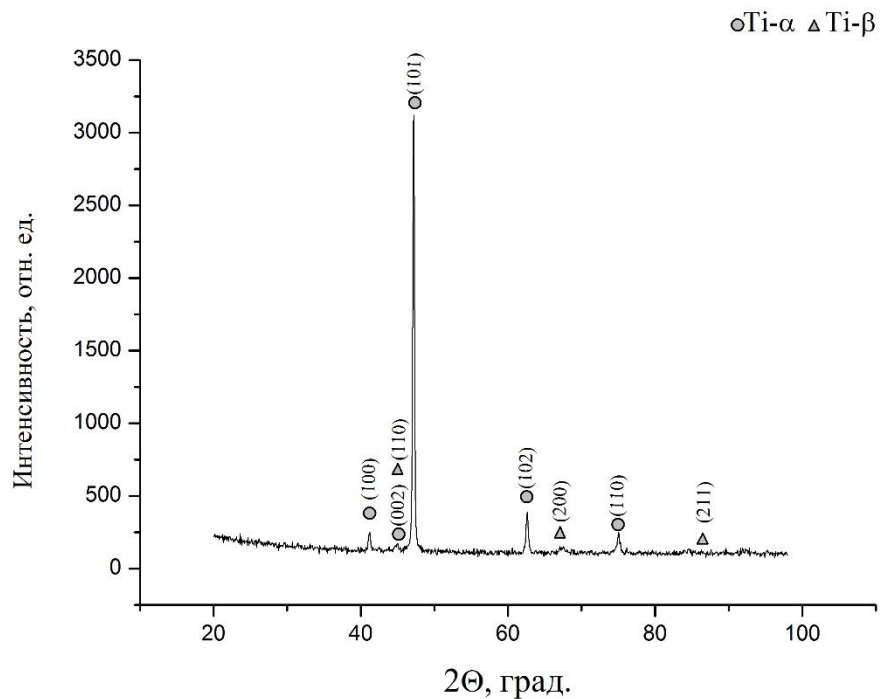


Рисунок 8 – Рентгенограмма напечатанного при токе пучка 18 мА образца титанового сплава ВТ6

#### 4.3 Влияние скорости подачи проволоки на толщину стенки

Сравнительный анализ образцов ВТ6 напечатанных по режимам I, II, III и IV продемонстрировал влияние скорости подачи проволоки на толщину изделия. Толщина стенок при печати I, II и III режимом составила 4 мм, а при печати IV режимом – 5 мм. Микроструктура при этом как показано в пункте 5.2 не отличается.

#### 4.4 Влияние параметров 3D-печати на микротвердость изделий

Значения микротвердости напечатанных образцов приведены в таблице 4.



Таблица 4 – Микротвердость образцов титанового сплава ВТ6, напечатанных методом электронно-лучевого сплавления

№	Режим	H, МПа
I	I=16мА, V <sub>x</sub> =4,3 мм/с, V <sub>z</sub> =0,05 мм/с, V <sub>w</sub> =7,8 мм/с	3200
II	I=18мА, V <sub>x</sub> =5,6 мм/с, V <sub>z</sub> =0,07 мм/с, V <sub>w</sub> =10 мм/с	3451
III	I=18мА, V <sub>x</sub> =7,1 мм/с, V <sub>z</sub> =0,13 мм/с, V <sub>w</sub> =17,9 мм/с	2912
IV	I=17мА, V <sub>x</sub> =5,6 мм/с, V <sub>z</sub> =0,1 мм/с, V <sub>w</sub> =10 мм/с	4326

Микротвердость показывает определенный разброс для всех режимов печати, и никакая явная зависимость значений микротвердости от параметров печати не может быть выявлена.

## **5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

В процессе поиска источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов, оценка коммерческой ценности работы является необходимым условием. При этом разработчики должны представить настоящее состояние и перспективы проводимых ими научных исследований.

Помимо превышения технических параметров над предыдущими разработками необходимо понимать коммерческую привлекательность научного исследования.

Целью выполнения финансово-экономической части выпускной квалификационной работы является формирование навыков оценки результата научной работы и поиск источников финансирования для проведения научного исследования.

Для достижения обозначенной цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) провести SWOT-анализ данного исследования;
- 2) определить структуру работ в рамках научного исследования;
- 3) определить трудоемкость выполнения работ;
- 4) разработать график проведения научного исследования;
- 5) оценить бюджет научно-технического исследования.

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

#### **5.1.1. 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).

В рамках данной научно-исследовательской работы был проведен сравнительный анализ механических свойств и микроструктуры объемных изделий титанового сплава ВТ6, которые были получены методом электронно-лучевого сплавления разными режимами печати. Целью измерений стало выявление механических свойств, 3D-напечатанных образцов из титанового сплава ВТ6.

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.

### **5.1.2. Анализ конкурентных технических 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. В таблице 5 представлена оценочная карта, где Ф – метод электронно-лучевого сплавления, К1 – метод селективного лазерного сплавления, К2 – метод селективного лазерного спекания.

Таблица 5 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
1. Повышение производительности труда пользователя	0,1	5	3	3	0,5	0,3	0,3
2. Надежность	0,1	4	4	4	0,4	0,4	0,4
3. Скорость печати	0,3	5	2	2	1,5	0,6	0,6
4. Качество печати	0,1	4	4	3	0,4	0,4	0,3
5. Возможность подключения в сеть ЭВМ	0,1	5	5	5	0,5	0,5	0,5
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
1. Цена	0,1	3	2	2	0,3	0,2	0,2
2. Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	4	4	4	0,4	0,4	0,4
3. Наличие сертификации разработки	0,1	3	3	3	0,3	0,3	0,3
<b>Итого</b>	1	33	27	26	4,3	3,1	3

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в таблице, подбираются, исходя из 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:

$$K = \sum B_i \cdot B_i ,$$

где  $K$  – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;  $B_i$  – вес показателя (в долях единицы);  $B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

$$K_{\phi} = 4,3$$

$$K_{K1} = 3,1$$

$$K_{K2} = 3,0$$

Как видно из рассчитанных значений, наиболее конкурентоспособен метод электронно-лучевого сплавления.

### 5.1.3. SWOT-анализ

**SWOT** – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

В таблице 6, представлены SWOT-анализа.

