



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

Школа	Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности
Направление подготовки	15.03.01 Машиностроение
ООП/ОПОП	Оборудование и технология сварочного производства
Специализация	Оборудование и технология сварочного производства
Отделение	электронной инженерии

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

Тема работы
Исследование реализации процесса аддитивного выращивания изделий из меди и медных сплавов методом электронно-лучевого аддитивного производства

УДК 621.745.5:669.36

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-1В81	Кушнарёв Юрий Владимирович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ ИШНКБ	Киселев А.С.	к.т.н., доцент		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ ИШНКБ	Ильященко Д.П.	к.т.н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Рыжакина Т.Г.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ООД ШБИП	Федорчук Ю.М.	д.т.н		

Нормоконтроль

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Дерюшева В.Н.	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП, должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Першина А.А.	к.т.н.		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП/ОПОП

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
УК(У)-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
УК(У)-3	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
УК(У)-4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(-ых) языке(-ах)
УК(У)-5	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах
УК(У)-6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
УК(У)-7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
УК(У)-8	Способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций
УК(У)-9	Способен проявлять предприимчивость в профессиональной деятельности, в т.ч. в рамках разработки коммерчески перспективного продукта на основе научно-технической идеи
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Умеет использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования
ОПК(У)-2	Осознает сущности и значения информации в развитии современного общества
ОПК(У)-3	Владеет основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации
ОПК(У)-4	Способен решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способен обеспечивать технологичность изделий и процессов их изготовления; умением контролировать соблюдение технологической дисциплины при изготовлении изделий
ПК(У)-2	Способен разрабатывать технологическую и производственную документацию с использованием современных инструментальных средств
ПК(У)-3	Способен обеспечивать техническое оснащение рабочих мест с размещением технологического оборудования; умением осваивать вводимое оборудование

ПК(У)-4	Способен участвовать в работах по доводке и освоению технологических процессов в ходе подготовки производства новой продукции, проверять качество монтажа и наладки при испытаниях и сдаче в эксплуатацию новых образцов изделий, узлов и деталей выпускаемой продукции
ПК(У)-5	Умеет проверять техническое состояние и остаточный ресурс технологического оборудования, организовывать профилактический осмотр и текущий ремонт оборудования
ПК(У)-6	Умеет проводить мероприятия по профилактике производственного травматизма и профессиональных заболеваний, контролировать соблюдение экологической безопасности проводимых работ
ПК(У)-7	Умеет выбирать основные и вспомогательные материалы и способы реализации основных технологических процессов и применять прогрессивные методы эксплуатации технологического оборудования при изготовлении изделий машиностроения
ПК(У)-8	Умеет применять методы стандартных испытаний по определению физико-механических свойств и технологических показателей используемых материалов и готовых изделий
ПК(У)-9	Способен к метрологическому обеспечению технологических процессов, к использованию типовых методов контроля качества выпускаемой продукции
ПК(У)-16	Способен к систематическому изучению научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по соответствующему профилю подготовки
ПК(У)-17	Умеет обеспечивать моделирование технических объектов и технологических процессов с использованием стандартных пакетов и средств автоматизированного проектирования, проводить эксперименты по заданным методикам с обработкой и анализом результатов
ПК(У)-18	Способен принимать участие в работах по составлению научных отчетов по выполненному заданию и во внедрении результатов исследований и разработок в области машиностроения
ПК(У)-19	Способен участвовать в работе над инновационными проектами, используя базовые методы исследовательской деятельности
ДПК(У)-1	Способен контролировать соответствие основных и свариваемых материалов, сварочного и вспомогательного оборудования, оснастки и инструмента, технологической документации, соблюдения технологической дисциплины и правильной эксплуатации технологического оборудования
ДПК(У)-2	Способен составлять планы размещения оборудования, технического оснащения и организации рабочих мест, производить расчет производственной мощности и загрузки оборудования
ДПК(У)-3	Способен изучать и анализировать причины возникновения брака и выпуска продукции низкого качества, участие в разработке мероприятий по их предупреждению и устранению



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

Школа	<u>Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности</u>
Направление подготовки	<u>15.03.01 Машиностроение</u>
ООП/ОПОП	<u>Оборудование и технология сварочного производства</u>
Специализация	<u>Оборудование и технология сварочного производства</u>
Отделение	<u>электронной инженерии</u>

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП
_____ А.А. Першина
(Подпись) (Дата) (ФИО)

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

Обучающийся:

Группа	ФИО
3-1В81	Кушнарёв Юрий Владимирович

Тема работы:

Исследование реализации процесса аддитивного выращивания изделий из меди и медных сплавов методом электронно-лучевого аддитивного производства	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 37-63/с от 06.02.2023

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:	03.06.2023
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе (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 функционированию (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.)	Образцы, полученные методом проволочного электронно-лучевого аддитивного производства. Материалы образцов: медный сплав БрА7
Перечень разделов пояснительной записки подлежащих исследованию, проектированию и разработке (аналитический обзор литературных источников 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)	1. Обзор литературы 2. Материалы и методы исследования 3. Результаты исследования 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 5. Социальная ответственность Заключение Презентация
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	Презентация

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Рыжакина Т.Г., к.э.н., доцент ОСГН, ШБИП
Социальная ответственность	Федорчук Ю.М., д.т.н., профессор ООД, ШБИП
Названия разделов, которые должны быть написаны на иностранном языке:	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	08.02.2023
---	------------

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ ИШНКБ	Киселев Алексей Сергеевич	к.т.н., доцент		
Доцент ОЭИ ИШНКБ	Ильященко Дмитрий Павлович	к.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению обучающийся:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-1В81	Кушнарёв Юрий Владимирович		



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

Школа	<u>Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности</u>
Направление подготовки	<u>15.03.01 Машиностроение</u>
ООП/ОПОП	<u>Оборудование и технология сварочного производства</u>
Специализация	<u>Оборудование и технология сварочного производства</u>
Отделение	<u>электронной инженерии</u>

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Обучающийся:

Группа	ФИО
3-1В81	Кушнарёв Юрий Владимирович

Тема работы:

Исследование реализации процесса аддитивного выращивания изделий из меди и медных сплавов методом электронно-лучевого аддитивного производства
--

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:	03.06.2023
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
01.04.2023 г.	1. Обзор литературы	10
08.04.2023 г.	2. Материалы и методы исследования	10
15.04.2023 г.	3. Результаты исследования	40
22.04.2023 г.	4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	10
30.04.2023 г.	5. Социальная ответственность	10
08.05.2023 г.	Заключение	10
16.05.2023 г.	Презентация	10

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ ИШНКБ	Киселев А.С.	к.т.н., доцент		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ ИШНКБ	Ильященко Д.П.	к.т.н., доцент		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ ИШНКБ	Першина А.А.	к.т.н.		

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-1В81	Кушнарёв Юрий Владимирович		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 95 с., 18 рис., 28 табл., 25 формул, 40 источников, 13 листов демонстрационного материала.

Ключевые слова: аддитивные технологии, механические свойства, послойное выращивание, аддитивное производство, 3D-печать, ванна расплава.

Объектом исследования является: процесс аддитивного выращивания изделий из меди и медных сплавов методом электронно-лучевого аддитивного производства.

Предмет исследования – разработка процесса аддитивного выращивания изделий из меди и медных сплавов методом электронно-лучевого аддитивного производства.

Цель работы – исследование реализации процесса аддитивного выращивания изделий из меди и медных сплавов методом электронно-лучевого аддитивного производства.

Во время исследования проводился анализ тепловложения в процессе 3D-печати изделий, способов аддитивного выращивания, влияние режимов и условий 3D-печати на механические свойства изделий.

Область применения: данный способ аддитивного выращивания изделий или заготовок может применяться в разных отраслях промышленности.

В будущем планируется модернизация конструкции оснастки дополнительного теплоотведения от изделий в процессе 3D-печати, для возможности её применения к изделиям или заготовкам разных габаритов и форм.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	11
1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.....	12
1.1 Методы аддитивного выращивания изделий из меди и медных сплавов	12
1.1.1 Селективное лазерное сплавление меди и медных сплавов.....	14
1.1.2 Электродуговая 3D печать меди и медных сплавов.....	16
1.1.3 Селективное электронно-лучевое сплавление меди и медных сплавов	18
1.1.4 Выращивание изделий из меди и медных сплавов методом проволочного электронно-лучевого аддитивного производства.....	21
1.2 Влияние тепловложения на структуру и механические свойства медного сплава	22
1.2.1 Структурное исследование образцов из медных сплавов БрА7	23
1.2.2 Структурное исследование образцов из медных сплавов БрКМц 3-1.....	25
1.2.3 Механические свойства образцов из медных сплавов БрА7.....	26
2 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	28
2.1 Материалы исследования	28
2.2 Экспериментальная установка проволочного электронно-лучевого аддитивного производства	28
2.3 Образцы из медного сплава БрА7, полученные методом проволочного электронно-лучевого аддитивного производства.....	31
2.4 Методы исследования образцов из медного сплава БрА7	32
3 РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	34
3.1 Влияние режимов проволочного электронно-лучевого аддитивного производства на механические свойства тонкостенных образцов из медного сплава БрА7	34

4	ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	38
4.1	Потенциальные потребители результатов исследования.....	38
4.2	Анализ конкурентных технических решений	39
4.3	SWOT – анализ.....	41
4.4	Планирование работ по научно-техническому исследованию.....	44
4.4.1	Структура работ в рамках научного исследования	44
4.4.2	Определение трудоемкости выполнения работ	45
4.4.3	Разработка графика проведения научного исследования	46
4.5	Бюджет научно-технического исследования (НТИ).....	48
4.5.1	Расчет материальных затрат НТИ	48
4.5.2	Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	49
4.5.3	Основная заработная плата исполнителя темы	50
4.5.4	Расчет дополнительной заработной платы.....	53
4.5.5	Отчисления во внебюджетные фонды	54
4.5.6	Накладные расходы	54
4.5.7	Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	55
4.6	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования ..	56
5	СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	61
	ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ БНЗОПАСНОСТЬ	61
5.1	Вредные факторы	61
5.1.1	Отклонение показателей микроклимата в помещении	61
5.1.2	Превышение уровней шума	63
5.1.3	Повышенный уровень электромагнитных излучений	64
5.1.4	Наличие токсикантов, (запыленность, загазованность), ПДК, класс опасности, СКЗ, СИЗ.....	66

5.1.5	Недостаточная освещенность	67
5.1.6	Ультра-фиолетовое излучение; ПДУ; СКЗ; СИЗ	72
5.1.7	Инфракрасное излучение; ПДУ; СКЗ; СИЗ	73
5.1.8	Радиоактивность, ПДД, критические органы, СКЗ, СИЗ	76
5.2	Электроопасность; класс электроопасности помещения, безопасные номиналы I, U, Rзаземления, СКЗ, СИЗ. Поражение электрическим током	78
5.3	Пожароопасность, категория пожароопасности помещения, марки огнетушителей, их назначение и ограничение применения. Схема эвакуации.	79
ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ		82
БЕЗОПАСНОСТЬ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ		83
ЗАКЛЮЧЕНИЕ		85
СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СТУДЕНТА		86
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ		89
Приложение А		94

ВВЕДЕНИЕ

В современной промышленности широко применяются изделия из меди и медных сплавов. Медь и медные сплавы широко используются во многих отраслях промышленности благодаря своей коррозионной и износостойкости, например, в машиностроении (шестеренки, втулки, фланцы), судостроении (элементы конструкций и механизмов, контактирующие с морской водой, гребные винты) и нефтяной промышленности (коррозионностойкая оснастка, взрывобезопасный инструмент). Однако, такие сплавы являются дорогостоящими, и разработка технологий ресурсоэффективного производства изделий из них является актуальной задачей для современной промышленности. Аддитивное производство представляет собой перспективный метод получения готовых изделий и заготовок с минимальными затратами на материал.

Создание технологий аддитивного производства изделий из меди и медных сплавов является актуальной задачей, в которой есть ряд не решенных проблем.

Таким образом целью данной работы является исследование реализации процесса аддитивного выращивания изделий из меди и медных сплавов методом электронно-лучевого аддитивного производства и создание технологии, с помощью которого будет обеспечиваться воспроизводимость изготовления изделий как единичного, так и серийного производства.

1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1 Методы аддитивного выращивания изделий из меди и медных сплавов

Аддитивное производство (АП) – это создание изделий, основанное на поэтапном добавлении материала на основу в виде плоской платформы или осевой заготовки.

Процесс АП реализуется путем послойного создания трехмерных деталей согласно их цифровой модели. Реализация данного процесса позволяет изготавливать сложные по форме или индивидуальные детали непосредственно из файлов систем автоматического проектирования без необходимости применения дорогостоящего инструмента или оснастки, таких как пуансоны, литейные формы или штампы, и снижает потребность во многих традиционных этапах обработки.

Для получения изделий или заготовок из меди и медных сплавов с использованием технологии аддитивного производства существуют несколько методов, таких как селективное (выборочное) лазерное сплавление (СЛС), прямое лазерное сплавление металлов (ПЛС), электронно-лучевое проволочное аддитивное производство (ЭЛАП), селективное электронно-лучевое сплавление (СЭЛС) и проволочная электродуговая печать (ПЭП).

Реализация процесса аддитивного выращивания изделий из меди и медных сплавов методом электронно-лучевого аддитивного производства в настоящее время является одной из актуальных задач получения изделий электротехнического и промышленного назначения [1]. Востребованность данного метода может быть, как для производства новых изделий, так и для ремонта или восстановления различных деталей, которые в процессе эксплуатации были повреждены. Использование металлической проволоки в качестве присадки во время 3D-печати, является высокоэффективной технологией для послойного выращивания изделий методом электронно-лучевого аддитивного производства.

Сложность изготовления деталей возникает из-за высокой теплоемкости и теплопроводности меди и медных сплавов и, следовательно, для уменьшения образования дефектов в виде пор требуется предварительный нагрев подложки [1].

Высокая скорость теплоотвода из ванны расплава во время 3D-печати изделий из меди и медных сплавов, приводит к строгому соблюдению параметров данного процесса, не допускающий к закипанию меди в ванне расплава, а так же к переохлаждению меди, когда скорость кристаллизации меди чрезмерно увеличивается [1].

Во время локального перегрева материала в процессе формирования изделия, возможно получение эффекта растекания материала по поверхности изделия. Это происходит из-за низкой скорости кристаллизации, что приводит к образованию различных дефектов. Таким образом текучесть меди зависит от тепловложения во время процесса 3D-печати изделий. И поэтому требуется качественный выбор стратегии реализации процесса аддитивного выращивания изделий из меди и медных сплавов методом аддитивного электронно-лучевого производства, чтобы избежать различий в размерах изделия после печати [2].

В настоящее время технологии АП металлических изделий находятся в стадии интенсивного развития ввиду растущих требований промышленности и необходимости повышения ресурсосбережения.

Большинство технологий, основанных на легировании порошка, послойно нанесенного на подложку, характеризуются довольно высокой себестоимостью производства. К ним относятся СЛС, СЭЛС и ПЛС. Современные методы высокоэффективных аддитивных технологий, в которых в качестве сырья используется металлическая проволока, характеризуются значительно меньшими затратами на производство изделий, особенно крупногабаритных. К ним относятся ПЭП и ЭЛАП.

В то же время эти технологии имеют существенные различия в области применения, а с точки зрения получения материалов на основе меди, титана и

других сплавов электронно-лучевая технология обладает рядом преимуществ таких как процесс получения изделий происходит в вакууме, использование мультипроволочной системы и система формирования развертки, с помощью которой мы можем формировать размеры и формы ванны расплавленного металла.

1.1.1 Селективное лазерное сплавление меди и медных сплавов

Разработки новых методов производства изделий, таких как СЛС, СЭЛС, ПЛС, ЭЛАП и ПЭП, повысят эффективность производства.

Технология СЛС в настоящее время широко распространена (рисунок 1.1). Данную технологию применяют для 3D-печати изделий из разнообразных пластмасс, керамики и металлов. Сущность метода заключается в направленном высокоэнергетическом воздействии лазера на порошок, который в процессе нагрева расплавляется. Порошок подается из бункера с помощью специального ножа (ракеля) на подложку, где равномерно распределяется с заданной толщиной. С помощью сканатора (система специальных зеркал, приводимых в движение пьезодвигателями) происходит смещение лазерного луча по заданной траекторией, в следствии чего порошок начинает плавиться и формировать слои из сплавленного материала.

Данная технология также применяются для создания изделий из меди и ее сплавов. В исследовании [3] были получены результаты процесса селективного лазерного спекания порошков Cu-10%Sn. Когда порошок меди был покрыт оловянным покрытием с помощью электрохимического метода, удалось достичь гомогенной структуры материала. Однако, использование смеси порошков олова и меди привело к неоднородной структуре с консолидированными сферическими частицами олова, которые не удалось полностью расплавить. Путем термической обработки была достигнута более гомогенная структура, но полное растворение всех сферических частиц олова так и не удалось.

