

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

Инженерная школа ядерных технологий
 Направление подготовки – 14.03.02 Ядерные физика и технологии
 Научно-образовательный центр Б.П. Вейнберга

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Формирование алмазоподобных покрытий методом импульсного вакуумно-дугового испарения на поверхности полимерных мембран для приложений сердечно-сосудистой хирургии

УДК 620.197.6-032.81:66.081.6:617-089:616.1

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А8Б	Просецкая Елизавета Алексеевна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Научный сотрудник НОЦ Б.П. Вейнберга	Большасов Е.Н.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Якимова Т.Б.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ	Передерин Ю.В.	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор НОЦ Б.П. Вейнберга	Блейхер Г.А.	д.ф.-м.н., доцент		

Компетенции выпускников ООП «Ядерные физика и технологии» по направлению
14.03.02 Ядерные физика и технологии, специализация «Пучковые и плазменные
технологии» (2018 года приёма)

Код компетенции	Наименование 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 практической деятельности, в т.ч. в рамках разработки коммерчески перспективного продукта на основе научно-технической идеи.
ОПК(У)-1	Способен использовать базовые знания естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования.

Код компетенции	Наименование компетенции
ОПК(У)-2	Способен осуществлять поиск, хранение, обработку и анализ информации из различных источников и баз данных, предоставлять ее в требуемом формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий.
ОПК(У)-3	Способен использовать в профессиональной деятельности современные информационные системы, анализировать возникающие при этом опасности и угрозы, соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны.
ПК(У)-1	Готов принимать участие в теоретических исследованиях в различных областях физики, связанных с современными высокотехнологическими способами энергетического воздействия на материалы, основанными на использовании радиационных и плазменных потоков, разрабатывать адекватные физические и математические модели изучаемых процессов.
ПК(У)-2	Способен участвовать в экспериментальных исследованиях в различных областях физики, связанных с воздействием плазмы и пучков заряженных частиц на вещество, самостоятельно осваивать современную физическую аналитическую и технологическую аппаратуру, применять современные методы исследования свойств материалов и различных структур, проводить стандартные и сертификационные испытания технологических процессов, оборудования и изделий.
ПК(У)-3	Способен осуществлять самостоятельный поиск, изучение и использование научно-технической информации по тематике исследования, применять современные компьютерные технологии и информационные ресурсы в своей предметной области.
ПК(У)-4	Способен проектировать плазменно-пучковые технологические процессы и оборудование для применения в научных исследованиях и промышленности.
ПК(У)-5	Готов к участию в производственно-технологической деятельности, связанной с применением плазменных и пучковых технологий для обработки материалов и синтеза новых материалов (в том числе нанесению функциональных покрытий), определению основных

Код компетенции	Наименование компетенции
	параметров технологических процессов, анализу физических и механических свойств изделий и материалов.
ПК(У)-6	Способен применять современные цифровые технологии и пакеты прикладных программ для расчета технологических параметров, обосновывать принятие конкретного технического решения при разработке технологических процессов.
ПК(У)-7	Способен к контролю за соблюдением технологической дисциплины и обслуживанию технологического оборудования.

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

Инженерная школа ядерных технологий
 Направление подготовки – 14.03.02 Ядерные физика и технологии
 Научно-образовательный центр Б.П. Вейнберга

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ Блейхер
 Г.А.
 (Подпись) (Дата)

**ЗАДАНИЕ
 на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
0А8Б	Просецкая Елизавета Алексеевна

Тема работы:

Формирование алмазоподобных покрытий методом импульсного вакуумно-дугового испарения на поверхности полимерных мембран для приложений сердечно сосудистой хирургии	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№47-2/с от 16.02.2022 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:	15.06.2022 г.
--	---------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объектом исследования является поверхность полимерной мембраны, модифицированная методом импульсного вакуумно-дугового испарения графита. Целью работы является получение данных о том, как влияют режимы осаждения алмазоподобных покрытия на свойства модифицированной полимерной мембраны.</p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Литературный обзор <ol style="list-style-type: none"> 1.1. Алмазоподобные покрытия <ol style="list-style-type: none"> 1.1.1. Физико-механические свойства 1.1.2. Медико-биологические свойства 1.2. Методы получения алмазоподобных покрытий <ol style="list-style-type: none"> 1.2.1. Вакуумно-дуговое осаждение 1.2.2. Магнетронное распыление 2. Материалы и методы

	3. Результаты исследований 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 5. Социальная ответственность Заключение Список использованной литературы
--	---

Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Слайд-презентация (13 слайдов)
---	--------------------------------

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
--	--

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Якимова Т.Б., доцент ОСГН, НИИ ТПУ
Социальная ответственность	Передерин Ю.В., доцент ОЯТЦ, НИИ ТПУ

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	04.10.2021 г.
---	---------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Научный сотрудник НОЦ Б.П. Вейнберга	Большасов Е.Н.	к.т.н.		04.10.2021 г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А8Б	Просецкая Е.А.		04.10.2021 г.