Таблица 6 – Матрица SWOT

	<b>Сильные стороны научно- исследовательского проекта:</b> С1. Легкий интерфейс использования С2. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями С3. Процесс работы на установке автоматизирован С4. Изготовление деталей с погрешностью в размерах на $\pm 0,2$ мм на каждые 100 мм (высокоточная производство)	<b>Слабые стороны научно- исследовательского проекта:</b> Сл1. Установка не транспортабельна из-за больших габаритов Сл2. Изготовление деталей исключительно в вакууме Сл3. Длительный процесс подготовки установки к работы из-за больших температур в камере Сл4. Большие затраты на приобретение расходного материала

<p><b>Возможности:</b>  В1. Легкость управления мощностью электронного пучка позволяет использовать разнообразные режимы плавки  В2. Возможность использовать расходный материал в виде проволоки и порошка  В3. Технология может применяться в любом мелкосерийном производстве.  В4. В аэрокосмической сфере детали, изготовленные методом электронно-лучевого сплавления, отличаются высокой прочностью и имеют небольшой вес</p>	<p>Производство деталей как проволокой, так и порошком.  Относительно невысокая погрешность печати изделия.  Высокая производительность при производстве деталей</p>	<p>Для повышения спроса на изготовленную продукцию необходимы квалифицированные кадры среди потенциальных потребителей</p>
<p><b>Угрозы:</b>  У1. Периодическая не исправность электронной пушки  У2. Недостаток квалифицированных специалистов  У3. Влияние человеческого фактора на качество производства.  У4. Несвоевременное финансирование научного исследования при дальнейшем развитии проекта</p>	<p>Периодическая неисправность электронной пушки может способствовать к изготовлению брака, так как процесс автоматизирован, исправить это уже во время работы невозможно.</p>	<p>Для привлечения финансирования и клиентов требуется отработанная технология производства и патент технологии печати</p>

## 5.2. Планирование научно-исследовательских работ

### 5.2.1. 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)

Таблица 7 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

<b>Основные этапы</b>	<b>№ работ</b>	<b>Содержание работы</b>	<b>Должность исполнителя</b>
Разработка задания на НИР	1	Составление и утверждение задания	Руководитель, студент-дипломник
<b>Проведение НИР</b>			
Выбор направления исследования	2	Изучение поставленной задачи и поиск материалов по теме	Студент-дипломник
	3	Выбор методов исследования	Руководитель, студент-дипломник
	4	Календарное планирование работ	Руководитель, студент-дипломник
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Подготовка установок для проведения исследований	Руководитель, студент-дипломник
	6	Проведение экспериментов	Студент-дипломник
Обобщение и оценка результатов	7	Анализ полученных результатов, выводы	Руководитель, студент-дипломник

	8	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, студент-дипломник
Оформление полученных в НИР результатов	9	Составление пояснительной записки выпускной квалифицированной работы бакалавра	Студент-дипломник

### 5.2.2. Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

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

$$t_{ож} = \frac{3t_{min} + 2t_{max}}{5},$$

где  $t_{ож}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения работы чел.-дн.;  $t_{min}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;  $t_{max}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_p$ , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое

вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_p = \frac{t_{ож}}{Ч},$$

где  $T_p$  – продолжительность одной работы, раб. дн.;  $t_{ож}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.  $Ч$  – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

### 5.2.3. 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:

$$T_k = T_p \cdot k_{кал},$$

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

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}},$$

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.

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,48$$

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе  $T_{\text{к}}$  необходимо округлить до целого числа.

Таблица 8 – Временные показатели проведения ВКР

№	Исполнители	Продолжительность работ				
		$t_{\text{min}}$ , чел-дн	$t_{\text{max}}$ , чел-дн	$t_{\text{ож}}$ , чел-дн	Тр, раб. дн	Тк. кал. дн
1	Руководитель, студент- дипломник	1	4	2	1	1
2	Студент- дипломник	15	40	25	25	37
3	Руководитель, студент- дипломник	5	10	7	4	5
4	Руководитель, студент- дипломник	4	12	7	4	5
5	Руководитель, студент- дипломник	10	25	16	8	12
6	Студент- дипломник	15	25	19	19	28
7	Руководитель, студент- дипломник	5	10	7	4	5
8	Руководитель, студент- дипломник	2	5	3	2	2
9	Студент- дипломник	2	7	4	4	6

На основе таблицы 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 9 – Календарный план проведения НИР

Этапы	Вид работы	Исполнители	Т <sub>к</sub> дн.	Продолжительность выполнения работ			
				Февр.	Март	Апр.	Май
1	Составление и утверждение задания	Руководитель , студент-дипломник	2				
2	Изучение поставленной задачи и поиск материалов по теме	Студент-дипломник	37				
3	Выбор методов исследования	Руководитель , студент-дипломник	5				
4	Календарное планирование работ	Руководитель , студент-дипломник	5				
5	Подготовка установок для проведения исследований	Руководитель , студент-дипломник	12				
6	Проведение экспериментов	Студент-дипломник	14				
7	Анализ полученных результатов, выводы	Руководитель , студент-дипломник	5				
8	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель , студент-дипломник	2				

9	Составление пояснительной записки	Студент- дипломник	6					
---	---	-----------------------	---	--	--	--	--	--

  - студент-дипломник, 
   - руководитель.

#### **5.2.4. Бюджет научно-технического исследования (НТИ)**

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- 1) материальные затраты НТИ;
- 2) затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- 3) основная заработная плата исполнителей темы;
- 4) дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- 5) отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- 6) затраты научные и производственные командировки;
- 7) контрагентные расходы;
- 8) накладные расходы.

Остановимся более подробно на расчетах основных затрат.

#### **5.2.5. Расчет материальных затрат НТИ**

Данная статья включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта. В эту статью входят затраты на сырье, материалы, используемые в процессе НИР, 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:

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

где  $m$  – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;  $N_{расxi}$  – количество материальных ресурсов  $i$ -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, 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.);  $k_T$  – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Транспортные расходы принимаются в пределах 15-25% от стоимости материалов. Материальные затраты, необходимые для данной разработки, занесены в таблицу 10.

Таблица 10 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед. руб.	Затраты на материалы, (Z <sub>м</sub> ), руб.
Проволока	Кг	3	6500	19500
Транспортные расходы				3500
Итого:				23000

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

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.

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. Амортизация оборудования вычисляется по формуле:

$$A = \frac{C * N_{\text{дн}}}{N_{\text{лпн}} * 365},$$

где C – стоимость оборудования, N<sub>дн</sub> - количество дней использования оборудования при выполнении проекта, N<sub>лпн</sub> – количество лет полезного использования. Результаты расчетов представлены в таблице 11.

Таблица 11 – Амортизационные расходы

Наименование оборудования	Цена единицы оборудования, тыс.руб.	Срок полезного использования, лет	Длительность использования, дн.	Амортизация, руб.
Электронно-лучевая установка	4500000	10	6	12385,32
Дифрактометр Shimadzu XRD-7000	15500000	7	2	20314,55
Микротвердомер ПМТ – 3	145000	10	2	133,03

Оптический микроскоп ZEISS AXIOVERT 25	500000	10	2	458,72
Итого:				33291,61

5.2.7. Основная и дополнительная заработная плата исполнителей темы  
Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением проекта, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату. Заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп},$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата;  $Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата (12-20 % от  $Z_{осн}$ ).