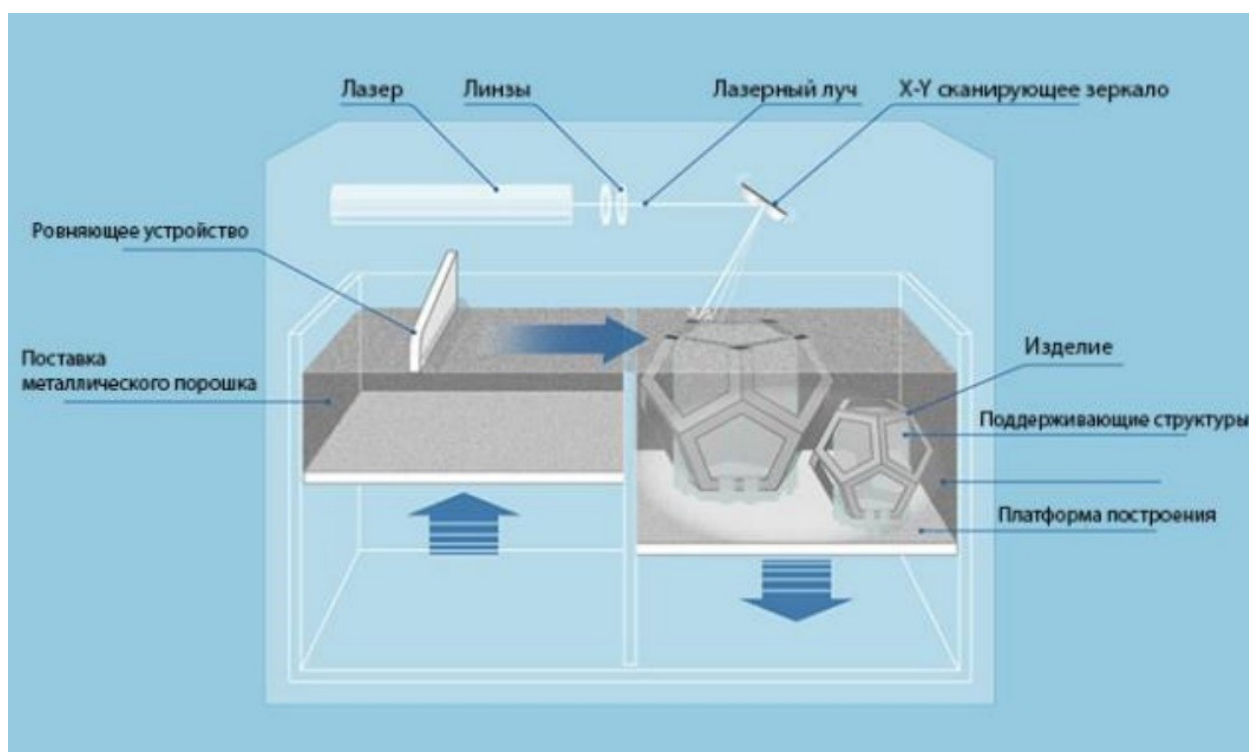


Рисунок 1.1 – Схема процесса селективного лазерного спекания порошков [4]

Затем, в исследовании [4], была проведена оптимизация параметров печати и термической обработки для получения сплава Cu-4,3%Sn с плотностью около 97%, пределом прочности 274 МПа, удлинением 5,6% и удовлетворительной удельной электропроводностью. С помощью сканирующей просвечивающей электронной микроскопии были выявлены частицы диоксида олова в нанометровом масштабе по всей структуре образцов.

В исследовательской работе [5] упоминается процесс сплавления порошков для получения сплава Cu-14%Al-4%Ni, который удалось оптимизировать для достижения плотной структуры образцов (плотность составила 99,47%), но авторы не сообщают данные о механической прочности и структурно-фазовом состоянии образцов.

В относительно новой работе [6] описывается исследование механических свойств и структуры медного сплава системы Cu-Cr-Zr, в котором было обнаружено наличие интерметаллидов системы Cu-Zr и

наноразмерных кластеров Cr в структуре материала. После термообработки было отмечено резкое увеличение прочности образцов с 287 МПа до 466 МПа и снижение относительного удлинения до ~21%. Кроме того, авторы отмечают очень высокую плотность образцов ~99.99%, что является высоким показателем для процесса селективного лазерного плавления.

Хотя авторы статей по использованию селективного лазерного спекания/плавления для получения медных сплавов дали положительную оценку данной технологии, следует отметить, что механические и функциональные свойства напечатанных изделий далеки от идеала в большинстве случаев. Основная причина этого заключается в окислительных процессах. Сложно получить порошки меди, алюминия и титана, используемые в процессе селективного лазерного спекания, без содержания кислорода. Это приводит к образованию оксидных пленок, которые имеют более высокую температуру плавления, чем основной материал, поэтому требуется более высокая температура в области печати. Кроме того, оксиды, которые образуются на границах зерен, не могут быть полностью растворены.

1.1.2 Электродуговая 3D печать меди и медных сплавов

Электродуговая 3D-печать (рисунок 1.2) является другой альтернативой для создания изделий из меди и ее сплавов. Этот метод отличается относительно низкой затратой материалов и усилий при изготовлении крупногабаритных изделий. Однако главным недостатком этой технологии является то, что процесс проходит без специальных камер, используя защитные газы [7], что не обеспечивает полной защиты от окисления высокоактивных металлов.

Мультипроволочная технология применялась для создания сплава Cu-9%Al методом дуговой сварки неплавящимся электродом [9], в которой две проволоки, одна из чистой меди, а другая из чистого алюминия, подавались в зону плавления на медные пластины в качестве подложек. После печати была

проведена термическая обработка для улучшения механических свойств и качества структуры.

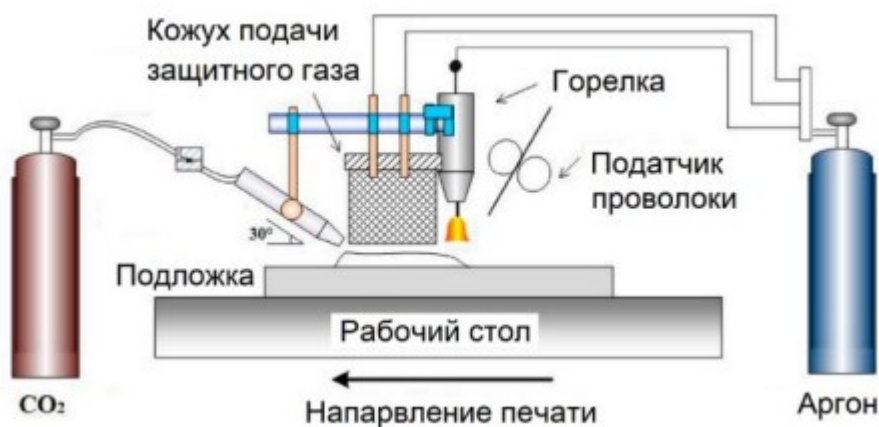


Рисунок 1.2 – Схема процесса ПЭП [9]

Для создания сплава Cu-9%Al методом ПЭП неплавящимся электродом использовалась мультипроволочная технология [9], в которой две проволоки, одна из чистой меди, а другая из чистого алюминия, подавались в зону плавления на медные пластины в качестве подложек. После печати была проведена термическая обработка для улучшения механических свойств и качества структуры. Однако авторы обнаружили две интерметаллидные фазы Cu₉Al₁₁ и CuAl₂, что, по их мнению, связано с нестабильностью процесса сварки и отсутствием гомогенизации структуры. Было выявлено, что быстрый процесс охлаждения дуговой сварки приводит к формированию множества интерметаллидов вместо твердого раствора, что мешает диффузии и формированию твердого раствора [9].

В одной из исследовательских работ был описан процесс, в котором с помощью нескольких податчиков проволок и технологии ПЭП сделали сплав системы Cu-Al-Si, при которой применялись проволоки Cu-3%Si-1%Mn и Cu-3%Si-1%Mn Al-5%Si. Авторам удалось подобрать оптимальный режим скорости подачи проволоки, чтобы получить бездефектные образцы. Химический состав созданных образцов зависел от скорости подачи проволоки алюминиевого сплава и варьировался в пределах от 4,34% до

6,58%, при этом количество Si оставалось примерно одинаковым и составляло 2,2%. Также было отмечено формирование интерметаллидов $\text{Cu}_9\text{Al}_{11}$ и CuAl_2 , а также оксидов SiO_2 [10, 11]

1.1.3 Селективное электронно-лучевое сплавление меди и медных сплавов

Автор в своем исследовании [12] описывает возможность создания на основе медных порошков ячеистых структур, содержащих оксиды меди, с помощью технологии СЭЛС (рисунок 1.3). Варьируя условия 3D-печати, были получены образцы с разной плотностью - от $0,73 \text{ г/см}^3$ до $6,67 \text{ г/см}^3$. Микротвердость и Модуль Юнга, полученных структур, были очень близки к тем, что получают из титанового порошка Ti-6Al-4V [12].

Также отмечается, что высокое содержание кислорода или оксидов при использовании порошковой технологии аддитивного производства может привести к образованию столбчатых оксидных структур, которые существенно влияют на теплопроводность и электрическую проводимость медных изделий, созданных с помощью электронно-лучевого плавления. Автор в своей исследовательской работе [13] показал, что можно получить образцы из медного порошка плотностью до 99,95%, управляя условиями электронно-лучевой печати. Слишком низкая или слишком высокая энергия электронного луча может привести к образованию больших пор (диаметром около 50 мкм) [13].

Результаты исследовательской работы [14], показывают, что даже небольшая пористость в напечатанном материале из технической чистой меди оказывает небольшое отрицательное влияние на его тепло- и электропроводность. Однако, наличие пор и не проводящих частиц, таких как оксиды и карбиды, внутри материала может существенно снизить его проводимость из-за уменьшенного поперечного сечения проводимости.

Исходя из этого, для производства высококачественных компонентов необходимо исключить возможность образования пор и оксидов в структуре

материала, так как это влияет не только на механические, но и эксплуатационные характеристики [14].

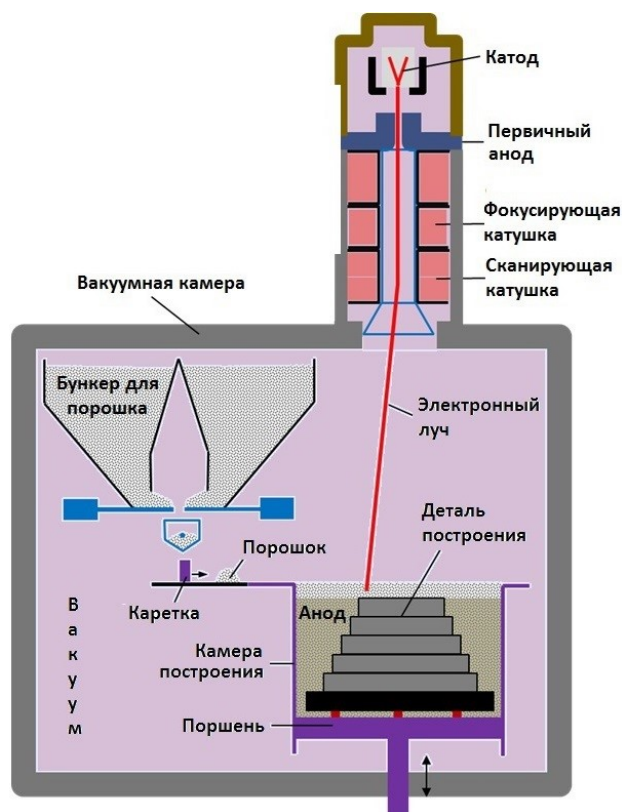


Рисунок 1.3 – Схема процесса СЭЛС

В следующей работе [15] было изучено влияние режимов электронно-лучевой 3D-печати на микроструктуру материала. Показано, что изменение энергии электронного луча может привести к формированию столбчатых или равноосных зерен, которые в свою очередь влияют на анизотропию механических свойств [15].

В исследовательской работе [16] есть описание электронно-лучевой 3D-печати изделий из медного порошка с добавлением оксидной дисперсии 5% Al_2O_3 . Оказалось, что частицы имели несферическую морфологию и содержали слой оксида меди на своей поверхности. В процессе печати частицы оксида алюминия коагулировали, что привело к потере эффекта дисперсного упрочнения [16].

В работе [17] автор опубликовал результаты исследования макроячейных структур образцов, изготовленных с применением технологий

аддитивного производства, из сплава Cu–21,5%Al методом СЭЛС порошков. По данным энергодисперсионного и микроструктурного анализа в образцах ячеистых структур были обнаружены различные фазы: крупные зерна твердого раствора меди (твердый раствор меди с 19 ат.% алюминия), метастабильная β -фаза (25 ат.% Al) и области эвтектоидов состоящих из γ -фазы (30 ат.% Al) и медных ламелей (19 ат.% Al). Авторы считают, что образование области эвтектоида было вызвано затвердеванием расплавленного порошка (21,5 ат.% Al) с образованием крупных первичных зерен твердого раствора меди и β -фазы с последующим превращением эвтектоида высокотемпературной β -фазы при 567°C в более мелкие зерна меди и γ -фазы. Установлено, что твердый раствор меди окружен непрерывной или прерывистой β -фазой. Это явление тесно связано с так называемым полным и неполным смачиванием границ зерен жидкой или вторичной твердой фазой при повышенных температурах, вызванных процессом плавления. Показано, что модуль Юнга и предел прочности при соосном растяжении существенно зависят от направления выращивания изделия, в то время как предел текучести и деформация до разрушения не показывают такой зависимости. Несмотря на большое количество хрупких интерметаллических фаз, все образцы Cu–Al имеют площадку текучести после линейной упругой зоны [17].

Таким образом можно сказать, что для создания сплавов на основе меди, обычно используют метод плавления порошкового слоя посредством электронного пучка или лазера. Однако, для производства чистой меди, электронно-лучевое аддитивное производство может быть более практичным и эффективным подходом. Это связано с тем, что порошки чистой меди отражают длины лазерных волн в диапазоне 1000–1100 нм, используемый в большинстве лазерных 3D принтеров, что приводит к неэффективному нагреву и плавлению порошков [18]. А при использовании электронного пучка поглощение достигает 80%, что достаточно для эффективного плавления порошков и создания плотных деталей [19, 20]. Кроме того, СЭЛС осуществляется в условиях высокого вакуума, который предотвращает

атмосферное окисление металлических порошков с высоким сродством к кислороду, таких как титан и медь [21].

1.1.4 Выращивание изделий из меди и медных сплавов методом проволочного электронно-лучевого аддитивного производства

Технология ЭЛАП является наиболее эффективным и перспективным методом аддитивного производства изделий и заготовок из меди и медных сплавов (рисунок 1.4).

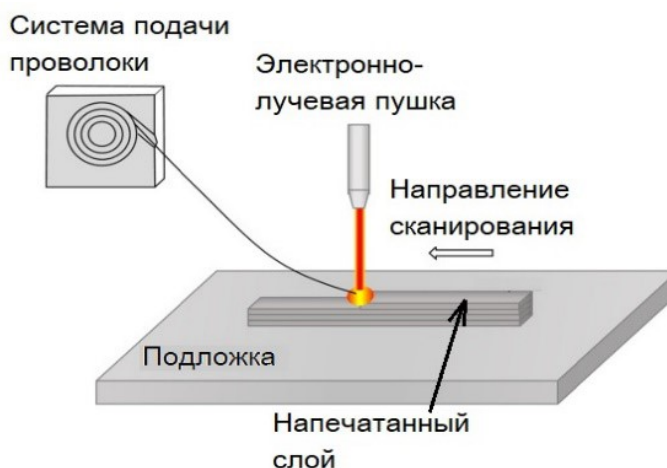


Рисунок 1.4 – Схема процесса ЭЛАП

Применение прутка или проволоки из меди или медных сплавов в качестве филамента снижает риск наличие оксидов в структуре изготовленного изделия методом АП, а применение вакуумной камеры во время реализация процесса 3D-печати сводит этот риск к нулю. Кроме того, совокупность вакуумной камеры, ЭЛАП и проволочной технологии существенно снижает затраты на 3D-печать, повышает производительность процесса печати, способствуют повышению физико-механических свойств и снизить вероятность формирования дефектов в напечатанных изделиях.

1.2 Влияние тепловложения на структуру и механические свойства медного сплава

В одной из работ [22] автор описывает процесс выращивания тонкостенных образцов из сплавов БрА7 и БрКМц3-1 методом проволочного электронно-лучевого аддитивного производства. Данные образцы были получены из проволоки сплошного сечения диаметром 1,2 мм. с химическим составом, указанным в таблице 1.1 и 1.2

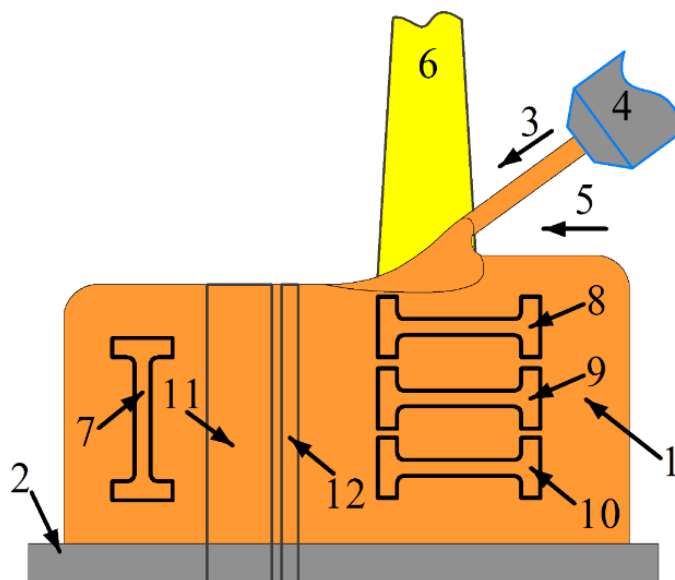
Таблица 1.1 – Химический состав проволоки БрА7

Cu, %	Fe, %	Si, %	Zn, %	Pb, %	Al, %	Mn, %
Основа	0,4	0,1	0,1	0,01	7-8	0,3

Таблица 1.2 – Химический состав проволоки БрКМц3-1

Cu, %	Fe, %	Si, %	Zn, %	Sn, %	Mn, %
Основа	0,05	3	0,05	0,01	0,9

В исследовании, описанном в работе [22], автор указал на схему 3D-печати тонкостенных образцов из медных сплавов БрКМц3-1 и БрА7, а также вырезки образцов для проведения структурных исследований и механических испытаний показана на рисунке 1.5. Для изучения влияния режимов печати методом ЭЛАП на структурное состояние и механические свойства проводилась печать образцов с разным тепловложением [22].