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

Студенту:

Группа	ФИО
0А8Б	Просецкая Елизавета Алексеевна

Школа	ИЯТШ	Отделение школы (НОЦ)	НОЦ Б.П. Вейнберга
Уровень образования	бакалавр	Направление/специальность	14.03.02 Ядерные физика и технологии

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Стоимость материальных ресурсов определялась по средней стоимости по г. Томску. Оклады в соответствии с окладами сотрудников «НИ ТПУ».
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Районный коэффициент – 30 %. Накладные расходы – 85 %.
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Общая система налогообложения (в т.ч. 30 % - отчисления во внебюджетные фонды по хоздоговорам).

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Оценочная карта конкурентных технических решений.
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. <i>Календарный план график</i>
2. <i>Бюджет проекта</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	15.03.2022 г.
---	---------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Якимова Т.Б.	к.э.н.		15.03.2022 г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А8Б	Просецкая Е.А.		15.03.2022 г.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
0А8Б	Просецкая Елизавета Алексеевна

Школа	ИЯТШ	Отделение школы (НОЦ)	НОЦ Б.П. Вейнберга
Уровень образования	бакалавр	Направление/специальность	14.03.02 Ядерные физика и технологии

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения.	Объект исследования: поверхность полимерной мембраны. Методика: модифицирование поверхности полимерных мембран методом импульсного вакуумно-дугового испарения. Место проведения исследований: НИИ ТПУ, корпус 11, аудитория 144. Рабочая зона: модернизированная УВНИПА-1-001 Область применения: медицина.
2. Перечень законодательных и нормативных документов по теме	СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Производственная безопасность: – Анализ выявленных вредных и опасных факторов; – Обоснование мероприятий по снижению воздействия;	– механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).
2. Защита в чрезвычайных ситуациях: – перечень возможных ЧС на объекте; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий	– перечень возможных ЧС на объекте; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.
3. Правовые и организационные вопросы	– организационные мероприятия

обеспечения безопасности: – специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	при компоновке рабочей зоны.
---	------------------------------

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	15.03.2022 г.
--	---------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ	Передерин Ю.В.	к.т.н.		15.03.2022 г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А8Б	Просецкая Е.А.		15.03.2022 г.

Реферат

Выпускная квалификационная работа: 69 с., 10 рис., 18 табл., 38 источников.

Ключевые слова: импульсное вакуумно-дуговое испарение, алмазоподобное покрытие, полимерная мембрана.

Объектом исследования является поверхность полимерной мембраны, модифицированная методом импульсного вакуумно-дугового испарения графита.

Цель работы – получение данных о том, как влияют режимы осаждения алмазоподобных покрытия на свойства модифицированной полимерной мембраны.

В процессе исследования были получены данные о свойствах поверхности полимерных мембран до и после процесса модификации.

В результате работы показано, что методом импульсного вакуумно-дугового испарения были получены алмазоподобные покрытия на поверхности полимерных мембран. Проведены исследования морфологии поверхности, кристаллической структуры, смачиваемости и взаимодействие клеток с поверхностью модифицированных мембран.

Область применения: приложения сердечно-сосудистой хирургии.

Содержание

Введение.....	13
1. Литературный обзор	15
1.1. Алмазоподобные покрытия	15
1.1.1. Физико-механические свойства	15
1.1.2. Медико-биологические свойства	15
1.2. Методы получения алмазоподобных покрытий	17
1.2.1. Вакуумно-дуговое осаждение.....	19
1.2.2. Магнетронное распыление.....	20
2. Материалы и методы	23
2.1. Создание полимерных мембран	23
2.2. Осаждение алмазоподобных покрытий методом вакуумно- дугового испарения	25
2.3. Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ).....	26
2.4. Прочность на разрыв и относительное удлинение.....	27
2.5. Анализ рентгеновской дифракции	27
2.6. Смачиваемость	28
2.7. Адгезия, жизнеспособность и пролиферативная активность клеток.....	29
3. Результаты исследований.....	31
3.1. Анализ образцов, модифицированных методом вакуумно- дугового осаждения	31
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	39
4.1 Составление плана-графика выполнения работ	39
4.1.1 Структура работ в рамках научного исследования.....	39
4.1.2 Определение трудоемкости выполнения работ.....	40