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

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p,$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата одного работника;  $T_p$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (табл. );  $Z_{дн}$  – среднедневная заработная плата работника, руб. Для профессора она составляет 36800 руб., для инженера – 9893 руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d},$$

где  $Z_m$  – месячный должностной оклад работника, руб.;  $M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года, при отпуске в 48 раб. дней  $M=11,2$  месяца, 5-дневная неделя;  $F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (таблица 12).

Таблица 12 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени		Руководитель	Студент-дипломник
Календарное число дней		365	365
Количество нерабочих дней	- выходные дни	104	104
	- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени	- отпуск	24	24
	- невыходы по болезни	5	5
Длительный годовой фонд рабочего времени		218	218

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{тс} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p,$$

где  $Z_{тс}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб.;  $k_{пр}$  – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от  $Z_{тс}$ );  $k_d$  – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15-20 % от  $Z_{тс}$ );  $k_p$  – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20-30% от тарифа или оклада. Расчет основной заработной платы сводится в таблице 13. Таблица 13 – Расчет основной заработной платы.

Исполнители	Оклад	$k_{пр}$	$k_d$	$k_p$	$Z_m$ , руб.	$Z_{дн}$ , руб.	Тр, раб.дн.	$Z_{осн}$ , руб.
Руководитель	36800	0,3	0,15	1,3	69368	3564	21	74841
Студент	9893	0,3	0,15	1,3	18648	958	69	66107
Итого, руб.:	140948							

### 5.2.8. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{доп} + З_{осн}),$$

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

На 2014 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2014 году водится пониженная ставка – 27,1%.

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в табличной форме (таблица 14).

Таблица 14 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Заработная плата, руб.
Руководитель	57806,67
Студент	37296,61
Коэффициент внебюджетных отчислений	0,271
$З_{внеб}$ , руб:	25773

### 5.2.9 Затраты на электроэнергию

Расход расхода электроэнергии производится по формуле:

$$З_{эл} = P \cdot t \cdot Ц,$$

где  $P$  – мощность установки,  $t$  – время работы на установке,  $Ц$  – цена 1 кВт, равная 5,8 руб.

Таблица 15 – Расчет затрат на электроэнергию

Наименование оборудования	Мощность, кВт/Ч.	Стоймость 1 кВт/час, руб.	Кол-во часов	Затраты элеткроэнергии, руб.
Электронно-лучевая установка	50	5,8	48	13920
Дифрактометр Shimadzu XRD-7000	2		16	185,6
Микротвердомер ПМТ – 3	0,5		16	46,4
Оптический микроскоп ZEISS AXIOVERT 25	0,5		16	46,4
Итого, руб.:				14198,4

### 5.2.10. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Расчитанная 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 16.

Таблица 16 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
Материальные затраты НТИ	23000
Амортизационные расходы	33291,61
Затраты по заработной плате исполнителей темы	140948
Отчисления во внебюджетные фонды	25773
Затраты на электроэнергию	14198,4
Бюджет затрат НТИ	237211,01



## **5.3 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования**

### **5.3.1. Определение ресурсной 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:

1) вариант с закупкой оборудования у сторонних организаций и последующее выполнение работ по его самостоятельному монтажу и использованию в рамках НТИ;

2) вариант с закупкой оборудования и заказом на выполнение работ по его монтажу и вводу в эксплуатацию у сторонней организации.

Основным лимитирующим фактором в представленном НТИ являлась его стоимость. Покупка оборудования у сторонней организации сократила бы рабочее время исполнителей темы, однако, привнесла бы дополнительную статью расхода в размере 5920000 руб. Третий представленный вариант является еще более невыгодным в отношении стоимости проекта. В затраты в этом случае войдут основная и дополнительная заработные платы для высококвалифицированных инженеров, соответствующие отчисления во

внебюджетные фонды, а также затраты на оформление для них производственных командировок.

Таблица 17 – Сравнительная оценка вариантов исполнения исследования

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	(Исп.1) Выполнение работы в рамках НТИ с соответствующими затратами (реализованное исполнение)	(Исп.2) Покупка оборудования и выполнение остальной работы в рамках НТИ	(Исп.3) Покупка оборудования и заказ на выполнение работы сторонней организацией
Цена	0,4	3	2	1
Удобство эксплуатации	0,1	5	5	5
Точность	0,2	4	2	5
Помехоустойчивость	0,15	4	4	4
Надежность	0,15	4	3	5
Итого:	1	20	16	20

Проведем расчет интегрального показателя ресурсоэффективности для каждого варианта исполнения:

$$I_{p-исп1} = 3 \cdot 0,4 + 5 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,15 = 3,7$$

$$I_{p-исп2} = 2 \cdot 0,4 + 5 \cdot 0,1 + 2 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,15 = 2,75$$

$$I_{p-исп3} = 1 \cdot 0,4 + 5 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,15 = 3,05$$

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

## **6. Социальная ответственность**

### **6.1 Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды**

В лаборатории, где расположены рабочие места за персональными компьютерами могут быть следующие вредные факторы: наличие - а) некомфортных метеоусловий; б) шума; в) недостаточной освещенности; г) электромагнитных полей.

#### **6.1.1 Метеоусловия**

Микроклимат на рабочем месте зависит от ряда многих факторов, в том числе таких, как теплофизические особенности технологического процесса и вида используемого оборудования, климат, сезон или период года, число работников, а также условий отопления и вентиляции, размеров и состояния производственного помещения и др. Микроклимат, особенно температура воздуха и тепловое излучение, может меняться на протяжении рабочего дня, быть различным на отдельных участках одного и того же помещения. Кроме этих параметров, являющихся основными, не следует забывать об атмосферном давлении, которое влияет на парциальное давление основных компонентов воздуха (кислорода и азота), а, следовательно, и на процесс дыхания.

Требования, предъявленные к воздуху, т.е. оптимальные и допустимые значения показателей микроклимата в производственных помещениях для работ разной категории тяжести и в зависимости от периода года, представлены в санитарных нормах проектирования промышленных предприятий СН 245-71 и ГОСТ 12.11.005-88 ССБТ «Общие санитарно-технические требования к воздуху рабочей зоны». В таблице 18 представлены

допустимые параметры рабочей зоны.