1 – напечатанный образец из медного сплава, 2 – подложка из нержавеющей стали, 3 – направление подачи проволоки из медного сплава, 4 – направляющая податчика проволоки, 5 – направление 3D-печати слоя, 6 – электронный луч, 7-10 – образцы для испытаний на соосное растяжение, 11, 12 – образцы для исследования

Рисунок 1.5 – Схема процесса 3D-печати методом медных сплавов
БрА7 и БрКМц 3-1 [22]

1.2.1 Структурное исследование образцов из медных сплавов БрА7

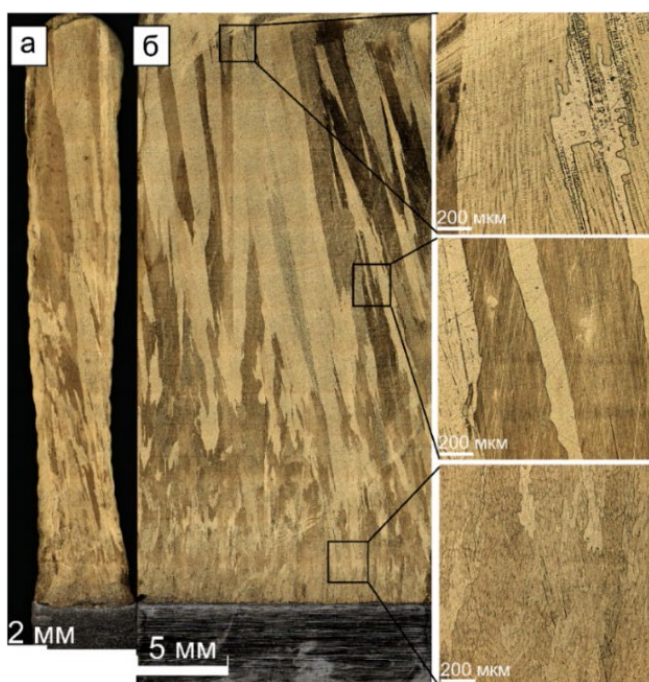
По результатам исследований [22] металлографических изображений образцов из медного сплава БрА7, напечатанных методом проволочного электронно-лучевого аддитивного производства, автор сделал следующие выводы:

- во всех случаях структура образцов представлена столбчатыми зернами (рисунки 1.6 и 1.7);
- более высокое тепловложение во время процесса 3D-печати образцов способствует формированию зерен с наибольшей толщиной до 1,5 мм. (рисунок 1.6);
- снижение тепловложения во время 3D-печати привело к уменьшению максимальной толщины зерна до 0,75 мм. (рисунок 1.7);

– увеличение тепловложения привело к тому, что в напечатанных образцах сформировались столбчатые зерна, чья траектория роста располагается под углом $\sim 80^\circ$ к основанию поверхности подложки:

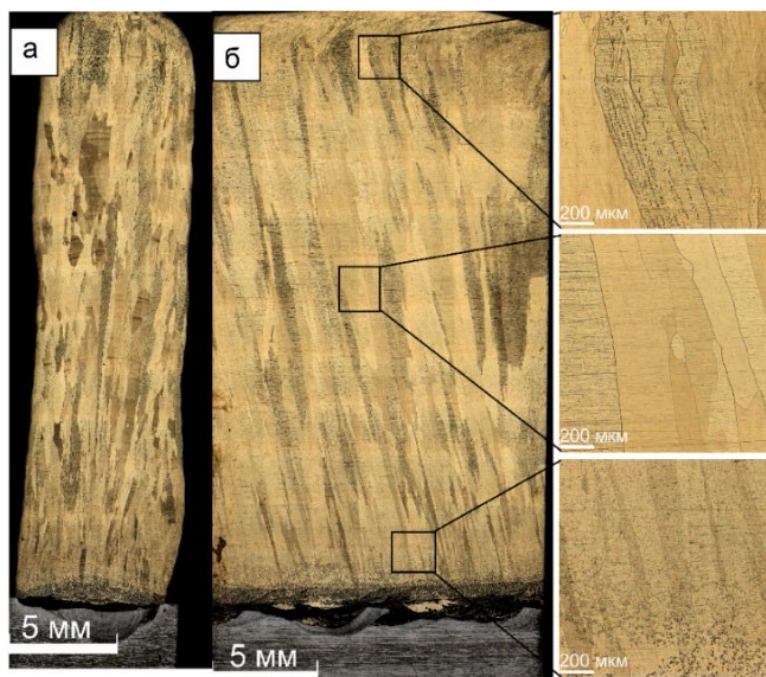
– из-за большого тепловложения в нижних напечатанных слоях границы зерен стали прямолинейными. В результате увеличения тепловложения формируется большая ванна расплава и зона термического влияния, что способствует снижению скорости кристаллизации и росту крупных прямолинейных столбчатых зерен;

– уменьшение тепловложения приводит к изменению структуры напечатанных образцов. Кривизна границ заметно увеличивается, а траектория роста столбчатых зерен становится менее выраженной. Это вызвано особенностями изменения условий теплоотвода из зоны печати в процессе 3D-печати методом ЭЛАП в условиях вакуума [22].



а – поперечное сечение образца, б – продольное сечение образца

Рисунок 1.6 – Металлографические изображения тонкостенного образца из медного сплава БрА7, напечатанного методом ЭЛАП с максимальным тепловложением [22]



а – поперечное сечение образца, б – продольное сечение образца

Рисунок 1.7 – Металлографические изображения тонкостенного образца из медного сплава БрА7, напечатанного методом ЭЛАП с минимальным тепловложением [22]

1.2.2 Структурное исследование образцов из медных сплавов БрКМц 3-1

Результаты исследований [22] металлографических изображений образцов из медного сплава БрКМц 3-1, напечатанных методом ЭЛАП, во многом схожи с результатами металлографических образцов из медного сплава БрА7, тем же методом 3D-печати.

В исследовании [22] металлографических изображениях, автор [22] указывает на то, что режимы 3D-печати образцов из БрКМц 3-1 методом ЭЛАП, так же влияют на структуру образца, как и у образца медного сплава БрА7:

- структура образцов представлена столбчатыми зёрнами и чем больше тепловложение в образец во время 3D-печати образца, тем больше толщина столбчатого зёрна;
- толщина зёрна увеличивается по мере увеличения высоты стенки;

- уменьшение тепловложения приводит к изменению структуры напечатанного образца. Траектория роста столбчатых зерен становится менее выраженной, а кривизна границ заметно увеличивается;
- по мере увеличения высоты стенки толщина зерна увеличивается [22].

1.2.3 Механические свойства образцов из медных сплавов БрА7

Автор исследования [22] для определения механических свойств, напечатанных медных сплавов, проводил испытания на одноосное растяжение с использованием универсальной испытательной машины. Для этого были вырезаны образцы в форме лопаток. Размеры образцов приведены на рисунке 1.8. Скорость растяжения 1 мм/мин. По результатам выполненных испытаний [22] определяли условный предел текучести, предел прочности и относительное удлинение до разрушения.

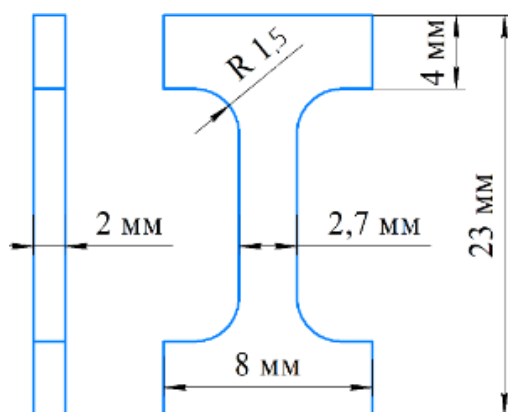


Рисунок 1.8 – Габаритные размеры образца для проведения испытания на одноосное растяжение [22]

В исследовании [22] провели механические испытания влияния структурного состояния образца из медного сплава БрА7, сформированного в процессе 3D-печати. Результаты испытания занесены в таблицы 1.3 и 1.4.

Таблица 1.3 – Условный предел текучести, (МПа)

Режим 3D-печати	Направление вырезки			
	Ортогональное	Продольное		
		Нижние слои	Средние слои	Верхние слои
Минимальное тепловложение 0,14 кДж/мм	98±3,6	130±5,2	123±4,2	99±4,2
Максимальное тепловложение 0,54 кДж/мм	95±3,5	147±5,9	92±3,1	87±3,7

Таблица 1.4 – Предел прочности, (МПа)

Режим печати	Направление вырезки			
	Ортогональное	Продольное		
		Нижние слои	Средние слои	Верхние слои
Минимальное тепловложение 0,14 кДж/мм	228±9,9	383±15,3	379±12,9	308±10,2
Максимальное тепловложение 0,54 кДж/мм	268±9,9	395±15,8	284±8,8	273±9,0

Результаты механических испытаний на одноосное растяжение показывают закономерное влияние структуры на механические свойства образцов медных сплавов, т.е. видно прямую зависимость механических свойств образцов из медных сплавов от режимов печати и её условий.

2 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Материалы исследования

Для проведения экспериментальных исследований использовались:

– проволока сплошного сечения диаметром 1,0 мм производства компании ESAB (шведская промышленная компания) из медного сплава БрА7 (OK AUTROD 19.40, EN ISO 24373). Химический состав этой проволоки приведен в таблице 1.1

– подложки в виде пластин из аустенитной нержавеющей стали марки 12X18H10T ГОСТ 7350-77 размером 60×125×5 мм.

2.2 Экспериментальная установка проволочного электронно-лучевого аддитивного производства

Получения образцов из медного сплава БрА7 осуществлялась с помощью проволочной технологии электронно-лучевого аддитивного производства на лабораторной установке с рабочим объёмом вакуумной камеры 8м³, разработанной ИФПМ СО РАН и ООО НПК «ЛучЭнергоПром» (рисунок 2.1).



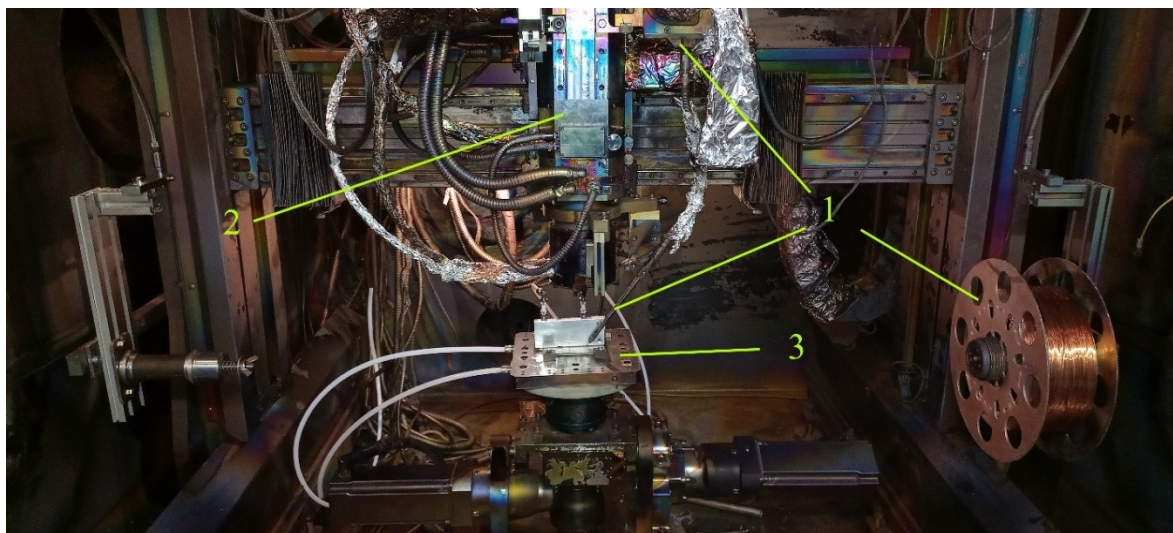
Рисунок 2.1 – Внешний вид лабораторной установки ЭЛАП

Данная установка оборудована форвакуумными и диффузионными насосами, что позволяет в вакуумной камере достигать рабочего давления 0,003 Па. Мощность электронно-лучевого оборудования на установке 15 кВт.

Принцип работы проволочной электронно-лучевой установки аддитивного производства: электронно-лучевая пушка (рисунок 2.2) генерирует электронный пучок, а система управления лучом формирует развертку электронного луча (рисунок 2.3).

Задаваемая мощность электронного луча и выбор типа развертки луча, а также её размер и частоту, формирует требуемую по размеру ванну расплава металла. Таким образом размер ванны расплава металла задается исходя из диаметра металлической проволоки и режима печати. В сформированную ванну расплава подается металлическая проволока с помощью проволокоподатчика (рисунок 2.2). Проволока в ванне расплавляется, формируя слой. Для формирования направления слоев образца используется пятикоординатный водоохлаждаемый стол (рисунок 2.2). Для улучшения теплоотвода от образца была применена дополнительная водоохлаждаемая плита, которая установлена перпендикулярно водоохлаждаемому столу (рисунок 2.4). С помощью водоохлаждаемой плиты, в процессе 3D-печати, обеспечивается дополнительный теплоотвод от боковой стенки образца. Во время 3D-печати, вдоль водоохлаждаемой плиты, смещение электронного луча не происходит, а перемещается только водоохлаждаемый стол с закрепленной на нем металлической подложкой.

Скорость перемещения стола и подачи проволоки задается G-кодом. В процессе 3D-печати есть возможность регулировки параметров электронно-лучевой пушки, скорости перемещения стола и подачи проволоки, что дает гибкое управление режимами 3D-печати. 3D-печать осуществляется в условиях вакуума.



1—проволокоподатчик, 2—электронно-лучевая пушка, 3—водоохлаждаемый стол

Рисунок 2.2 – Внешний вид пятикоординатного водоохлаждаемого стола с проволокоподатчиком.



Рисунок 2.3 – Схематичное изображения развертки электронного луча



Рисунок 2.4 – Внешний вид водоохлаждаемой плиты

2.3 Образцы из медного сплава БрА7, полученные методом проволочного электронно-лучевого аддитивного производства

Для проведения экспериментальных исследований были изготовлены тонкостенные образцы из медного сплава БрА7 (алюминиевая бронза) размером 120×30 мм. с тепловложением равным 0,18 кДж/мм. Определение влияния режима электронно-лучевого аддитивного производства на механические свойства изделий из медного сплава выполнена путем 3D-печати образцов методом ЭЛАП с применением разных режимов и условий печати.

3D-печать осуществлялась на подложке из аустенитной стали марки 12X18H10T толщиной 5 мм. Перед проведением процесса 3D-печати все подложки были отшлифованы и обработаны ацетоном. Базовые параметры проведения процесса 3D-печати образцов из медного сплава БрА7 приведены в таблице 2.1. Схематическое изображение направление печати слоев образца показано на рисунке 2.5.

Таблица 2.1 – Базовые параметры процесса печати

№ образца	Ток луча, мА	Скорость перемещения стола, мм/мин	Диаметр развертки, мм	Частота развертки, кГц	Ускоряющее напряжение, кВ	Время остановки печати между слоями, с	Дополнительный теплоотвод с боковой поверхности образца
1	40	400	4,0	1,0	30	5	есть
2	40	350	4,0	1,0	30	0	нет

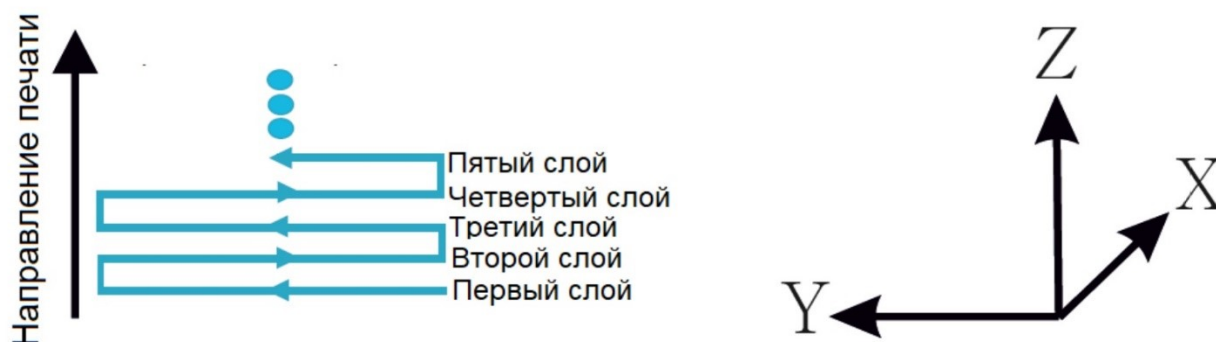
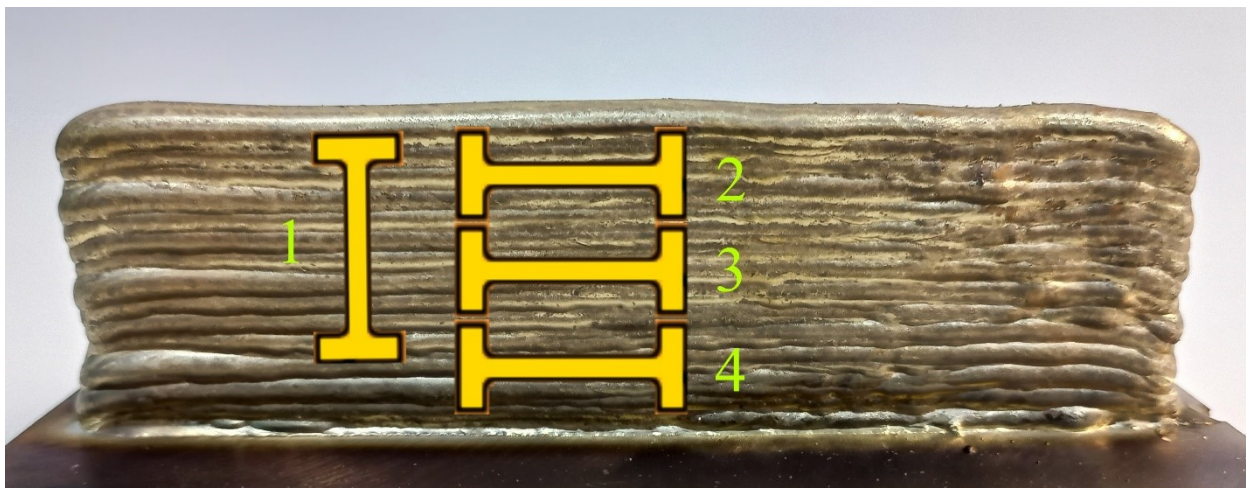


Рисунок 2.5 – Схематическое изображение направление печати слоев образца

2.4 Методы исследования образцов из медного сплава БрА7

Для проведения исследований тонкостенных образцов из медного сплава БрА7 осуществлялась вырезка образцов в форме лопаток ГОСТ 1497- 84 при помощи электроэрозионного станка. На рисунках 1.8 и 2.6 представлена схема и габаритные размеры вырезки образцов в форме лопаток.



1-4 – образцы для механических испытаний (растяжение)

Рисунок 2.6 – Схема вырезки образцов из медного сплава БрА7 для проведения механических испытаний. Механические испытания (растяжение)

Для определения механических свойств, вырезанных образцов, проводили испытания на одноосное растяжение с использованием универсальной испытательной машины «УТС 110М-100 Тестсистемы» (рисунок 2.7) ГОСТ 28840-90. Скорость растяжения 1 мм/мин. По результатам выполненных испытаний определяли условный предел текучести, предел прочности и относительное удлинение до разрушения.

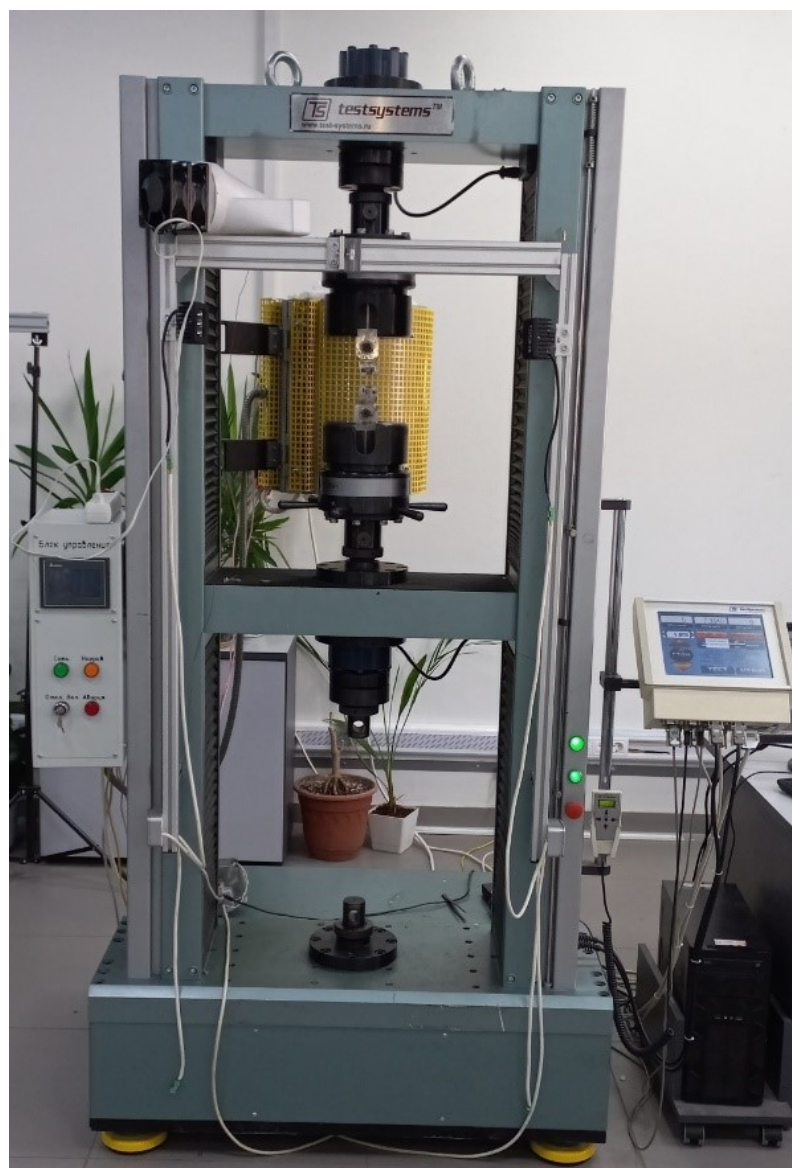


Рисунок 2.7 – Универсальная испытательная машина «УТС110М-100
Тестсистемы»

3 РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В данной главе представлены результаты экспериментального исследования влияния режимов и условий 3D-печати методом ЭЛАП на свойства тонкостенных образцов, напечатанных из медного сплава БрА7.

3.1 Влияние режимов проволочного электронно-лучевого аддитивного производства на механические свойства тонкостенных образцов из медного сплава БрА7

Для проведения механических испытаний на одноосное растяжение были вырезаны образцы из медного сплава БрА7 в форме лопаток (рисунок 1.8) в разных направлениях относительно траектории формирования слоев из каждой напечатанной стенки. Также были вырезаны образцы из нижних, средних и верхних слоев стенок в направлении вдоль траектории формирования слоев.

Согласно схеме, приведенной на рисунке 2.6, выполнена вырезка образцов. Полученные результаты механических испытаний занесли в таблицы 3.1 и 3.2.

Таблица 3.1 – Результаты экспериментального исследования образцов медного сплава БрА7 (образец №1)

Механические свойства	Направления вырезки			
	Ортогональное (образец №1)	Продольное		
		Нижние слои (образец №4)	Средние слои (образец №3)	Верхние слои (образец №2)
Условный предел текучести, (МПа)	112±4,4	141±5,6	132±5,3	128±5,1
Предел прочности, (Мпа)	305±12,2	395±15,8	389±15,4	378±12,9
Деформация до разрушения, (%)	78±2,3	66±2,2	59±2,0	63±2,1

Таблица 3.2 – Результаты экспериментального исследования образцов медного сплава БрА7 (образец №2)

Механические свойства	Направления вырезки			
	Ортогональное (образец №1)	Продольное		
		Нижние слои (образец №4)	Средние слои (образец №3)	Верхние слои (образец №2)
Условный предел текучести, (МПа)	95±3,4	129±5,2	117±4,3	96±3,8
Предел прочности, (Мпа)	267±8,9	322±10,8	286±10,2	257±8,2
Деформация до разрушения, (%)	87±2,5	71±2,1	67±2,6	66±2,4

Из анализа полученных результатов экспериментального исследования механических свойств образцов наблюдается значительная неоднородность механических свойств как по прочности, так и по пластичности у образцов,

напечатанных без дополнительного теплоотвода с боковой поверхности образца во время 3D-печати. Образцы, вырезанные в продольном направлении, имеют низкую пластичность по сравнению с образцами, вырезанных в ортогональном направлении. Так же видно, что предел прочности у образцов, вырезанных в продольном направлении, выше, чем у образцов, вырезанных в ортогональном направлении.

Полученные результаты сводных таблиц экспериментального исследования указывают на изменение механических свойств у образцов медного сплава БрА7, и это связано с изменением режима и условий 3D-печати. Дополнительный теплоотвод с боковой стенки способствует увеличению скорости кристаллизации во время 3D-печати, что не допускает формирование крупных зерен в образце. Указанные обстоятельства способствуют повышению и воспроизводимости механических свойств у образцов из меди и медных сплавов, выращенных послойно методом проволочного электронно-лучевого аддитивного производства.

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-1В81	Кушнарёв Юрий Владимирович

Школа	ИШНКБ	Отделение школы (НОЦ)	Электронной инженерии
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	15.03.01 «Машиностроение»

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

1. Стоимость ресурсов исследования: материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость выполняемых работ, материальных ресурсов, согласно применяемой техники и технологии, в соответствии с рыночными ценами.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	- районный коэффициент- 1,3; - премиальный коэффициент – 0.3; - накладные расходы – 16%
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	В соответствии с налоговым кодексом Российской Федерации. Отчисления во внебюджетные фонды – 30,2 %

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения исследования с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Анализ потенциальных потребителей, анализ конкурентных технических решений, оценка готовности проекта к коммерциализации
2. Планирование и формирование бюджета проекта	Определение этапов работ; определение трудоемкости работ; разработка графика Ганта Определение затрат на проектирование (смета затрат)
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Расчет интегрального показателя эффективности проекта

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценочная карта конкурентных технических решений
2. Диаграмма Ганта
3. Расчет бюджета затрат исследования

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику:	08.02.2023
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Рыжакина Татьяна Гавриловна	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-1В81	Кушнарёв Юрий Владимирович		

4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Научно-исследовательская работа производится группой работников, состоящей из двух человек – руководителя и студента.

Сущность данного проекта заключается в исследовании реализации процесса аддитивного выращивания изделий из меди и медных сплавов методом электронно-лучевого аддитивного производства. Были получены экспериментальные данные, с помощью которых была разработана технология изготовления изделий и заготовок из меди и медных сплавов.

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности исследовательского проекта, оценка его эффективности, уровня возможных рисков, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

Для достижения обозначенной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Оценить коммерческий потенциал и перспективность разработки.
2. Осуществить планирование этапов выполнения исследования.
3. Рассчитать бюджет затрат на исследования.
4. Произвести оценку научно-технического уровня исследования и оценку рисков.

4.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Выпускная квалификационная работа по теме «Исследование реализации процесса аддитивного выращивания изделий из меди и медных сплавов методом электронно-лучевого аддитивного производства», выполняется в рамках исследовательской работы для ООО НПК «Лучэнергопром». Заинтересованными лицами в полученных данных будет являться сама организация.

Суть работы заключается в исследовании и разработке процесса аддитивного электронно-лучевого выращивания изделий из меди и медных сплавов. Сегментирование рынка представлено в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Сегментирование рынка

	Показатели		
	Низкий показатель	Средний показатель	Высокий показатель
Качество 3D-печати	3	2	1
Скорость 3D-печати	2,3	2	1
Возможность	3	2	1,2

где 1 – проволочное аддитивное электронно-лучевое производство (ЭЛАП);

2 – селективная электронно-лучевая 3D-печать металлическими порошками (СЭЛС);

3 – селективная лазерная 3D-печать металлическими порошками (СЛС).

По данным результата сегментирования можно сделать вывод, что уровень конкуренции низок. Автоматически запрограммированная проволочная электронно-лучевая 3D-печать – хороший способ для получения качественных изделий и заготовок.

4.2 Анализ конкурентных технических решений

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений представлена в таблице 4.2.

В таблице представлены основные конкуренты и критерии оценки конкурентной способности. Каждый показатель оценивается по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Вес показателей определяется в соответствии с их значимостью и в сумме составляет единицу.

По таблице 4.2 видно, что 3D-печать методом ЭЛАП может конкурировать с другими методами 3D-печати, такие как СЭЛС и СЛС.

Таблица 4.2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _Е	Б _И	Б _В	К _Е	К _И	К _В
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Качество изделия	0,2	5	4	4	1	0,4	0,4
2. Производительность труда	0,1	4	4	4	0,5	0,8	0,6
2. Нетребовательность к квалификации оператора	0,1	5	2	2	1	0,8	0,8
4. Универсальность метода	0,15	4	5	3	0,6	0,3	0,45
5. Безопасность метода	0,15	5	3	3	0,75	0,6	0,5
Экономические критерии оценки эффективности							
6. Цена	0,1	4	3	1	0,5	0,4	0,3
7. Конкурентоспособность	0,1	4	3	3	0,4	0,3	0,3
8. Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	4	3	5	0,5	0,5	1
Итого	1	34	28	25	4,75	3,4	4,35

где Б_Е – ЭЛАП;

Б_И – СЭЛС;

Б_В – СЛС.

К_Е, К_И, К_В – конкурентоспособность разработки для соответствующих способов сварки.

4.3 SWOT – анализ

Произведем также в данном разделе SWOT – анализ исследовательского проекта, позволяющий оценить факторы и явления, способствующие или препятствующие продвижению проекта на рынок.

Сильные стороны — это факторы, которые положительно сказываются на развитии проекта. Сюда обычно включают все, что превращает функционирование в успешную и конкурентную работу.

Слабые стороны— это недостаток, упущение или ограниченность научно-исследовательского проекта, которые препятствуют достижению его целей. Это то, что плохо получается в рамках проекта или где он располагает недостаточными возможностями или ресурсами по сравнению с конкурентами.

Возможности включают в себя любую предпочтительную ситуацию в настоящем или будущем, возникающую в условиях окружающей среды проекта: тенденцию, изменение или предполагаемую потребность, которая поддерживает спрос на результаты проекта и позволяет руководству проекта улучшить свою конкурентную позицию.

На первом этапе SWOT анализа в таблице 4.3 были описаны сильные и слабые стороны проекта, выявлены возможности и угрозы реализации исследовательской проекта.

Таблица 4.3 – Матрица SWOT анализа

Сильные стороны	Возможности во внешней среде
С1. Методы, описанные в работе, несут в себе экономичность и ресурсоэффективность; С2. Актуальность и высокая технологичность методов; С3. Наличие опытного руководителя. С4. Нетребовательность к квалификации оператора установки.	В1. Большой потенциал применения метода в России и других странах; В2. Публикации о проекте в тематических журналах. В3. Нетребовательность к квалификации оператора установки позволяет легче приспособить данный метод к использованию в других странах.
Слабые стороны	Угрозы внешней среды
Сл1. Сложность оборудования для проведения экспериментов;	У1. Отсутствие спроса на данные методы;

Сл2. Отсутствие производства оборудования для 3D-печати.	У2. Внедрение в производство конкурирующих способов 3D-печати; У3. Нехватка финансирования.
--	--

Угроза представляет собой любую нежелательную ситуацию, тенденцию или изменение в условиях окружающей среды проекта, которые имеют разрушительный или угрожающий характер для его конкурентоспособности в настоящем или будущем. В качестве угрозы может выступать барьер, ограничение или что-либо еще, что может повлечь за собой проблемы, разрушения, вред или ущерб, наносимый проекту.

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений. В рамках данного этапа необходимо построить интерактивную матрицу проекта. Ее использование помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей матрицы SWOT. Возможно использование этой матрицы в качестве одной из основ для оценки вариантов стратегического выбора. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-». Интерактивная матрица проекта представлена в таблицах 4.4 – 4.5

Таблица 4.4 – Интерактивная матрица сильных и слабых сторон и возможностей

	Сильные стороны					Слабые стороны	
		С1	С2	С3	С4	Сл1	Сл2
Возможности проекта	B1	+	0	0	+	0	0
	B2	+	+	+	+	+	+
	B3	+	+	+	+	+	0

Таблица 4.5 – Интерактивная матрица сильных сторон и слабых сторон и угроз

	Сильные стороны					Слабые стороны	
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4	Сл1	Сл2
	У1	+	+	+	+	-	-
	У2	+	+	+	+	-	-
	У3	+	+	+	0	-	-

Самой большой угрозой для проекта является консерватизм предприятий и замена конкурирующими методами.

Что касается слабых сторон, то оборудование для данного способа сварки отсутствует в производстве.