Таблица 18 – Допустимые параметры для рабочей зоны

Период года	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	15-28	20-80	<0.5
Теплый	15-28	20-80	<0.5

В лаборатории отсутствует вентиляционная система. Проветривание помещения проводят, открывая форточки. Проветривание помещений в холодный период года допускается не более однократного в час, при этом нужно следить, чтобы не было снижения температуры внутри помещения ниже допустимой.

При высокой температуре воздуха в помещении кровеносные сосуды кожи расширяются, происходит повышенный приток крови к поверхности тела, и выделение тепла в окружающую среду значительно увеличивается. При низкой температуре окружающего воздуха реакция человеческого организма иная: кровеносные сосуды кожи сужаются, приток крови к поверхности тела замедляется, и теплоотдача конвекцией и излучением уменьшается. Таким образом, для теплового самочувствия человека важно определенное сочетание температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне.

Повышенная влажность воздуха ( $\varphi > 85\%$ ) затрудняет терморегуляцию организма, т.к. происходит снижения испарения пота, а пониженная влажность ( $\varphi < 20\%$ ) вызывает пересыхание слизистых оболочек дыхательных путей.

Для обеспечения оптимальных и допустимых показателей микроклимата в холодный период года следует применять средства защиты рабочих мест от остекленных поверхностей оконных проемов, чтобы не было

охлаждения, а также необходимо установить отопительную систему. В теплый период года необходимо предусмотреть защиту от попадания прямых солнечных лучей. К средствам коллективной защиты можно отнести установки кондиционирования воздуха, основная задача которых поддерживать параметры воздуха в установленных пределах, для обеспечения надежной работы и комфортных условий для работников.

### 6.1.2 Шум

Для определения допустимого уровня шума на рабочих местах используется ГОСТ 12.1.003-83. ССБТ «Шум. Общие требования безопасности», СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки». Согласно ГОСТ 12.1.003-83, нормируемой шумовой характеристикой рабочих мест при шуме являются уровни звуковых давлений в децибелах в октановых полосах. В таблице 19 приведены допустимые уровни звукового давления на рабочем месте.

Таблица 19 - Допустимы уровни звукового давления на рабочем месте

Вид деятельности	Частота, Гц							
	Уровень звукового давления, дБ							
	62	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Научная деятельность, проектирование	71	61	54	49	45	42	40	38

В нашей научно-исследовательской лаборатории не находится никаких приборов и устройств, создающих шум, который может оказать влияние на здоровье. Лаборатория расположена среди учебных комнат, что означает, что в соседних комнатах так же отсутствует производственное оборудование.

Предельно допустимый уровень (ПДУ) шума - это уровень фактора, который при ежедневной (кроме выходных дней) работе, но не более 40 часов

в неделю в течение всего рабочего стажа, не должен вызывать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений. Соблюдение ПДУ шума не исключает нарушения здоровья у сверхчувствительных лиц.

Допустимый уровень шума ограничен ГОСТ 12.1.003-83 и СанПиН 2.2.4/2.1.8.10-32-2002. Максимальный уровень звука постоянного шума на рабочих местах не должно превышать 80 дБА. В нашем случае этот параметр соответствовал значению 40 дБА.

При значениях выше допустимого уровня необходимо предусмотреть СКЗ и СИЗ.

#### СКЗ

устранение причин шума или существенное его ослабление в источнике образования;

изоляция источников шума от окружающей среды средствами звуко- и виброизоляции, звуко- и вибропоглощения;

применение средств, снижающих шум и вибрацию на пути их распространения;

#### СИЗ

применение спецодежды, спецобуви и защитных средств органов слуха: наушники, беруши, антифоны.

### **6.1.3 Освещенность**

Качество освещения влияет на работоспособность сотрудника, на его психологическое состояние в процессе выполнения работ. Наиболее благоприятное влияние на состояние сотрудника оказывает преимущественно естественное освещение. Нормы естественного, искусственного и

совмещенного освещения зданий и сооружений, мест производства работ вне зданий представлены в СНиПе 23-05-95.

Основными регламентируемыми факторами норм освещения является характер зрительной работы, фон, контраст объекта с фоном, система и вид освещения.

Главной задачей текущего светотехнического расчета является определение необходимой мощности электрической осветительной установки для создания требуемой освещенности.

В расчетном задании должны быть решены следующие вопросы: выбор системы освещения; выбор источников света; выбор светильников и их размещение; выбор нормируемой освещенности; расчет освещения методом светового потока.

1. Выбор системы освещения. Для производственных помещений всех ПЭВМ назначений применяются системы общего (равномерного или локализованного) и комбинированного (общего и местного) освещения. Система комбинированного освещения принимается в основном для помещений ремонта, регулировки, чистки и пайки аппаратуры и приборов, в прочих случаях следует использовать систему общего (равномерного или локализованного) освещения. Для данной рабочей зоны выбирается расчет общего равномерного освещения.

2. Выбор источников света. Источники света, применяемые для искусственного освещения, делят на две группы – газоразрядные лампы и лампы накаливания. Для выбранного типа освещения, как правило, применяются газоразрядные лампы, так как они энергетически более экономичны и обладают большим сроком службы. Наиболее распространенными являются люминесцентные лампы.

3. Выбор светильников и их размещение. Светильник – прибор, перераспределяющий свет ламп внутри больших телесных углов и

обеспечивающий угловую концентрацию светового потока. Выбор типа светильников основывается на светотехнических требованиях, экономических показателях и условиях среды. Для данной рабочей зоны выбираем светильник накладной ОД, крепящийся на поверхность потолка, мощностью 30 Вт и световым потоком 1650 Лм. Размеры светильника: 933x204мм.

Пространственное положение светильников в выбранном помещении определяется следующими параметрами:

- $H = 3$  – высота помещения;
- $h_c = 0,2$  – расстояние светильников от перекрытия (м);
- $h_n = H - h_c = 2,8$  – высота подвеса (м);
- $h_p = 0,7$  – высота рабочей поверхности (м);
- $h = h_n - h_p = 2,1$  – расчетная высота (м);
- $L$  – расстояние между соседними светильниками (м);
- $l$  – расстояние от крайних светильников до стены (м).

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

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

Люминесцентные светильники при равномерном расположении обычно располагаются рядами. Основным критерием оптимального расположения светильников является величина  $\lambda = L/h$  - наивыгоднейшее расстояние между осветительными приборами, уменьшение которого удорожает устройство и обслуживает освещения, а чрезмерное увеличение ведет к резкой неравномерности освещенности. Данная величина зависит от кривой света светильника. Для выбранного светильника характерна кривая типа Д, где  $\lambda = 1,2 - 1,6$ . При выполнении расчета принимаем  $\lambda = 1,4$ .