В рамках третьего этапа составляется итоговая матрица SWOT-анализа, представленная в таблице 4.6.

Таблица 4.6 - Итоговая матрица SWOT-анализа

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Методы, описанные в работе, несут в себе экономичность и ресурсоэффективность; С2. Актуальность и высокая технологичность методов; С3. Наличие опытного руководителя. С4. Нетребовательность к квалификации оператора установки.	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Сложность оборудования для проведения экспериментов; Сл2. Отсутствие производства данного оборудования.
Возможности: В1. Большой потенциал применения метода в России и других странах; В2. Публикации о проекте в тематических журналах. В3. Нетребовательность к квалификации оператора установки позволяет легче приспособить данный метод к использованию в других странах.	Разработка данного метода 3D-печати повысит ресурсоэффективность и качество сварочных работ на производстве.	Изучение данного метода способствует разработке оборудования для 3D-печати, его выпуску и внедрению на производство.
Угрозы: У1. Отсутствие спроса на данные методы;	Нетребовательность к квалификации оператора установки снижает	Самой большой угрозой для проекта является консерватизм предприятий

У2. Внедрение в производство конкурирующих способов 3D-печати; У3. Нехватка финансирования.	экономические затраты на сварочные работы, увеличивая спрос на применение данного метода на производстве.	и замена конкурирующими методами.
--	---	-----------------------------------

4.4 Планирование работ по научно-техническому исследованию

4.4.1 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.

Перечень этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Выбор направления исследований	Бакалавр Ассистент
	3	Подбор и изучение материалов по теме	Бакалавр
	4	Календарное планирование работ	Ассистент Бакалавр
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Проведение экспериментов	Ассистент Бакалавр
	6	Обработка полученных экспериментальных данных	Бакалавр
Обобщение и оценка результатов	7	Анализ результатов и проверка научным руководителем	Руководитель Бакалавр
Написание раздела «Социальная ответственность»	8	Анализ работы с точки зрения безопасности	Бакалавр

Написание раздела «Финансовый менеджмент»	9	Анализ работы с экономической точки зрения	Бакалавр
Оформление отчета по НИР	10	Подведение итогов, оформление работы	Бакалавр

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.

4.4.2 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, который зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ож\ i}$ используется следующая формула:

$$t_{ож\ i} = \frac{3t_{min\ i} + 2t_{max\ i}}{5}, \quad (1)$$

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

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

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

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ по нескольким исполнителями.

$$T_{pi} = \frac{T_{ож i}}{Ч_i}, \quad (2)$$

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

$t_{ож i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

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

4.4.3 Разработка графика проведения научного исследования

Наиболее удобным и наглядным представлением проведения научных работ является построение ленточного графика 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 построение графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (3)$$

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

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

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - (T_{\text{вых}} + T_{\text{пр}})}, \quad (4)$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году;

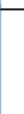
$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

Расчет коэффициента календарности:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - (T_{\text{вых}} + T_{\text{пр}})} = \frac{365}{365 - (104 + 14)} = 1,47$$

Составлен план научного исследования, в котором разработан календарный план выполнения работ. Для построения таблицы временных показателей проведения НИ приложение А был рассчитан коэффициент календарности. С помощью показателей в таблице А1 был разработан календарный план-график таблица 4.8 проведения НИ.

Таблица 4.8 - Календарный план-график проведения научного исследования

№ ра- бот	Вид работ	Испол- нители	Т _{кi} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ											
				февраль		март			апрель			май			
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
1	Выбор темы ВКР	Ст, НР	1												
2	Составление и утверждение плана работ	НР, Ас	1												
4	Выбор направления исследования	Ст, Ас	2												
5	Календарное планирование работ	Ст, НР	2												
6	Подбор и изучение материалов по теме	Ст	16												
7	Проведение экспериментов	Ст, Ас	13												
8	Обработка полученных экспериментальных данных	Ст	9												
9	Анализ результатов и проверка научным руководителем	Ст, НР	4												
10	Написание раздела «Финансовый менеджмент»	Ст	5												
11	Написание раздела «Социальная ответственность»	Ст	1												
12	Оформление ВКР	Ст	5												

 – научный руководитель;  – студент.

Для иллюстрации календарного плана была использована диаграмма Ганта, указывающая на целесообразность проведения данного исследования.

4.5 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

1. Материальные затраты;
2. Амортизационные отчисления;
3. Заработная плата исполнителей;
4. Отчисления во внебюджетные фонды;
5. Накладные расходы.

4.5.1 Расчет материальных затрат НТИ

При планировании бюджета научно-техническое исследование должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением.

Расчет материальных затрат осуществляется по формуле:

$$З_M = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m Ц_i \cdot N_{расхi}, \quad (5)$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{расхi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

$Ц_i$ – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Таблица 4.9 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Цена за ед., руб.	Количество	Сумма, руб.
Офисная бумага, упаковка 500листов	шт.	480	1	480
Ручка	шт.	25	4	100
Тетрадь, 48 листов	шт.	50	1	50
Картридж для принтера	шт.	750	1	750
Проволока сплошного сечения диаметром 1,0 мм. производства компании ESAB OK AUTROD 19.40	кг.	1901	2,5	4752,5
Нарезанные заготовки из листового проката 12X18H10T	кг.	102	50	5100
Итого		11232,5		
Итого с учетом транспортно-заготовительных расходов (10%)		12355,75		

4.5.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольноизмерительной 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. Расчет затрат по данной статье заносится в таблицу 4.11. При приобретении спецоборудования необходимо учесть затраты по его доставке и монтажу в размере 15% от его цены. Стоимость оборудования, используемого при выполнении конкретного НТИ и имеющегося в данной научно-технической организации, учитывается в калькуляции в виде амортизационных отчислений. Все расчеты по приобретению спецоборудования и оборудования, имеющегося в организации, но

используемого для каждого исполнения конкретной темы, сводятся в таблицу 4.10.

Таблица 4.10 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

№ п/ п	Наименование оборудования			Кол-во единиц оборудования			Цена единицы оборудования, тыс. руб.			Общая стоимость оборудования, тыс. руб.		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Компьютер			1	1	1	90	90	90			
2	Принтер			1	1	1	20	20	20			
3	УШМ			1	1	1	7	7	7			
4	Исследовательский- диагностический комплекс			1	1	1	2000	2000	2000			
5	ЭЛУ	ЭЛУ	СЛС	1	1	1	25000	25000	29000			
Итого:										27117	27117	31117
Итого с учетом затрат по доставке и монтажу (15%):										31184, 55	31184, 55	35784, 55

4.5.3 Основная заработная плата исполнителя темы

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Расчет основной заработной платы приводится в таблице 4.11.

Таблица 4.11 – Расчет основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудоемкость, чел.-дн.			Заработная плата, приходящаяся на один чел.-дн.			Всего заработная плата по тарифу (окладам), тыс. руб.		
			Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Выбор темы ВКР	Ст, НР	1	1	1	5,1			5,1	5,1	5,1
2	Составление и утверждение плана работ	НР	1	1	2	3,1			3,1	3,1	3,1
3	Подбор и изучение материалов по теме	Ст	2	2	3	2			4	4	6
4	Выбор направления исследования	Ст, НР	2	2	2	5,1			10,2	10,2	10,2
5	Календарное планирование работ	Ст, НР	2	3	3	5,1			10,2	15,3	15,3
6	Подбор и изучение материалов по теме	Ст	12	13	16	2			24	26	32
7	Реализация процесса 3D-печати образцов	Ст, НР	11	14	15	5,1			56,1	71,4	76,5
8	Разработка методики	Ст	7	7	9	2			14	14	18
9	Оценка эффективности полученных результатов	Ст	4	5	5	2			8	10	10
10	Написание раздела «Финансовый менеджмент»	Ст	5	5	5	2			10	10	10
11	Написание раздела «Социальная ответственность»	Ст	1	2	2	2			2	4	4
12	Оформление ВКР	Ст	5	6	7	2			10	12	14
Итого									156,7	185,1	207,3

Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20-30 % от тарифа или оклада.

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением проекта, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату и рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}, \quad (6)$$

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

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

Основная заработная плата руководителя рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p, \quad (7)$$

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

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

$Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (8)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5–дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6–дневная неделя;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Таблица 4.12– Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней - выходные дни - праздничные дни	118	118
Потери рабочего времени - отпуск - невыходы по болезни	480	720
Действительный годовой фонд рабочего времени	199	175

Месячный должностной оклад работника (руководителя):

$$Z_m = Z_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_d) \cdot k_p, \quad (9)$$

где $Z_{\text{тс}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30 процентов от $Z_{\text{тс}}$);

k_d – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5;

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Тарифная заработная плата $Z_{тс}$ находится из произведения тарифной ставки работника 1-го разряда $T_{ci} = 600$ руб. на тарифный коэффициент k_t и учитывается по единой для бюджетной организации тарифной сетке.

Тарифный коэффициент для НР = 1,866; для С = 1,407.

Расчет основной заработной платы представлен в таблице 4.13

Таблица 4.13 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	Разряд	k_t	$Z_{тс}$, руб.	$k_{пр}$	k_d	k_p	Z_m , руб	$Z_{дн}$, руб	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб
Научный руководитель	Старший преподава- тель	1,866	30000	0,3	0,4	1,3	66300	3731,45	17	63434,77
Студент	Инженер	1,407	15000	0,3	0,2	1,3	29250	1872	52	97344
Итого: 160778,77 рублей										

4.5.4 Расчет дополнительной заработной платы

Дополнительная заработная плата учитывает величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы рассчитывается по формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}, \quad (10)$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы, принятый на стадии проектирования за 0,15.

4.5.5 Отчисления во внебюджетные фонды

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из формулы:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}), \quad (11)$$

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

В соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30,2%.

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 4.14.

Таблица 4.14 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.			Дополнительная заработная плата, руб.		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Руководитель проекта	63434,77	78360,6	85823,52	9515,22	11754,09	12873,53
Студент	97344	112320	127296	14601,6	16848	19094,4
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,302					
Итого:						
Исполнение 1	55838,46					
Исполнение 2	66223,37					
Исполнение 3	74016,41					

4.5.6 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов. Их величина определяется по формуле:

$$З_{\text{накл}} = (\sum \text{статей}) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (12)$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

Накладные расходы для исполнения 1 составили:

$$З_{\text{накл1}} = (1029 + 73000 + 63434,77 + 97344 + 9515,215 + 14601,6 + 55838,46) \cdot 0,16 = 49709,48 \text{ руб.}$$

Накладные расходы для исполнения 2 составили:

$$З_{\text{накл2}} = (1204 + 76000 + 78360,6 + 112320 + 11754,09 + 16848 + 66223,37) \cdot 0,16 = 57140,71 \text{ руб.}$$

Накладные расходы для исполнения 3 составили:

$$З_{\text{накл3}} = (1134 + 81000 + 85823,52 + 127296 + 12873,53 + 19094,4 + 74016,41) \cdot 0,16 = 63266,93 \text{ руб.}$$

4.5.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта. Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект приведено в таблице 4.15

Таблица 4.15 – Расчет бюджета затрат НИР

Наименование статьи	Сумма, руб			Примечание
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	
1. Материальные затраты НТИ	12355,75	12355,75	14421,1	Пункт 4.5.1
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	31184550	31184550	35784550	Пункт 4.5.2
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	156700	185100	20730	Пункт 4.5.3
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	24116,81	28602,09	31967,93	Пункт 4.5.4
5. Отчисления во внебюджетные фонды	55838,46	66223,37	74016	Пункт 4.5.5

6. Затраты на научные и производственные командировки	-	-	-	Отсутствуют
7. Контрагентские расходы	-	-	-	Отсутствуют
8. Накладные расходы	49709,48	57140,71	63266,93	Пункт 4.5.6
9. Бюджет затрат НТИ	31483270,5	31533971,92	35988951,96	

4.6 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования определяется как:

$$I_{\text{фин.р}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (13)$$

где $I_{\text{фин.р}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

$$I_{\text{фин.р}}^{\text{исп.1}} = \frac{31483270,5}{35988951,96} = 0,875$$

$$I_{\text{фин.р}}^{\text{исп.2}} = \frac{31533971,92}{35988951,96} = 0,876$$

$$I_{\text{фин.р}}^{\text{исп.3}} = \frac{35988951,96}{35988951,96} = 1$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum_{i=1}^n a_i + b_i, \quad (14)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i^a, b_i^p – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Таблица 4.16 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	5	3	4
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,2	5	4	5
3. Помехоустойчиво	0,15	3	4	3
4. Энергосбережение	0,15	5	3	4
5. Надежность	0,2	5	4	4
6. Материалоемкость	0,2	5	4	5
Итого	1	4,7	3,55	3,45

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

$$I_{p-исп2} = 0,1 \cdot 3 + 0,2 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 = 3,9$$

$$I_{p-исп3} = 0,1 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 + 0,15 \cdot 3 + 0,15 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 = 4,25$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{исп1}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{фин.р}^{исп1}} = \frac{4,7}{0,875} = 5,37$$

$$I_{\text{исп2}} = \frac{I_{\text{р-исп2}}}{I_{\text{фин.р}}^{\text{исп.2}}} = \frac{3,9}{0,876} = 4,45 \quad (15)$$

$$I_{\text{исп3}} = \frac{I_{\text{р-исп.3}}}{I_{\text{фин.р}}^{\text{исп.3}}} = \frac{4,25}{1} = 4,25$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных.

Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{\text{ср}}$):

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{исп2}}}{I_{\text{исп1}}}, \quad (16)$$

Таблица 4.17 – Сравнительная эффективность разработки

№	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,875	0,76	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,7	3,9	4,25
3	Интегральный показатель эффективности	5,37	4,45	4,25
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,828	0,791

Сравнив значения интегральных показателей эффективности, можно сделать вывод, что реализация технологии в первом исполнении является более эффективным вариантом решения задачи, поставленной в данной работе с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

ЗАДАНИЕ К РАЗДЕЛУ «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Обучающемуся:

Группа	ФИО
3-1В81	Кушнарёв Юрий Владимирович

Школа	Неразрушающего контроля	Отделение (НОЦ)	ОЭИ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/ООП/ОПОП	15.03.01 «Машиностроение»

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования является процесс аддитивного выращивания изделий из меди и медных сплавов методом электронно-лучевого аддитивного производства. Рабочая зона- лаборатория
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	ГОСТы, СанПиНы, СНиПы
2. Производственная безопасность 2.1. Анализ выявленных вредных факторов • Природа воздействия • Действие на организм человека • Нормы воздействия и нормативные документы (для вредных факторов) • СИЗ коллективные и индивидуальные 2.2. Анализ выявленных опасных факторов: • Термические источники опасности • Электробезопасность • Пожаробезопасности	Вредные факторы: • Недостаточная освещенность; • Нарушения микроклимата, оптимальные и допустимые параметры; • Шум, ПДУ, СКЗ, СИЗ; • Повышенный уровень электромагнитного излучения, ПДУ, СКЗ, СИЗ; • Наличие токсикантов, ПДК, класс опасности, СКЗ, СИЗ; • ИК излучение, ПДУ, СКЗ, СИЗ; • Излучение УФ, СКЗ, СИЗ; • Радиоактивность, ПДД, критические органы, СКЗ, СИЗ. Опасные факторы: • Электроопасность; класс электроопасности помещения, безопасные номиналы I, U, R_{заземления}, СКЗ, СИЗ; Проведен расчет освещения рабочего места; представлен рисунок размещения светильников на потолке с размерами в системе СИ; - Пожароопасность, категория пожароопасности помещения, марки огнетушителей, их назначение и ограничение применения; Приведена схема эвакуации.

3. Экологическая безопасность: - Выбросы в окружающую среду - Решения по обеспечению экологической безопасности	Наличие промышленных отходов (бумага-черновики, вторцвет- и чермет, пластмасса, перегоревшие люминесцентные лампы, оргтехника,) и способы их утилизации.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: - перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; - разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; - разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.	Рассмотрены 2 ситуации ЧС: 1) природная – сильные морозы зимой, (аварии на электро-, тепло-коммуникациях, водоканале, транспорте); 2) техногенная – несанкционированное проникновение посторонних на рабочее место (возможны проявления вандализма, диверсии, промышленного шпионажа), представлены мероприятия по обеспечению устойчивой работы производства в том и другом случае.

Дата выдачи задания к разделу в соответствии с календарным учебным графиком	08.02.2023
---	------------

Задание выдал консультант по разделу «Социальная ответственность»:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ООД ШБИП	Федорчук Ю.М.	Д.Т.Н.		

Задание принял к исполнению обучающийся:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-1В81	Кушнарёв Юрий Владимирович		

5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Социальная ответственность – ответственность отдельного ученого и научного сообщества перед обществом. Первостепенное значение при этом имеет безопасность применения технологий, которые создаются на основе достижений науки, предотвращение или минимизация возможных негативных последствий их применения, обеспечение безопасного как для испытуемых, как и для окружающей среды проведения исследований.

В ходе данной работы исследовалась реализации процесса аддитивного выращивания изделий из меди и медных сплавов методом электронно-лучевого аддитивного производства.

Исследования проводились в лаборатории контроля качества материалов и конструкций, которая расположена в кабинете №104 корпуса №5 ИФПМ СО РАН.

Исследовательские работы выполнялись с использованием компьютера. Раздел также включает в себя оценку условий труда на рабочем месте, анализ вредных и опасных факторов труда, разработку мер защиты от них.

ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

5.1 Вредные факторы

5.1.1 Отклонение показателей микроклимата в помещении

Проанализируем микроклимат в помещении, где находится рабочее место. Микроклимат производственных помещений определяют следующие параметры: температура, относительная влажность, скорость движения воздуха. Эти факторы влияют на организм человека, определяя его самочувствие.

Оптимальные и допустимые значения параметров микроклимата приведены в таблице 5.1 и 5.2.

Таблица 5.1 – Оптимальные нормы микроклимата

Период года	Температура воздуха, С°	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	19-23	40-60	0.1
Теплый	23-25		0.2

Таблица 5.2 - Допустимые нормы микроклимата

Период года	Температура воздуха, С°		Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
	Нижняя допустимая граница	Верхняя допустимая граница		
Холодный	15	24	20-80	<0.5
Теплый	22	28	20-80	<0.5

Общая площадь рабочего помещения составляет 36 м², объем составляет 144м³. По СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [27] санитарные нормы составляют 6,5 м² и 20 м³ объема на одного человека. Исходя из приведенных выше данных, можно сказать, что количество рабочих мест соответствует размерам помещения по санитарным нормам.

После анализа габаритных размеров рассмотрим микроклимат в этой комнате. В качестве параметров микроклимата рассмотрим температуру, влажность воздуха, скорость ветра.

В помещении осуществляется естественная вентиляция посредством наличия легко открываемого оконного проема (форточки), а также дверного проема. По зоне действия такая вентиляция является общеобменной. Основным недостаток - приточный воздух поступает в помещение без предварительной очистки и нагревания. Согласно нормам СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [27] объем воздуха необходимый на одного человека в

помещении без дополнительной вентиляции должен быть более 40м³[1]. В нашем случае объем воздуха на одного человека составляет 42 м³, из этого следует, что дополнительная вентиляция не требуется. Параметры микроклимата поддерживаются в холодное время года за счет систем водяного отопления с нагревом воды до 100°С, а в теплое время года—за счет кондиционирования, с параметрами согласно. Нормируемые параметры микроклимата, ионного состава воздуха, содержания вредных веществ должны соответствовать требованиям.

5.1.2 Превышение уровней шума

Одним из наиболее распространенных в производстве вредных факторов является шум. Он создается вентиляционным и рабочим оборудованием, преобразователями напряжения, рабочими лампами дневного света, а также проникает снаружи. Шум вызывает головную боль, усталость, бессонницу или сонливость, ослабляет внимание, память ухудшается, реакция уменьшается.

Основным источником шума в комнате являются компьютерные охлаждающие вентиляторы и. Уровень шума варьируется от 35 до 42 дБА. Согласно СанПиН 2.2.2 / 2.4.1340-03 [27], при выполнении основных работ на ПЭВМ уровень шума на рабочем месте не должен превышать 80 дБА [4].

При значениях выше допустимого уровня необходимо предусмотреть средства индивидуальной защиты(СИЗ) и средства коллективной защиты (СКЗ) от шума.

Средства коллективной защиты:

- устранение причин шума или существенное его ослабление в источнике образования;
- изоляция источников шума от окружающей среды (применение глушителей, экранов, звукопоглощающих строительных материалов,

например любой пористый материал – шамотный кирпич, микропористая резина, поролон и др.);

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

Средства индивидуальной защиты:

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

5.1.3 Повышенный уровень электромагнитных излучений

Источником электромагнитных излучений в нашем случае являются дисплеи ПЭВМ. Монитор компьютера включает в себя излучения рентгеновской, ультрафиолетовой и инфракрасной области, а также широкий диапазон электромагнитных волн других частот. Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [27] напряженность электромагнитного поля по электрической составляющей на расстоянии 50 см вокруг ВДТ не должна превышать 25В/м в диапазоне от 5Гц до 2кГц, 2,5В/м в диапазоне от 2 до 400кГц [1]. Плотность магнитного потока не должна превышать в диапазоне от 5 Гц до 2 кГц 250нТл, и 25нТл в диапазоне от 2 до 400кГц. Поверхностный электростатический потенциал не должен превышать 500В [1]. В ходе работы использовалась ПЭВМ типа Acer VN7-791 со следующими характеристиками: напряженность электромагнитного поля 2,5В/м; поверхностный потенциал составляет 450 В (основы противопожарной защиты предприятий ГОСТ 12.1.004–91[28] и ГОСТ 12.1.010–76 [29]).

При длительном постоянном воздействии электромагнитного поля (ЭМП) радиочастотного диапазона при работе на ПЭВМ у человеческого организма возникают сердечно-сосудистые, респираторные и нервные расстройства, головные боли, усталость, ухудшение состояния здоровья, гипотония, изменения сердечной мышцы проводимости. Тепловой эффект ЭМП характеризуется увеличением температуры тела, локальным

селективным нагревом тканей, органов, клеток за счет перехода ЭМП на теплую энергию.

Предельно допустимые уровни (ПДУ) облучения (по ОСТ 54 30013-83):

- а) до 10 мкВт/см² , время работы (8 часов);
- б) от 10 до 100 мкВт/см² , время работы не более 2 часов;
- в) от 100 до 1000 мкВт/см² , время работы не более 20 мин. при условии пользования защитными очками;
- г) для населения в целом ППМ не должен превышать 1 мкВт/см².

Защита человека от опасного воздействия электромагнитного излучения осуществляется следующими способами:

СКЗ:

- 1. защита временем;
- 2. защита расстоянием;
- 3. снижение интенсивности излучения непосредственно в самом источнике излучения;
- 4. заземление экрана вокруг источника;
- 5. защита рабочего места от излучения;

СИЗ:

1. 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.

2. Вместо обычных стекол используют стекла, покрытые тонким слоем золота или диоксида олова (SnO₂).

5.1.4 Наличие токсикантов, (запыленность, загазованность), ПДК, класс опасности, СКЗ, СИЗ

Нормативы распространяются на рабочие места, независимо от их расположения (в производственных помещениях, в горных выработках, на открытых площадках, транспортных средствах и т.п.).

Нормативы используются при проектировании производственных зданий, технологических процессов, оборудования и вентиляции, для обеспечения производственного контроля за качеством производственной среды и профилактики неблагоприятного воздействия на здоровье работающих вредных химических веществ.

Нормативы установлены на основании комплексных токсиколого-гигиенических и эпидемиологических исследований с учетом международного опыта.

В данном проекте используют следующие токсиканты, их класс опасности, ПДК:

- аэрозоли (взвеси);
- химические реагенты.

В процессе проведения работ одним из основных вредных факторов является испарение летучих продуктов при выполнении монтажно – сборочных работ (пайка, наладка и т.д.). Испаренные летучие продукты применяемых при пайке припоев и флюсов могут нанести вред здоровью человека. Согласно [6] по степени воздействия на организм человека вредные вещества подразделяют на четыре класса опасности:

1-й - вещества чрезвычайно опасные:

- I. вещества высокоопасные;
- II. вещества умеренно опасные;
- III. вещества малоопасные.

Свинцово-оловянные припой имеют максимальный первый класс опасности, и имеют ПДК (по свинцу) $0,05 \text{ мг/м}^3$, присутствуют в основном в виде аэрозолей.

Канифоль имеет 3 класс опасности и ПДК 4 мг/м^3 , способна вызвать аллергические реакции и присутствует в виде аэрозоля. Спирт этиловый имеет 4 класс опасности, ПДК 100 мг/м^3 и присутствует в виде паров.

Воздействие свинца вызывает анемию, гипертензию, почечную недостаточность, иммунный токсикоз и токсичность для репродуктивных органов. Неврологические и поведенческие последствия воздействия свинца считаются необратимыми. Спирт и канифоль способны вызвать аллергические реакции и обладают местно-раздражающим действием, однако менее вредны по сравнению с воздействием свинца.

СКЗ: в основном все мероприятия направлены на удаление паров свинца и прочих продуктов пайки путем применения местной и общей принудительной вентиляции с последующей фильтрацией, рециркуляция не допускается. Также применяется периодическая очистка поверхностей от осаждающихся на них продуктов пайки.

СИЗ: необходимо применять респираторы с абсорбционной приставкой.

5.1.5 Недостаточная освещенность

Для обеспечения требуемой освещенности необходимо использовать совмещенное освещение, создаваемое сочетанием естественного и искусственного освещения. При данном этапе развития осветительной техники целесообразно использовать люминесцентные лампы, которые по сравнению с лампами накаливания имеют большую светоотдачу на ватт потребляемой мощности и более естественный спектр.

Минимальный уровень средней освещенности на рабочих местах с постоянным пребыванием людей должен быть не менее 200 лк.

В расчётном задании должны быть решены следующие вопросы:

- выбор системы освещения;

- выбор источников света;
- выбор светильников и их размещение;
- выбор нормируемой освещённости;
- расчёт освещения методом светового потока.

В данном расчётном задании для всех помещений рассчитывается общее равномерное освещение.

Таблица 1.3 – Габариты помещения

Параметр	Обозначение	Значение, м
Длина	A	6
Ширина	B	6
Высота помещения	H	4

Коэффициент отражения бетонных стен с окнами $\rho_c=50\%$, грязного бетонного потолка $\rho_n=50\%$. Коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, для помещений со средним выделением пыли равен $KЗ = 1,8$. Коэффициент неравномерности для люминесцентных ламп $Z = 1,1$.

Выбираем лампу дневного света ЛБ -40, световой поток которой равен ФЛД = 2800 Лм.

Выбираем светильники с люминесцентными лампами типа ПВЛ-2-40. Этот светильник имеет две лампы мощностью 40 Вт каждая, длина светильника равна 1230 мм, ширина – 266 мм.

Интегральным критерием оптимальности расположения светильников является величина λ , которая для люминесцентных светильников с защитной решёткой лежит в диапазоне 1,1–1,3. Принимаем $\lambda=1,1$, расстояние светильников от перекрытия (свес) $h_c=0,5$ м.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = h_n - h_p, \quad (17)$$

где h_n – высота светильника над полом, высота подвеса;

h_p – высота рабочей поверхности над полом.

Наименьшая допустимая высота подвеса над полом для двухламповых светильников ПВЛ: $h_n = 3$ м.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = H - h_p - h_c, \quad (18)$$

$$h = 4 - 1 - 0,5 = 2,5 \text{ м.}$$

Расстояние между соседними светильниками или рядами определяется по формуле:

$$L = \lambda \cdot h, \quad (19)$$

$$L = 1,1 \cdot 2,5 = 2,8 \text{ м.}$$

Индекс помещения i , определяется следующим образом:

$$i = (A \cdot B) / (h \cdot (A + B)), \quad (20)$$

$$i = (6 \cdot 6) / (2,5 \cdot (6 + 6)) = 1,2$$

В данном случае, индекс помещения составил 1,2.

Коэффициент использования светового потока, показывающий какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность, для светильников типа ПВЛ с люминесцентными лампами при $\rho_n = 50 \%$, $\rho_c = 50\%$ и индексе помещения $i = 1,2$ равен $\eta = 0,3$.

Потребный световой поток группы люминесцентных ламп светильника ФЛ определяется по нижеуказанной формуле:

$$\Phi_{\text{л}} = (E \cdot S \cdot K_3 \cdot Z) / (N \cdot \eta), \quad (21)$$

где E – нормируемая минимальная освещенность, $E = 200$ лк;

K_3 – коэффициент запаса, в данном случае $K_3 = 1,8$;

N – количество ламп;

η – коэффициент использования светового потока лампы, зависящий от типа лампы, типа светильника, коэффициента отражения потолка и стен, высоты подвеса светильника и индекса помещения i , $\eta = 0,3$.

$$N = (E \cdot S \cdot K_3 \cdot Z) / (\Phi_{\text{л}} \cdot \eta) = (200 \cdot 36 \cdot 1,8 \cdot 1,1) / (2800 \cdot 0,3) = 17 \text{ ламп;}$$

Принимаем 18 ламп, при этом получается 9 светильников, т.е. 3 ряда по 3 светильника. Что подтверждается формулами ниже.

Число рядов светильников в помещении:

$$N_b = B/L, \quad (22)$$

$$N_b = 6/2,8 = 2,2 \approx 3$$

Число светильников в ряду определим по формуле:

$$N_a = A/L, \quad (23)$$

$$N_a = 7/2,8 = 2,5 \approx 3$$

Общее число светильников вычисляется по формуле:

$$N = N_a \cdot N_b, \quad (24)$$

$$N = 3 \cdot 3 = 9$$

Из условий равномерности освещения определяем расстояния вдоль стен и от торца помещения:

$$L = N_a \cdot L_1 + 2/3 \cdot L_1 + N \cdot L_{lam}, \quad (25)$$

Соответственно расстояние до ламп от стены (А) длиной 6 метров обозначаем L_1 , а для расстояния от стены (В) длиной 6 метров L_1 .

Согласно «Практикум БЖД 2009-2020» равномерность освещения обеспечивается расстоянием от крайних светильников до стенок = $L/3$.

Составим уравнение с одной неизвестной:

$$6000 = 2 \cdot L_1 + 2/3 \cdot L_1 + 2 \cdot 266;$$

$$6000 = 2 \cdot L_2 + 2/3 \cdot L_2 + 3 \cdot 1230;$$

$$\text{Отсюда} \quad 6000 - 3 \cdot 266 = L_1 \cdot (2 + 2/3);$$

$$6000 - 3 \cdot 1230 = L_2 \cdot (2 + 2/3);$$

Следственно получаем уравнения:

$$L_1 = \frac{6000 - 3 \cdot 266}{2 + 2/3} = 1951 \text{ мм. — расстояние вдоль помещения;}$$

$$L_2 = \frac{6000 - 3 \cdot 1230}{2 + 2/3} = 866 \text{ мм. — расстояние от торцов помещения.}$$

Расстояние от торцов l:

$$l_1 = \frac{1951}{3} = 650 \text{ мм};$$

$$l_2 = \frac{866}{3} = 289 \text{ мм}.$$

Размещаем светильники в 3 ряда по 3 светильника. На рисунке изображен план помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами.

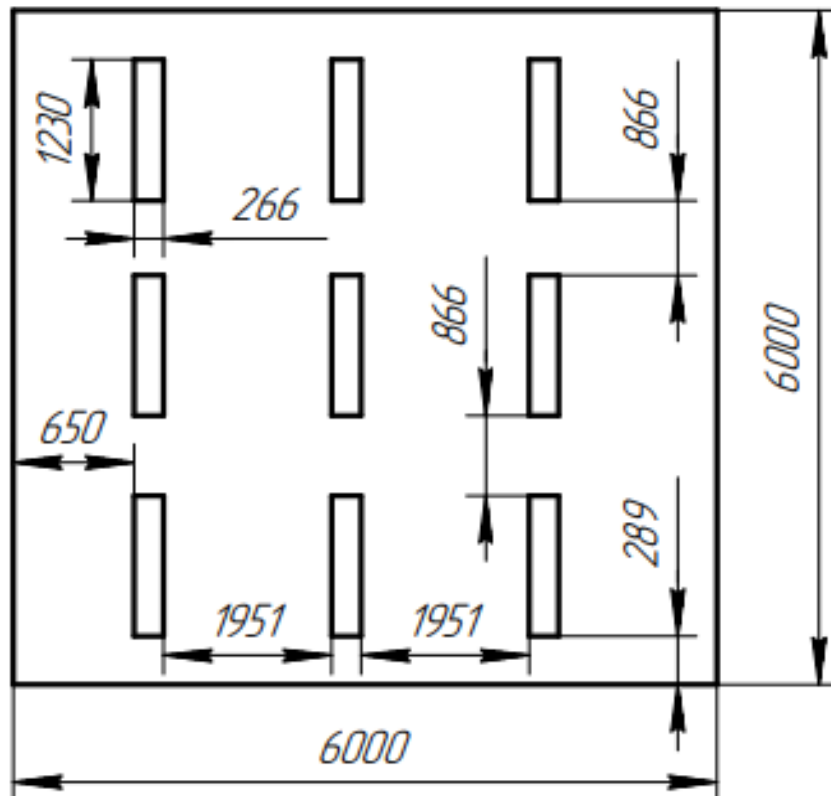


Рисунок 5.1 – План помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами.

Потребный световой поток группы люминесцентных ламп светильника $\Phi_{\text{л}}$ определяется по нижеуказанной формуле (21):

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{(200 \cdot 36 \cdot 1,8 \cdot 1,1)}{18 \cdot 0,3} = 2640 \text{ лм}.$$

Согласно вычислениям, потребный световой поток равен 2640 лм.

$$-10\% \leq ((\Phi_{\text{лд}} - \Phi_{\text{п}})/\Phi_{\text{лд}}) \cdot 100\% \leq 20\%$$

$$((\Phi_{\text{лхб}} - \Phi_{\text{п}})/\Phi_{\text{лхб}}) \cdot 100\% = ((2800 - 2640)/2800) \cdot 100\% = 5,7\%$$

Таким образом: $-10\% \leq 5,7\% \leq 20\%$, необходимый световой поток светильника не выходит за пределы требуемого диапазона. Световой поток для рассчитываемого помещения достаточный и соответствует требованиям.