Расстояние  $L$  между светильниками определяется как:



$$L = \lambda \cdot h = 1,4 \cdot 2,1 = 2,94 \text{ м}$$

Расстояние от крайних светильников до стены:

$$l = L/h = 2,94/3 = 0,98 \text{ м}$$

Произведем расчет числа рядов и количества светильников в ряду.

Число рядов светильников в помещении:

$$N_A = \frac{A}{L} = \frac{5,8}{2,94} \approx 2$$

Число светильников в ряду:

$$N_B = \frac{B}{L} = \frac{5,31}{2,94} \approx 2$$

Так как помещение имеет прямоугольную форму, то разумнее добавить в каждый ряд по одному дополнительному светильнику, тем самым уменьшив расстояние между светильниками до 50 см. это позволит усилить освещенность помещения для более комфортной работы.

Таким образом, общее число светильников в помещении:

$$N = N_A \cdot N_B = 3 \cdot 2 = 6$$

На рисунке 9 изображен план кабинета и расположение источников света с люминесцентными лампами.

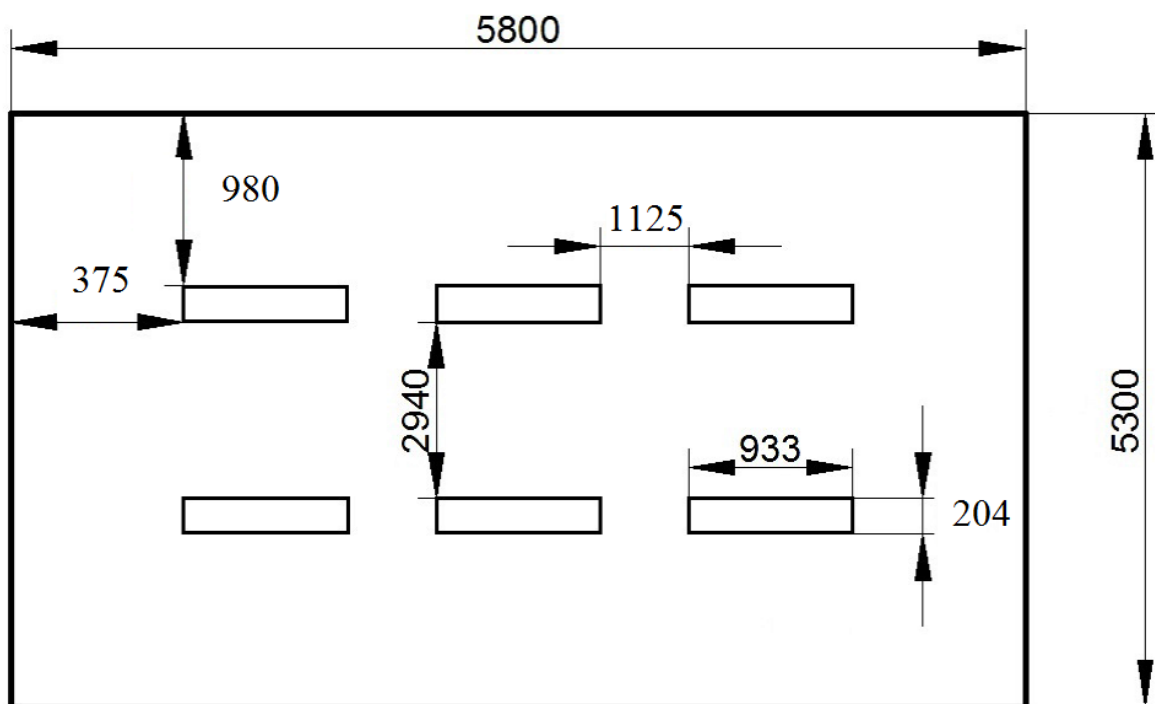


Рисунок 9 – План расположения источников света.

4. Выбор нормируемой освещенности. Основные требования по значениям нормируемой освещенности рабочих поверхностей сформулированы в СНиП 23-05-95. Выбор освещенности основан на таких условиях как размер объема различения (толщина линии, риски, высота буквы), контраста объема с фоном, характеристики фона.

В соответствии с требованиями по работе с ПК, при работе с экраном в сочетании с работой над документами наиболее оптимальной для работы с экраном является освещенность 200 лк.

5. расчет общего равномерного освещения. Для произведения расчета общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности используется метод коэффициента светового потока, который учитывает световой поток, отраженный от потолка и стен. Расчет общего равномерного уровня искусственного освещения горизонтальной поверхности рабочего места производится способом коэффициента светового потока:

$$\Phi_{\text{П}} = \frac{E_n \cdot S \cdot K_3 \cdot Z}{N \cdot n} = \frac{200 \cdot 30,8 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{12 \cdot 0,53} = 1598 \text{ Лм,}$$

где  $E_n$  – нормируемая минимальная освещенность по СНиП 23-05-95,  $E_n = 200$  Лк (характеристика зрительной работы VI: Грубая (очень малой точности));  $S$  – площадь освещаемого помещения, м<sup>2</sup>;  $K_3$  – коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, для помещений с малым выделением пыли равен  $K_3 = 1,5$ ;  $Z$  – коэффициент неравномерности освещения, для люминесцентных ламп при расчетах берется  $Z = 1,1$ ;  $N$  – число ламп в помещении, 12;  $n$  – коэффициент использования светового потока, 0,53.

Коэффициент использования светового потока показывает, какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность. Он зависит от индекса помещения  $i$ , типа светильника, высоты светильников над рабочей поверхностью  $h$  и коэффициентов отражения стен  $\rho_c$  и потолка  $\rho_{\text{п}}$ .

Индекс помещения определяется по формуле:

$$i = \frac{S}{h \cdot (A + B)} = \frac{30,8}{2,1 \cdot 11,11} = 1,3$$

Коэффициент отражения стен (свежепобеленное состояние стен с окнами, без штор):  $\rho_c = 50\%$ ;

Коэффициент отражения потолка (свежепобеленное состояние потолка):  $\rho_{\text{п}} = 70\%$ ;

Делаем проверку выполнения условий:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{ЛД}} - \Phi_{\text{П}}}{\Phi_{\text{ЛД}}} \cdot 100\% \leq 20\%$$

$$\frac{\Phi_{\text{ЛД}} - \Phi_{\text{П}}}{\Phi_{\text{ЛД}}} \cdot 100\% = \frac{1650 - 1598}{1650} \cdot 100\% = 3,2\%$$

Таким образом:  $-10\% \leq 3,2\% \leq 20\%$ , необходимый световой поток светильника не выходит за пределы требуемого диапазона. Это означает, что мощность и количество осветительных приборов для данного помещения

выбраны правильно.