Мощность осветительной установки:

$$P = 18 \cdot 40 = 720 \text{ Вт.}$$

5.1.6 Ультра-фиолетовое излучение; ПДУ; СКЗ; СИЗ

Как чистый воздух и свет, так и ультрафиолетовое излучение (далее—УФ-излучение) необходимы для нормальной жизнедеятельности человека. Однако длительное воздействие больших доз УФ-излучения может привести к поражению глаз и кожи. В целях профилактики неблагоприятного воздействия УФ-излучения важно соблюдать гигиенические нормативы, в частности, СанПиН 2.2.4.3359-16 «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах» [30].

УФ-излучение—это электромагнитное излучение оптического диапазона с длиной волны (лямбда) $\lambda = 400\text{-}100 \text{ нм}$ (нанометр) и частотой $10^{13}\text{-}10^{16} \text{ Гц}$ (герц). По международной классификации УФ-излучение подразделяют на следующие области:

- А — $\lambda = 400\text{-}320 \text{ нм}$ (длинноволновое — ближнее);
- В — $\lambda = 320\text{-}280 \text{ нм}$ (средневолновое — загарная радиация);
- С — $\lambda = 280\text{-}200 \text{ нм}$ (коротковолновое — бактерицидная радиация).

Источниками УФ-излучения являются солнце, любой материал, нагретый до температуры 2500 К , газозарядные, флуоресцентные лампы, источники температурного (теплого) излучения, эксимерные лазеры.

В методических указаниях МУ 5046-89 «Профилактическое ультрафиолетовое облучение людей» [31] наряду с перечнем требований к облучательным установкам длительного и кратковременного действия, контролю за УФ-излучением, проектированию и эксплуатации УФ-оборудования установлены нормы УФ-облученности и дозы за сутки в эффективных и энергетических единицах. Параметры УФ-облученности и

суточной дозы подразделяются на минимальные, максимальные и рекомендуемые. В качестве одного из требований к облучательным установкам регламентируется диапазон УФ-излучения от 280 до 400 нм. Максимальные уровни УФ-облученности не должны превышать:

- 45 мВт/м²—от люминесцентных ламп в рабочих помещениях промышленных и общественных зданий, в помещениях детских больниц и санаториев при продолжительности ежесуточного облучения 6-8 ч;
- 16,5 мВт/м²—от облучательных установок длительного действия с осветительно-облучательными лампами независимо от времени облучения, вида помещения и возраста облучаемых;
- 7,2 мВт/м²—для взрослых и 4,8 мВт/м²— для детей от облучательных установок кратковременного действия (в фотариях).

Основные методы и средства защиты от УФ-излучения

Основными методами и средствами защиты от УФ-излучения являются:

- защитная одежда с длинными рукавами и капюшоном;
- противосолнечные экраны;
- окраска помещений водными составами (меловым и известковым);
- очки со стеклами, содержащими оксид свинца.

5.1.7 Инфракрасное излучение; ПДУ; СКЗ; СИЗ

Инфракрасное (ИК) излучение—это электромагнитное излучение, занимающее спектральную область между красным видимым светом (с длиной волны $\lambda = 0,74$ мкм и частотой 430 ТГц) и микроволновым радиоизлучением ($\lambda \sim 1-2$ мм, частота 300 ГГц).

ИК-лучи в зависимости от длины волны подразделяют на:

- короткие — длина волны 0,76-15 мкм;
- средние — длина волны 15-100 мкм;
- длинные — длина волны 100-1000 мкм.

Теплопроводность, цвет, гладкость излучающего тела влияют на интенсивность излучения. Любое нагретое тело является источником инфракрасных лучей. В условиях производства на человека может воздействовать лучистое тепло поверхностей нагретого оборудования, открытого пламени, нагретого и расплавленного металла; при работе на открытом воздухе-солнца.

Например, рабочие мартеновского цеха подвергаются воздействию лучистого тепла до $18 \text{ кал/см}^2 \cdot \text{мин.}$, доменного цеха— $15 \text{ кал/см}^2 \cdot \text{мин.}$ Интенсивное инфракрасное излучение наблюдается также в цехах — литейных, кузнечных, цехах стекольных заводов у стекловаренных печей, кирпичных заводов и на других производствах.

ИК-излучение может вызвать: спазм зрачков, катаракту глаза, конъюнктивиты, помутнение и васкуляризацию роговицы, депигментацию радужки, помутнение хрусталика, ожог сетчатки и хориоретинит.

Условия труда при воздействии инфракрасного (теплового) излучения подразделяются на: допустимые (уровни не превышают ПДУ), вредные (уровни превышают ПДУ)-подразделяются на 4 степени и относятся к 4-му классу (опасному) при превышении интенсивности теплового облучения 2800 Вт/м^2 .

На производствах с источниками ИК-излучения должны использоваться спецодежда согласно ГОСТ ССТБ 12.4.176-89 «Одежда специальная для защиты от теплового излучения» [32] и средства коллективной защиты от инфракрасных излучений согласно ГОСТ ССТБ 12.4.123-83 «Средства коллективной защиты от инфракрасных излучений» [33].

Должны быть предусмотрены следующие меры профилактики неблагоприятного воздействия инфракрасного излучения на организм работников:

- меры, направленные на исключение тепловыделений в рабочую зону или предусматривающие возможность работы вне зоны ИК-излучения;

- меры, направленные на снижение интенсивности ИК- излучения в рабочей зоне;
- меры, направленные на восстановление физиологических показателей организма до исходного уровня.

Механизация и автоматизация технологических процессов могут исключить необходимость работы в условиях ИК-излучения.

Минимизации ИК-излучения на рабочем месте и уменьшению времени пребывания работников в неблагоприятных условиях способствуют организация работ, планировка и размещение оборудования в помещениях.

Важное профилактическое значение при ИК-излучении также имеют следующие мероприятия:

- теплоизоляция оборудования;
- устройство защитных экранов, покрытых теплоизоляционными материалами, ограждающими рабочих от лучистого и конвекционного тепла;
- организация водяных и воздушных завес;
- оборудование приточно-вытяжной вентиляции с учетом тепловоздушного баланса в помещении;
- рациональное использование естественной вентиляции;
- рационализация режима труда и отдыха;
- питьевой режим;
- применение индивидуальных средств защиты, спецодежды и др.

В зависимости от применяемых материалов для изготовления защитных экранов они могут обеспечить поглощение тепла (листовое железо, асбест, картон) или отражение его (полированный алюминий, цинковые белила, алюминиевая фольга). За счет отражающих экранов можно снизить интенсивность теплового излучения примерно в 10 раз.

Благодаря использованию большого числа новых теплоизоляционных материалов (минеральная стекловата, перлит, пенопласты, стекловолокно и др.) удастся значительно снизить температуру оборудования и довести ее до 35-45 °С, т.е. величин, регламентированных санитарным законодательством.

Естественная вентиляция (аэрация) способна обеспечить 40-60-кратный воздухообмен без затрат электроэнергии, необходимой для эксплуатации механической вентиляции.

На рабочих местах операторов горячих цехов используется кондиционирование воздуха.

Воздушное душирование, организация воздушных оазисов, комнат отдыха с радиационным охлаждением, рациональный питьевой режим, режим труда и отдыха применяются с целью нормализации физиологических функций организма работающих. Применение воздушных душей эффективно в случаях, когда на рабочих местах уровень инфракрасного излучения превышает 350 Вт/м^2 .

5.1.8 Радиоактивность, ПДД, критические органы, СКЗ, СИЗ

Защита от ионизирующих излучений: ГОСТ 12.4.120-83 ССБТ «Средства коллективной защиты от ионизирующих излучений. Общие технические требования» [34]. От альфа-лучей можно защититься путём: Увеличение расстояния до источника ионизирующего излучения (ИИИ), т.к. альфа-частицы имеют небольшой пробег, использования спецодежды и спецобуви, т.к. проникающая способность альфа-частиц невысока, исключения попадания источников альфа-частиц с пищей, водой, воздухом и через слизистые оболочки, т.е. применение противогазов, масок, очков и т.п. В качестве защиты от бета-излучения используют: ограждения (экраны), с учётом того, что лист алюминия толщиной несколько миллиметров полностью поглощает поток бета-частиц. ГОСТ 12.4.120-83 ССБТ «Средства коллективной защиты от ионизирующих излучений. Общие технические требования» [34]-использование принципов защиты, применяемых при работе с источниками излучения в закрытом виде; герметизация производственного оборудования для изоляции процессов, которые могут быть источниками поступления радиоактивных веществ во внешнюю среду; мероприятия планировочного характера; применение санитарно-технических устройств и

оборудования, использование защитных материалов; использование средств индивидуальной защиты и санитарная обработка персонала; выполнение правил личной гигиены. Защиту от рентгеновского излучения и гамма-излучения необходимо организовывать с учётом того, что эти виды излучения отличаются большой проникающей способностью. Наиболее эффективны следующие мероприятия (как правило, используемые в комплексе): увеличение расстояния до источника излучения; сокращение времени пребывания в опасной зоне; экранирование источника излучения материалами с большой плотностью (свинец, железо, бетон и др.); использование индивидуальных средств защиты органов дыхания, кожных покровов и слизистых оболочек; дозиметрический контроль внешней среды.

Критический орган—орган, ткань, часть тела или все тело, облучение которого в соответствующих условиях причиняет наибольший ущерб здоровью данного лица или его потомства. КО разделяют на группы, различающиеся по радиочувствительности. В порядке убывания радиочувствительности предельно допустимые дозы устанавливаются для трех групп КО.:

I группа — все тело, гонады и красный костный мозг;

II группа — мышцы, щитовидная железа, жировая ткань, печень, почки, селезенка, желудочно-кишечный тракт, легкие, хрусталик глаза и другие органы, за исключением тех, которые относятся к I и III группам;

III группа — костная ткань, кожный покров, кисти, предплечья, лодыжки и стопы.

Предельная доза - величина годовой *эффективной* дозы техногенного облучения, которая не должна превышать в условиях нормальной работы.

Нормируемые величины	Предельные дозы	
	Персонал (группа А)	Население
Эффективная доза ($H_{эф}$)	<i>20 мЗв/год</i> в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более <i>50 мЗв/год</i>	<i>1 мЗв/год</i> в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более <i>5 мЗв/год</i>
Эквивалентная доза за год: в хрусталике глаза, в коже, в кистях и стопах	150 мЗв 500 мЗв 500 мЗв	15 мЗв 50 мЗв 50 мЗв

Рисунок 5.1–Предельная доза облучения

5.2 Электроопасность; класс электроопасности помещения, безопасные номиналы I, U, Rзаземления, СКЗ, СИЗ. Поражение электрическим током

К опасным факторам можно отнести наличие в помещении большого количества аппаратуры, использующей однофазный электрический ток напряжением 220 В и частотой 50Гц. По опасности электропоражения комната относится к помещениям без повышенной опасности, так как отсутствует повышенная влажность, высокая температура, токопроводящая пыль и возможность одновременного соприкосновения токоведущих элементов с заземленными металлическими корпусами оборудования /Лаборатория относится к помещению без повышенной опасности поражения электрическим током. Безопасными номиналами являются: $I < 0,1$ А; $U < (2-36)$ В; $R_{\text{зазем}} < 4$ Ом.

Для защиты от поражения электрическим током используют СИЗ и СКЗ.

СКЗ:

- защитное заземление, зануление;
- малое напряжение;
- электрическое разделение сетей;
- защитное отключение;
- изоляция токоведущих частей;
- оградительные устройства.
- использование щитов, барьеров, клеток, ширм, а также

заземляющих и шунтирующих штанг, специальных знаков и плакатов.

СИЗ: использование диэлектрических перчаток, изолирующих клещей и штанг, слесарных инструментов с изолированными рукоятками, указатели величины напряжения, калоши, боты, подставки и коврики.

5.3 Пожароопасность, категория пожароопасности помещения, марки огнетушителей, их назначение и ограничение применения.

Схема эвакуации.

По взрывопожарной и пожарной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В1-В4, Г и Д.

Согласно НПБ 105-03 [35] лаборатория относится к категории В– горючие и трудно горючие жидкости, твердые горючие и трудно горючие вещества и материалы, вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом только гореть, при условии, что помещения, в которых находится, не относятся к категории наиболее опасных А или Б.

По степени огнестойкости данное помещение относится к 1-й степени огнестойкости по СНиП 2.01.02-85 [36] (выполнено из кирпича, которое относится к трудносгораемым материалам).

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

Причины возникновения пожара неэлектрического характера: халатное неосторожное обращение с огнем (курение, оставленные без присмотра нагревательные приборы, использование открытого огня);

Причины возникновения пожара электрического характера: короткое замыкание, перегрузки по току, искрение и электрические дуги, статическое электричество и т. п.

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

Огнетушители водо-пенные (ОХВП-10) используют для тушения очагов пожара без наличия электроэнергии. Углекислотные (ОУ-2) и порошковые огнетушители предназначены для тушения электроустановок, находящихся под напряжением до 1000 В. Для тушения токоведущих частей и электроустановок применяется переносной порошковый огнетушитель, например ОП-5.

В общественных зданиях и сооружениях на каждом этаже должно размещаться не менее двух переносных огнетушителей. Огнетушители следует располагать на видных местах вблизи от выходов из помещений на высоте не более 1,35 м. Размещение первичных средств пожаротушения в коридорах, переходах не должно препятствовать безопасной эвакуации людей.

Для предупреждения пожара и взрыва необходимо предусмотреть:

- специальные изолированные помещения для хранения и разлива легковоспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ), оборудованные приточно-вытяжной вентиляцией во взрывобезопасном исполнении-соответствии с ГОСТ 12.4.021-75 [37] и СНиП 2.04.05-86 [38];

- специальные помещения (для хранения в таре пылеобразной канифоли), изолированные от нагревательных приборов и нагретых частей оборудования;
- первичные средства пожаротушения на производственных участках (передвижные углекислые огнетушители ГОСТ 9230-77 [39], пенные огнетушители ТУ 22-4720-80 [40], ящики с песком, войлок, кошма или асбестовое полотно);
- автоматические сигнализаторы (типа СВК-3 М 1) для сигнализации о присутствии в воздухе помещений предвзрывных концентраций горючих паров растворителей и их смесей.

Лаборатория полностью соответствует требованиям пожарной безопасности, а именно, наличие охранно-пожарной сигнализации, плана эвакуации, изображенного на рисунке 5.2, порошковых огнетушителей с поверенным клеймом, табличек с указанием направления к запасному (эвакуационному) выходу.



Рисунок 5.2—План эвакуации

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Во время выполнения выпускной квалификационной работы вынуждены использовать черновики (предварительная запись информации) на бумажном носителе. Записи несут в себе конфиденциальную, а иногда даже секретную информацию. Чтобы повторно использовать бумагу для записей необходимо бумагу с записями шредировать с помощью шредера, спрессовать для уменьшения объема, упаковать в герметичную упаковку и хранить на складе до накопления объема для одной транспортной единицы, после чего отправить на утилизацию макулатуры в ближайший ее пункт приема.

В компьютерах огромное количество компонентов, которые содержат токсичные вещества и представляют угрозу, как для человека, так и для окружающей среды.

К таким веществам относятся:

- свинец (накапливается в организме, поражая почки, нервную систему);
- никель и цинк (могут вызывать дерматит);
- щелочи (прожигают слизистые оболочки и кожу).

Поэтому компьютер требует специальных комплексных методов утилизации.

Утилизацию компьютера можно провести следующим образом:

- отделить металлические детали от неметаллов;
- разделить углеродистые металлы от цветмета;
- пластмассовые изделия (крупногабаритные) измельчить для уменьшения объема;
- копир-порошок упаковать в отдельную упаковку, точно также, как и все проклассифицированные и измельченные компоненты оргтехники, и после накопления на складе транспортных количеств отправить предприятиям и фирмам, специализирующимся по переработке отдельных видов материалов.

Люминесцентные лампы утилизируют следующим образом. Не работающие лампы немедленно после удаления из светильника должны быть упакованы в картонную коробку, бумагу или тонкий мягкий картон, предохраняющий лампы от взаимного соприкосновения и случайного механического повреждения. После накопления ламп объемом в 1 транспортную единицу их сдают на переработку на соответствующее предприятие. Недопустимо выбрасывать отработанные энергосберегающие лампы вместе с обычным мусором, превращая его в ртутьсодержащие отходы, которые загрязняют ртутными парами.

БЕЗОПАСНОСТЬ В ЧРЕЗВЫЧАЙНОХ СИТУАЦИЯХ

Природная чрезвычайная ситуация—обстановка на определенной территории или акватории, сложившейся в результате возникновения источника природной чрезвычайной ситуации, который может повлечь или повлек за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей и (или) окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

Производство находится в городе Томске с континентально-циклоническим климатом. Природные явления (землетрясения, наводнения, засухи, ураганы и т. д.), в данном городе отсутствуют.

Возможными ЧС на объекте в данном случае, могут быть сильные морозы и диверсия.

Для Сибири в зимнее время года характерны морозы. Достижение критически низких температур приводит к авариям систем тепло- и водоснабжения, сантехнических коммуникаций и электроснабжения, приостановке работы. В этом случае при подготовке к зиме следует предусмотреть: а) газобаллонные калориферы (запасные обогреватели), б) дизель или бензоэлектростанции; в) запасы питьевой и технической воды на складе (не менее 30 л на 1 человека); г) теплый транспорт для доставки

работников на работу и с работы домой в случае отказа муниципального транспорта. Их количества и мощности должно хватать для того, чтобы работа на производстве не прекратилась.