#### 6.1.4 Электромагнитные поля

Электромагнитное поле, создаваемое персональным компьютером, имеет сложный спектральный состав в диапазоне частот от 0 Гц до 1000 МГц.

Наличие в помещении нескольких компьютеров со вспомогательной аппаратурой и системой электропитания создает сложную картину электромагнитного поля. Очевидно, что электромагнитная обстановка в помещениях с компьютерами крайне сложная, распределение полей неравномерное, а уровни достаточно высоки, чтобы говорить об опасности их биологического действия. В таблице 20 приведены диапазоны возможных значений ЭМП.

Таблица 20 – Диапазоны возможных значений ЭМП, измеренных на рабочих местах пользователей ПК

	5 Гц - 2 кГц	2 - 400 кГц
Напряженность переменного электрического поля, кА/м	1 - 35	0,1 - 1,1
Индукция переменного магнитного поля, мТл	6 - 770	1 - 32

По обобщенным данным, у работающих за монитором от 2 до 6 часов в сутки функциональные нарушения центральной нервной системы происходят в среднем в 4,6 раза чаще, чем в контрольных группах, болезни сердечно-сосудистой системы - в 2 раза чаще, болезни верхних дыхательных путей - в 1,9 раза чаще, болезни опорно-двигательного аппарата - в 3,1 раза чаще. С увеличением продолжительности работы на компьютере

соотношения здоровых и больных среди пользователей резко возрастает даже при кратковременной работе (45 минут) в организме пользователя под влиянием электромагнитного излучения монитора происходят значительные изменения гормонального состояния и специфические изменения биотоков мозга. Особенно ярко и устойчиво эти эффекты проявляются у женщин. Замечено, что у групп лиц (в данном случае это составило 20%) отрицательная реакция функционального состояния организма не проявляется при работе с ПК менее 1 часа. Исходя из анализа полученных результатов сделан вывод о возможности формирования специальных критериев профессионального отбора для персонала, использующего компьютер в процессе работы.

В целях обеспечения безопасности здоровья пользователей в Российской Федерации действуют Санитарные нормы и правила "Гигиенические требования к видеодисплейным терминалам, персональным электронновычислительным машинам и организации работ" СанПиН 2.2.2.542-96. Цель Санитарных норм - определить такие нормированные величины факторов воздействия, чтобы их вред был минимальным, а условия труда - комфортными. Предельно допустимые уровни, генерируемого монитором электромагнитного поля и поверхностного электростатического потенциала установлены СанПиН 2.2.2.542-96 и приведены в таблице 21.

Таблица 21 – ПДУ электромагнитного поля монитора компьютера

Вид поля	Диапазон частот	Единица измерения	ПДУ
Магнитное	5 Гц-2 кГц	нТл	250
	2 - 400 кГц		25
Электрическое	5 Гц-2 кГц	В/м	25
	2 - 400 кГц		2,5

В основном из средств защиты предлагаются защитные фильтры для экранов мониторов. Они используются для ограничения действия на пользователя вредных факторов со стороны экрана монитора, улучшает эргономические параметры экрана монитора и снижает излучение монитора в направлении пользователя.

Представленные на рынке защитные фильтры для экранов мониторов по назначению делятся на 2 основные группы:

- защитные фильтры улучшающие эргономические параметры дисплея и ослабляющие инфракрасное, ультрафиолетовое излучения, но не влияющие на электромагнитные параметры;
- защитные фильтры улучшающие эргономические параметры дисплея, ослабляющие инфракрасное, ультрафиолетовое излучения, ослабляющие электростатическое поле и переменное электрическое поле.

В диапазоне СВЧ = 300...300000 МГц допустимая плотность потока мощности (ППМ<sub>доп</sub>) при времени облучения ( $\tau$  облуч.) в течение всего рабочего дня составляет 10 мкВт/см<sup>2</sup>, при  $\tau$  облуч., равном 2 ч,- 100 мкВт/см<sup>2</sup> и при  $\tau$  облуч, равном 15...20 мин, - 1000 мкВт/см<sup>2</sup> (при обязательном использовании защитных очков!). В остальное рабочее время интенсивность облучения не должна превышать 10 мкВт/см<sup>2</sup>. Для лиц, профессионально не связанных с облучением, и для населения в целом ППМ не должен превышать 1 мкВт/см<sup>2</sup>.

Защита человека от опасного воздействия электромагнитного излучения осуществляется следующими способами:

### СКЗ

- защита временем;
- защита расстоянием;
- снижение интенсивности излучения непосредственно в самом источнике излучения;

- экранирование источника;
- защита рабочего места от излучения;

## СИЗ

Применение средств индивидуальной защиты (СИЗ), которые включают в себя

- Очки и специальная одежда, выполненная из металлизированной ткани (кольчуга). При этом следует отметить, что использование СИЗ возможно при кратковременных работах и является мерой аварийного характера. Ежедневная защита обслуживающего персонала должна обеспечиваться другими средствами.

- Вместо обычных стекол используют стекла, покрытые тонким слоем золота или диоксида олова ( $\text{SnO}_2$ ).

Экранирование источника излучения и рабочего места осуществляется специальными экранами по ГОСТ 12.4.154.

К средствам защиты от статического электричества и электрических полей промышленной частоты относят комбинезоны, очки, спецобувь, заземляющие браслеты, заземляющие устройства, устройства для увлажнения воздуха, антиэлектростатические покрытия и пропитки, нейтрализаторы статического электричества.

## **6.2 Анализ выявленных опасных факторов производственной среды**

### **6.2.1 Электробезопасность**

Воздействие электрического тока на человека носит разносторонний и своеобразный характер. Прохождение электрического тока через организм может вызвать у человека раздражение кожных покровов и повреждения различных внутренних органов. Пороговое значение неотпускающего

электрического тока составляет 10-15 мА. Проходя через живые ткани организма человека, электрический ток производит электролитическое, термическое, механическое, световое, биологическое, световое воздействие на организм.

Помещения с электроустановками классифицируют по напряжению: с номинальным напряжением до 1000 В (помещения без повышенной опасности), до 1000 В (помещения с повышенной опасностью) и свыше 1000 В (особо опасные помещения).

Лаборатория относится к помещению без повышенной опасности поражения электрическим током (в которой отсутствуют условия, создающие повышенную или особую опасность), поскольку – это помещение сухое, хорошо отапливаемое, 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.

Безопасные номиналы характеристик тока:

- Сила тока  $I = 0,1$  А,
- Напряжение  $U = 36$  В,
- Сопротивление заземления  $R_{\text{зазем}} = 4$  Ом.

Основными электробезопасными средствами в электроустановках напряжением до 1000 В, являются изолирующие штанги, указатели напряжения, а также изолирующие устройства и приспособления для ремонтных работ.



К дополнительным средствам индивидуальной защиты относятся инструменты с электроизолированными ручками, диэлектрические перчатки, резиновые коврики и дорожки, изолирующие подставки на фарфоровых изоляторах и переносные заземления. Освобождение пострадавшего от действия тока напряжением свыше 1000 В может быть произведено только одним способом. Это отключение соответствующей части электрической установки специально обученными людьми.

### **6.2.2 Факторы пожарной и взрывной природы**

Источниками пожаровзрывоопасности в лаборатории могут быть любые электроприборы. При работе с электроприборами не исключено оплавление изоляционных проводов, их оголение, что влечет за собой короткое замыкание, перегрузку электронных схем, которые, перегреваясь, сгорают с разбрызгиванием искр.

По пожарной опасности помещения подразделяют на категории А, Б, В, Г, Д. Данная лаборатория согласно НПБ 105-03 относится к категории В, поскольку в помещении есть деревянные столы.

По степени огнестойкости данное помещение относится к 1 -й степени огнестойкости по СНиП 21-01-97 (выполнено из кирпича, которое относится к трудно сгораемым материалам). Возникновение пожара при работе с электронной аппаратурой может быть по причинам электрического характера. Причины возникновения пожара электрического характера: короткое замыкание, перегрузки по току, искрение и электрические дуги, статическое электричество и т. п. Не реже одного раза в квартал необходимо производить очистку от пыли агрегатов и узлов, кабельных каналов и межпольного пространства.

К первичным средствам пожаротушения при ликвидации пожара на

ранней стадии относят: водопровод пожарный, огнетушители, сухой песок, асбестовые одеяла и др. В корпусе пожарные краны установлены в коридорах, на лестничных площадках, у входов. Ручные углекислотные огнетушители размещают в помещении.

Для устранения причин возникновения и локализации пожаров в помещении лаборатории должны проводиться следующие мероприятия:

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

Пожарная безопасность обеспечивается наличием огнетушителей:

Огнетушитель углекислотный (ОУ-2). ОУ-2 предназначен для тушения загораний веществ, горение которых не может происходить без доступа воздуха, загораний электроустановок, находящихся под напряжением не более 10 000 В, жидких и газообразных веществ (класс В,С,Е), загораний в архивах, музеях, картинных галереях. ОУ-2 не предназначен для тушения загорания веществ, горение которых может происходить без доступа воздуха (алюминий, магний и их сплавы, натрий, калий), химических веществ и их смесей, пирофорных и полимерных материалов, а также других материалов, склонных к тлению внутри объема вещества и горению без доступа воздуха (хлопок, древесные опилки, травяная мука, пироксилин и т.п.). В качестве огнетушащего вещества применяют конденсированный диоксид углерода (CO<sub>2</sub>), при переходе углекислоты из твердого состояния в газообразное

происходит увеличение её объема в 400-500 раз, сопровождаемое резким охлаждением до температуры - 72°C и частичной кристаллизацией. Эффект пламегашения достигается двояко: понижением температуры очага возгорания ниже точки воспламенения, и вытеснением кислорода из зоны горения негорючим углекислым газом.

Огнетушитель химический водно-пенный (ОХВП-10). ОХВП-10 предназначен для тушения начальных загораний твердых веществ и легковоспламеняющихся жидкостей, за исключением щелочных металлов и веществ, горение которых происходит без доступа воздуха. Запрещается использовать огнетушитель ОХВП-10 для тушения загоревшихся электроустановок, находящихся под напряжением. Принцип действия огнетушителя основан на использовании огнетушащих свойств пены, получаемой при смешении щелочной и кислотной части заряда. В результате реакции образуется углекислый газ, создающий в баллоне значительное давление, под которым пена выбрасывается через спрыск в виде струи. Для приведения огнетушителя в действие, открывают запорное устройство с помощью рукоятки, при повороте которой вверх до отказа клапан отходит от горловины кислотного стакана. После поворота рукоятки, переворачивают огнетушитель вверх дном. Для приведения его в действие каких-либо ударов не требуется. При тушении жидкостей, разлитых по поверхности, следует пеной покрывать всю горящую поверхность.

Согласно требованиям, в офисе необходимо вести журнал регистрации противопожарного инструктажа, инструкцию о мерах пожарной безопасности и инструкцию о порядке действий персонала при пожаре. Сотрудник, ответственный за пожарную безопасность, должен иметь аттестацию учебного центра МЧС.

Здание должно соответствовать требованиям пожарной безопасности, а именно, наличие охранно-пожарной сигнализации, плана эвакуации,

порошковых или углекислотных огнетушителей с поверенным клеймом, табличек с указанием направления к запасному (эвакуационному) выходу (рисунок 10).

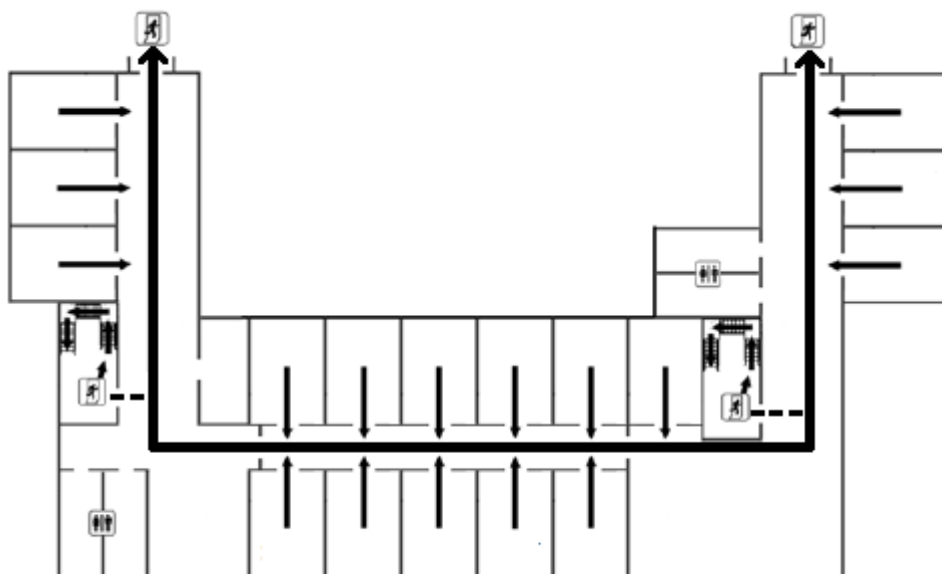


Рисунок 10 – План эвакуации людей при пожаре

### 6.3 Охрана окружающей среды

Лаборатория является не производственной, а значит отсутствует производственный мусор (в том числе и пожароопасный, и вредный для окружающей среды). Тем не менее могут быть приняты следующие меры по сохранению окружающей среды: сортировка мусора и последующая утилизация. Отходы, содержащие гальванические элементы (например, батарейки) собирает на переработку компания «Батарейки, сдавайтесь!», у которой расположены точки сбора по всему городу.