В лаборатории ИФПМ СО РАН наиболее вероятно возникновение чрезвычайных ситуаций (ЧС) техногенного характера.

Для предупреждения вероятности осуществления диверсии предприятие необходимо оборудовать системой видеонаблюдения, круглосуточной охраной, пропускной системой, надежной системой связи, а также исключения распространения информации о системе охраны объекта, расположении помещений и оборудования в помещениях, системах охраны, сигнализаторах, их местах установки и количестве. Должностные лица раз в полгода проводят тренировки по отработке действий на случай экстренной эвакуации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам исследований, проведенных в литературном обзоре, были выявлены проблемы и сложности послойного аддитивного выращивания изделий из меди и медных сплавов методом аддитивного производства. Взяв за основу данные результаты, была разработана технология реализации процесса аддитивного выращивания изделий из медного сплава БрА7 методом проволочного электронно-лучевого аддитивного производства.

Во время выполнения научно-исследовательской работы успешно напечатаны образцы из медного сплава БрА7 с применением ЭЛАП технологии. Контроль за тепловложением и применение дополнительного теплоотвода во время 3D-печати образцов, является эффективным способом повышения механических свойств у изделий. Механические свойства, напечатанных образцов, регулируется за счет изменения режимов и условий 3D-печати, что способствует воспроизводимости изготовления изделий как единичного, так и серийного производства.

Исследование реализации процесса аддитивного выращивания изделий из меди и медных сплавов методом проволочного электронно-лучевого аддитивного производства показало, возможность использования данного метода для производства готовых изделий и заготовок, а так же ремонта или восстановления различных деталей, которые в процессе эксплуатации были повреждены. Данная технология является более эффективным вариантом решения задачи, поставленной в данной исследовательской работе с позиции финансовой и ресурсной эффективности, во многих отраслях промышленности.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СТУДЕНТА

1. Закономерности организации структуры и управления процессом печати методом электронно-лучевой аддитивной проволоочной технологии крупногабаритных блоков из меди марки М1 / Захаревич И., Рубцов В.Е., Кушнарев Ю.В. [и др.] // Тезисы докладов Международной конференции "Физическая мезомеханика. Материалы с многоуровневой иерархически организованной структурой и интеллектуальные производственные технологии", Томск, 2021. - Томск: Национальный исследовательский Томский государственный университет, 2021. - С. 362.

2. Филиппов, А.В. Влияние структурного состояния на развитие динамики фрикционных процессов при сухом трении скольжения ферритоперлитной стали / Филиппов А.В., Шамарин Н.Н., Кушнарев Ю.В. // Тезисы докладов международной конференции "Физическая мезомеханика. Материалы с многоуровневой иерархически организованной структурой и интеллектуальные производственные технологии", посвященной 90-летию со дня рождения основателя и первого директора ИФПМ СО РАН академика Виктора Евгеньевича Панина в рамках Международного междисциплинарного симпозиума "Иерархические материалы: разработка и приложения для новых технологий и надежных конструкций", Томск, 2020. - Томск: Национальный исследовательский Томский государственный университет, 2020. - С. 498.

3. Филиппов, А.В. Экспериментальное исследование износостойкости ферритоперлитной стали, напечатанной методом проволоочного электронно-лучевого аддитивного производства / Филиппов А.В., Шамарин Н.Н., Кушнарев Ю.В. // Тезисы докладов международной конференции "Физическая мезомеханика. Материалы с многоуровневой иерархически организованной структурой и интеллектуальные производственные технологии", посвященной 90-летию со дня рождения основателя и первого директора ИФПМ СО РАН академика Виктора Евгеньевича Панина в рамках Международного

междисциплинарного симпозиума "Иерархические материалы: разработка и приложения для новых технологий и надежных конструкций". 2020. - Томск: Национальный исследовательский Томский государственный университет, 2020. - С. 531.

4. Шамарин, Н.Н. Структура и механические свойства феррито-перлитной стали, напечатанной методом электронно-лучевого аддитивного производства / Шамарин Н.Н., Кушнareв Ю.В., Филиппов А.В. // Тезисы докладов международной конференции "Физическая мезомеханика. Материалы с многоуровневой иерархически организованной структурой и интеллектуальные производственные технологии", посвященной 90-летию со дня рождения основателя и первого директора ИФПМ СО РАН академика Виктора Евгеньевича Панина в рамках Международного междисциплинарного симпозиума "Иерархические материалы: разработка и приложения для новых технологий и надежных конструкций". 2020. - Томск: Национальный исследовательский Томский государственный университет, 2020. - С. 532.

5. An experimental study of the wear resistance of ferrite-pearlite steel printed by electron beam additive manufacturing / Shamarin N.N., Kushnarev Y.V., Filippov A.V. [et al.] // AIP Conference Proceedings. Physical Mesomechanics. Materials with Multilevel Hierarchical Structure and Intelligent Manufacturing Technology. Том 2310. - American Institute of Physics Inc., 2020. - С. 020301.

6. Influence of the structural state on the development of the dynamics of friction processes during dry sliding friction of ferritic-pearlitic steel / Shamarin N.N., Kushnarev Y.V., Filippov A.V. [et al.] // AIP Conference Proceedings. Physical Mesomechanics. Materials with Multilevel Hierarchical Structure and Intelligent Manufacturing Technology. Том 2310. - American Institute of Physics Inc., 2020. - С. 020302.

7. Structure and mechanical properties of ferritic-pearlite steel printed by electron beam additive manufacturing / Shamarin N.N., Kushnarev Y.V., Filippov A.V. [et al.] // AIP Conference Proceedings. Physical Mesomechanics. Materials

with Multilevel Hierarchical Structure and Intelligent Manufacturing Technology. Tom 2310. - American Institute of Physics Inc., 2020. - C. 020303.

8. Features of C11000 copper products formation by wire-feed electron beam additive manufacturing / Zakharevich I., Rubtsov V.E., Kushnarev Y.V. [et al.] // AIP Conference Proceedings. Physical Mesomechanics. Materials with Multilevel Hierarchical Structure and Intelligent Manufacturing Technology. Tom 2509. - American Institute of Physics Inc., 2022. - C. 020212.

9. Defect formation and inhomogeneous structure in M1 copper at implementing of drop mode printing by wire-feed electron beam additive technology / Gusarova A.V., Zakharevich I., Kushnarev Y.V. [et al.] // AIP Conference Proceedings. Proceedings of the II International Conference on Advances in Materials, Systems and Technologies, CAMSTech-II 2021. Tom 2467. 2022. - American Institute of Physics Inc., 2022. - C. 020059.

10. Microstructure and properties of Ti-6.5Al-3.5Mo-1.5Zr-0.3Si parts produced by electron beam melting / Pushilina, N.S., M.S., Kushnarev, Y., Fedorov, V.V. [et al.] // Journal of Physics: Conference Series [this link is disabled](#), 2018, 1115(4). - Journal of Physics, 2018. - C. 042057.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Закономерности организации структуры и управления процессом печати методом электронно-лучевой аддитивной проволоочной технологии крупногабаритных блоков из меди марки М1. / Захаревич И., Рубцов В.Е., Кушнарев Ю.В. [и др.] //Физическая мезомеханика. Материалы с многоуровневой иерархически организованной структурой и интеллектуальные производственные технологии. Тезисы международной конференции. Томск, 2021. С. 362.
2. Additive manufacturing of metallic components – Process, structure and properties / T. DebRoy, H.L. Wei, J.S. Zuback [et al.] // Prog. Mater. Sci. – 2018. – V. 92. – P. 112 – 224.
3. Walker D.C. Selective laser sintering of composite copper–tin powders / D.C. Walker, W.F. Caley, M. Brochu // Journal of Materials Research. – 2014. – Vol. 29. – P. 1997 – 2005.
4. Ventura A.P. Mechanical Properties and Microstructural Characterization of Cu-4.3 Pct Sn Fabricated by Selective Laser Melting / A.P. Ventura, C.A. Wade, G. Pawlikowski // Metallurgical and Materials Transactions A. – 2017. – Vol. 48. – P. 178 – 187.
5. Imai K. Fabrication of Cu-Al-Ni Shape Memory Alloy by Selective Laser Melting Process / K. Imai, T.T. Ikeshoji, K. Nakamura // Materials Science Forum. – 2018. – Vol. 941. – 1570 – 1573.
6. Wallis C. Effect of heat treatments on microstructure and properties of CuCrZr produced by laser powder bed fusion / C. Wallis, B. Buchmayr // Materials Science and Engineering A. – 2019. – Vol. 744. – P. 215 – 223.
7. Ding D. Wire-feed additive manufacturing of metal components: technologies, developments and future interests / D. Ding, Z. Pan, D. Cuiuri, H. Li // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2015. – Vol. 81. – P. 465 – 481.

8. A review of the wire arc additive manufacturing of metals: properties, defects and quality improvement / B. Wu, Z. Pan, D. Ding [et al.] // J. Manuf. Process. – 2018. – Vol. 35. – P. 127 – 139.
9. Fabrication of Copper-Rich Cu-Al Alloy Using the Wire-Arc Additive Manufacturing Process / B. Dong, Z. Pan, C. Shen, Y. Ma [et al.] // Metallurgical and Materials Transactions B. –2017. – Vol. 48. –3143 –3151.
10. In-situ wire-feed additive manufacturing of Cu-Al alloy by addition of silicon / Y. Wang, X. Chen, S. Konovalov [et al.] // Applied Surface Science. – 2019. – Vol. 487. – 1366 – 1375.
11. In-situ wire-feed additive manufacturing of Cu-Al alloy by addition of silicon / Y. Wang, X. Chen, S. Konovalov [et al.] // Applied Surface Science. – 2019. – Vol. 487. – 1366 – 1375.
12. A review of the wire arc additive manufacturing of metals: properties, defects and quality improvement / B. Wu, Z. Pan, D. Ding [et al.] // J. Manuf. Process. – 2018. – Vol. 35. – P. 127 – 139.
13. Metal transfer in wire feeding-based electron beam 3D printing: Modes, dynamics, and transition criterion / R. Hu, X. Chen, G. Yang [et al.] // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2018. – Vol. 126. – Part B. – P. 877 – 887.
14. Raab S.J. Thermal and Electrical Conductivity of 99.9% Pure Copper Processed via Selective Electron Beam Melting / S.J. Raab, R. Guschlbauer, M.A. Lodes, C. Körner // Advanced Engineering Materials. – 2016. – Vol.18. – P. 1661.
15. Process development of 99.95% pure copper processed via selective electron beam melting and its mechanical and physical properties / R. Guschlbauer, S. Momeni, F. Osmanlic, [et al.] // Materials Characterization. – 2018. – Vol. 143. – P.163 – 170.
16. Pobel C. R. Selective Electron Beam Melting of Oxide Dispersion Strengthened Copper / C. R. Pobel, M. A. Lodes, C. Körner / Advanced Engineering Materials. – 2018. – Vol. 20. –1 – 7.

17. Wolf T. Selective electron beam melting of an aluminum bronze: Microstructure and mechanical properties / T. Wolf, Z. Fu, C. Körner // *Materials Letters*. – 2019. – Vol. 238 – 241.

18. Becker D. Selektives Laserschmelzen von Kupfer und Kupferlegierungen / D. Becker // *Edition Wissenschaft Apprimus*, 1st edn. Apprimus, Aachen. – 2014.

19. Cosslett V.E. Multiple scattering of 5–30 keV electrons in evaporated metal films III. Backscattering and absorption / V.E. Cosslett, R.N. Thomas // *Br. J. Appl. Phys.* – 1965. – Vol. 16. P. 779.

20. Lodes M.A. Process development for the manufacturing of 99.94% pure copper via selective electron beam melting / M.A. Lodes, R. Guschlbauer, C. Körner // *Mater. Lett.* – 2015. – Vol. 143. – P. 298 – 301.

21. Comparison of the oxidation behavior of nanocrystalline and coarse-grain copper / Z. Han, L. Lu, H.W. Zhang [et al.] // *Oxid. Of Met.* – 2005. – Vol. 63. – P. 261 – 275.

22. Хорошко, Е.С. Особенности формирования структуры бронз систем Cu-Al, Cu-Si-Mn и Cu-Al-Si при электронно-лучевом аддитивном производстве : дис. ...канд.тех.наук / Хорошко Екатерина Сергеевна ; Институт физики прочности и материаловедения сибирского отделения Российской академии наук. – Томск, 2022. – 38 – 54 с.

23. ISO 24373 Проволоки сплошного сечения для дуговой сварки в защитных газах плавящимся электродом на основе медных сплавов. – URL: <https://www.standards.ru/document/6254546.aspx> (дата обращения: 19.04.2023). – Текст : электронный.

24. ГОСТ 7350-77 Сталь толстолистовая коррозионностойкая, жаростойкая и жаропрочная. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200001713> (дата обращения: 20.04.2023). – Текст : электронный.

25. ГОСТ 1497-84 Металлы. Методы испытаний на растяжение. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200004888> (дата обращения: 21.04.2023). – Текст : электронный.

26. ГОСТ 28840-90 Машины для испытания материалов на растяжение, сжатие и изгиб. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200023577> (дата обращения: 21.04.2023). – Текст : электронный.

27. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/901865498> (дата обращения: 23.04.2023). – Текст : электронный.

28. ГОСТ 12.1.004–91 Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность – URL: <https://docs.cntd.ru/document/9051953> (дата обращения: 23.04.2023). – Текст : электронный.

29. ГОСТ 12.1.010–76 Система стандартов безопасности труда. Взрывобезопасность. – URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294852/4294852042.pdf> (дата обращения: 23.04.2023). – Текст : электронный.

30. СанПиН 2.2.4.3359-16 Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/420362948> (дата обращения: 23.04.2023). – Текст : электронный.

31. МУ 5046-89 Профилактическое ультрафиолетовое облучение людей. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200059597> (дата обращения: 23.04.2023). – Текст : электронный.

32. ГОСТ 12.4.176-89 Одежда специальная для защиты от теплового излучения. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200012779> (дата обращения: 24.04.2023). – Текст : электронный.

33. ГОСТ 12.4.123-83 Средства коллективной защиты от инфракрасных излучений. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200012669> (дата обращения: 24.04.2023). – Текст : электронный.

34. ГОСТ 12.4.120-83 Средства коллективной защиты от ионизирующих излучений. Общие технические требования. – URL:

<https://docs.cntd.ru/document/901702102> (дата обращения: 24.04.2023). – Текст : электронный.

35. НПБ 105-03 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200032102> (дата обращения: 24.04.2023). – Текст : электронный.

36. СНиП 2.01.02-85 Строительные нормы и правила. Противопожарные нормы. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/871001017> (дата обращения: 24.04.2023). – Текст : электронный.

37. ГОСТ 12.4.021-75 Система стандартов безопасности труда. системы вентиляционные. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200005274> (дата обращения: 24.04.2023). – Текст : электронный.

38. СНиП 2.04.05-86 Строительные нормы и правила. Отопление, вентиляция и кондиционирование. – URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4294815/4294815604.pdf> (дата обращения: 25.04.2023). – Текст : электронный.

39. ГОСТ 9230-77 Огнетушители СО(2) (углекислотные) передвижные. Технические условия (с Изменением N 1). – URL: <https://docs.cntd.ru/document/822912978> (дата обращения: 25.04.2023). – Текст : электронный.

40. ТУ 22-4720-80 Огнетушитель химический воздушно-пенный ОХВП-10. – URL: <https://www.standards.ru/document/5645068.aspx> (дата обращения: 25.04.2023). – Текст : электронный.

Приложение А

Таблица А1 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ									Исполнители	Длительность работ в раб. днях T_{pi}			Длительность работ в кал. днях T_{ki}		
	T_{min} , чел-дни			T_{max} , чел-дни			T_{oji} , чел-дни				Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3							
Составление и утверждение технического задания	1	1	1	2	2	2	1,4	1,4	1,4	Студент, научный руководитель	1	1	1	1	1	1
Выбор направления исследований	1	1	1	2	2	2	1,4	1,4	1,4	Научный руководитель	1	1	2	1	1	2
Календарное планирование работ	1	1	1	3	2	2	1,8	2,2	2,2	Студент, научный руководитель	2	2	2	2	2	2
Подбор и изучение материалов по теме	9	10	13	12	16	17	10,2	12,4	14,6	Студент	12	13	16	16	17	22
Проведение экспериментов	10	12	14	12	15	17	10,8	13,2	15,8	Студент, научный руководитель	11	14	15	13	18	19

Обработка полученных экспериментальных данных	5	6	7	8	9	10	6,2	7,2	8,2	Студент	7	7	9	9	9	11
Анализ результатов и проверка научным руководителем	4	4	5	5	5	8	4,8	4,8	6,2	Студент	4	5	5	4	7	7
Написание раздела «Финансовый менеджмент»	4	4	4	6	6	6	4,8	4,8	4,8	Студент	5	5	5	5	5	5
Написание раздела «Социальная ответственность»	1	2	2	3	4	4	1,8	2,8	2,8	Студент	1	2	2	1	2	2
Оформление ВКР	5	4	6	7	7	8	5,8	5,2	6,2	Студент	5	6	7	5	8	9