Макулатура (черновики, отработанная бумага и т.п.) будет собираться в размерах более одного килограмма и утилизироваться по адресу 634024, г. Томск, ул. Трудовая, 11 компанией ООО «Пирс». Предварительно макулатура должна быть отчищена от посторонних предметов, таких как, например, скрепки.

Компания ООО «Экоорг» осуществляет утилизацию отработанных картриджей от принтеров практически всех компаний. Предварительная обработка картриджей бывших в употреблении не требуется.

ООО Научно-производственное предприятие «ЭКТОМ» осуществляет бесплатный сбор, обезвреживание и транспортировку опасных отходов отработанных люминесцентных ламп.

#### **6.4 Защита в ЧС**

Лаборатория расположена 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 несанкционированное проникновение на рабочее место.

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 газовые обогреватели с катализатором. Их количества и мощности должно хватать для того, чтобы работа на производстве не прекратилась. Необходимо иметь суточный запас воды на складе, чтобы избежать обезвоживания персонала. В случае перебоев в расписании движения общественного транспорта должен быть предоставлен транспорт служебный.

Возможно несанкционированное проникновение на рабочее место.

Угрозы могут быть как ложными, так и действительными, поэтому необходимы меры предосторожности по этому поводу. В качестве мер безопасности приняты следующие действия - установка системы видеонаблюдения и круглосуточной охраны, сохранение конфиденциальной информации о охранной системе. Для защиты от несанкционированного проникновения также должна быть введена пропускная система. Необходимо так же проводить информирование должностных лиц и тренировки по отработке действий на случай экстренной эвакуации. Помещение лаборатории закрывается на замок, ведется охрана вахтовым методом. В помещении установлена сигнализация.

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

СН 245-71. Санитарные нормы проектирования промышленных предприятий.

ГОСТ 12.11.005-88. Общие санитарно-технические требования к воздуху рабочей зоны.

ГОСТ 12.1.003-83. Шум. Общие требования безопасности.

СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки»

СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение.

СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий.

СанПиН 2.2.2.542-96. Гигиенические требования к видеодисплейным терминалам, персональным электронно-вычислительным машинам и организации работ.

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

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

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

НПБ 105-03. Определение категорий помещений, зданий и наружных  
установок по взрывопожарной и пожарной опасности.

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

Графические материалы

- 1) Освещенность на рабочем месте
- 2) Пути эвакуации

## **Заключение**

Экспериментально разработана техника изготовления деталей прямолинейной формы, представляющих собой вертикальную стенку.

Во всех образцах наблюдаются столбчатые зерна поперечный размер которых лежит в интервале от 0,2 до 2 мм, с игольчатой морфологией внутри.

В диапазоне 16...18 мА ток пучка не оказывает влияния на микроструктуру изготовленных образцов.

При увеличении количества подаваемой проволоки во время печати увеличивается толщина стенок.

На шлифе образцов следов сплавления слоев не обнаружено.



## Список литературы

1. J. Beaman, J.W. Barlow, D.L. Bourell, R.H. Crawford and H.L. Marcus: Solid Freeform Fabrication: A New Direction in Manufacturing, - Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1997.
2. P.F. Jacobs: Rapid Prototyping and Manufacturing: Fundamentals of Stereolithography, Mc Graw-Hill, New York, 1993.
3. L. Lu, J. Fuh and Y.S. Wong: Laser Induced Materials and Processes for Rapid Prototyping, Kluwer Academic Publishers, [12] Dordrecht, 2001.
4. Froes FH (Sam). Powder metallurgy of titanium alloys. In: Chang I, Zhao Y, editors. Advances in powder metallurgy. Philadelphia, PA: Woodhead Publishing; 2013. p. 202.
5. Froes FH (Sam), Imam MA, Fray D, editors. Cost affordable titanium. Warrendale, PA:TMS; 2004.
6. Gungor MN, Imam MA, Froes FH (Sam), editors. Innovations in titanium technology. Warrendale, PA: TMS; 2007.
7. Imam MA, Froes F H (Sam), Dring KF, editors. Cost-affordable titanium III. Switzerland: Trans Tech Publications Ltd; 2010.
8. Imam MA, Froes FH (Sam), Reddy RG, editors. Cost affordable titanium IV. Switzerland: Trans Tech Publications; 2013.
9. Froes FH (Sam). Titanium powder metallurgy: developments and opportunities in a sector poised for growth. Powder Metall Rev 2013;2(4):29-43 Winter.
10. Dutta B, Froes FH. Additive manufacturing of titanium alloys. Adv Mater Process February 2014;172(2):18-23.
11. Froes FH (Sam), editor. Titanium physical metallurgy, processing and applications. Materials Park, OH: ASM; February 2015.

14. Froes FH (Sam). Titanium alloys: alloy designation system [to be published] In: Hashmi S, editor. Module in materials science and- engineering. Kidington, UK: Elsevier Publishing; 2015

15. Froes FH (Sam). "Titanium alloys: thermal treatment and thermomechanical processing [to be published] In: Hashmi S, editor. Module in materials science and engineering. Kidington, UK: Elsevier Publishing; 2015

16. Froes FH (Sam). Titanium alloys: properties and applications [to be published] In: Hashmi S, editor. Module in materials science and engineering. Kidington, UK: Elsevier Publishing; 2015

17. Gong, X., and Chou, K., 2013, "Characterization of Sintered Ti-6Al-4V Powders in Electron Beam Additive Manufacturing," ASME 2013 International Manufacturing Science and Engineering Conference, Madison, WI, June 10-14, 2013, -pp. V001T001A002-V001T001A002.

18. Gong, X., Anderson, T., and Chou, K., 2012, "Review on Powder-Based Electron Beam Additive Manufacturing Technology," ASME/ISCIE 2012 International Symposium on Flexible Automation, St. Louis, MO, June 18-20, 2012, ISFA2012-7256.

19. Yu H. et al. Investigation on laser welding of selective laser melted Ti-6Al-4V parts: Weldability, microstructure and mechanical properties //Materials Science and Engineering: A. – 2018. – T. 712. – C. 20-27.

20. Zhai Y., Galarraga H., Lados D. A. Microstructure, static properties, and fatigue crack growth mechanisms in Ti-6Al-4V fabricated by additive manufacturing: LENS and EBM //Engineering failure analysis. – 2016. – T. 69. – C. 3-14.