4.1.3	Разработка графика проведения научного исследования....	40
4.2	Бюджет научного исследования.....	43
4.2.1	Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты....	44
4.2.2	Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ	44
4.2.3	Основная заработная плата.....	46
4.2.4	Дополнительная заработная плата.....	48
4.2.5	Отчисления во внебюджетные фонды.....	49
4.2.6	Накладные расходы	49
4.2.7	Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.....	49
5.	Социальная ответственность	51
5.1.	Производственная безопасность	51
5.1.1.	Микроклимат в помещении	52
5.1.2.	Шум в помещении	54
5.1.3.	Физические и нервно-психические перегрузки.....	55
5.1.4.	Освещенность помещения	55
5.1.5.	Электробезопасность.....	57
5.1.6.	Пожаровзрывобезопасность	58
5.2.	Безопасность в чрезвычайных ситуациях	58
5.3.	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	61
5.4.	Вывод по разделу	62
	Заключение	64
	Список использованной литературы	66

Введение

Одной из основной причин смертности в мире является сердечно-сосудистые заболевания, в том числе и атеросклероз сонной артерии. По оценкам, в 2016 году от сердечно-сосудистых заболеваний умерло 17,9 миллиона человек, что составило 31% всех случаев смерти в мире. 85% этих смертей произошло в результате сердечного приступа и инсульта [1].

Одним из основных подходов к восстановлению проходимости сонной артерии является ее восстановление сосудистыми патчами (полимерными мембранами) после хирургического удаления тромбов.

Одной из основных проблем мембран является их тромбогенность. Чтобы преодолеть этот недостаток, были предложены различные способы модификации мембран, приводящие к затруднению адсорбции белков. Среди распространенных подходов к модификации можно назвать: формирование органических покрытий, ионное облучение, изготовление композитных мембран.

Еще в прошлом столетии были продемонстрированы изделия с износостойкими покрытиями такими как, алмазоподобные (АП) покрытия. Используется множество методов нанесения этих покрытий, и многие исследователи идут по пути совершенствования этих методов с целью управления их химическим составом, структурой для обеспечения наилучшего сочетания свойств покрытия и основы в различных областях применения.

Благодаря таким свойствам алмазоподобных покрытий, как высокая твердость, низкий коэффициент трения, высокая износостойкость и коррозионная стойкость, химическая инертность, высокое электрическое сопротивление, антибактериальная активность и высокая гемо- и биосовместимость, их наносят на поверхность устройств, контактирующих с кровью, для снижения их тромбогенности.

Для осаждения алмазоподобных покрытий на металлические и керамические имплантаты используются следующие методы: магнетронное

распыление, осаждение ионным пучком, вакуумно-дуговое испарение, импульсное лазерное осаждение, осаждение ионным пучком с массовым отбором, плазменная ионная имплантация. Перечисленные методы получения таких покрытий требуют подачи ускоряющего потенциала на подложку, что приводит к значительному повышению температуры подложки или не обеспечивает достаточной скорости осаждения. Эти факторы ограничивают применимость перечисленных методов для нанесения покрытия на поверхность ультратонких волокнистых полимерных мембран.

Метод импульсного вакуумно-дугового испарения представляется перспективным для осаждения алмазоподобных покрытий на поверхности полимерных мембран, так как в процессе осаждения не происходит сильного нагрева подложки.

Целью работы является получение данных о том, как влияют режимы осаждения алмазоподобных покрытия на свойства модифицированной полимерной мембраны.

К задачам следует отнести следующее:

1. Изготовление полимерных мембран;
2. Осаждение алмазоподобных покрытий при помощи метода вакуумно-дугового испарения;
3. Исследование морфологии поверхности, физико-механических и биологических свойств полученных образцов;
4. Анализ полученных данных.

Объектом исследования является поверхность полимерной мембраны, модифицированная методом импульсного вакуумно-дугового испарения графита.

Предметом исследования является получение алмазоподобных покрытий методом вакуумного дугового испарения.

1. Литературный обзор

1.1. Алмазоподобные покрытия

1.1.1. Физико-механические свойства

Рассмотрим такие физические характеристики, как твердость, плотность и электрические свойства. Из-за наличия sp^3 – гибридного углерода в пленке именно эти характеристики близки к свойствам алмаза. Именно поэтому такие пленки принято называть алмазоподобными (DLC).

DLC – пленки характеризуются высокой механической твердостью, модулем упругости, внутренним напряжением, низким износом и коэффициентом трения. У осажденных на поверхности различных материалов твердость располагается в диапазоне от 10 до 30 ГПа. Физические свойства определяются с помощью концентрации водорода вместе с относительными отношениями гибридных углеродных связей.

Алмазоподобные углеродные пленки также обладают такими свойствами, как химическая инертность, инфракрасная прозрачность, низкое сродство к электрону. Сформированные DLC пленки имеют сверхгладкую поверхность, шероховатость такой поверхности менее 1 нм. Что объясняется тем, что поверхность покрытия аморфна, следовательно, низкую поверхностную энергию.

Одним из важнейших параметров любого покрытия является его адгезия. Данные, полученные с помощью экспериментальных исследований позволили сделать вывод о том, что решающим фактором для получения покрытия с высокой адгезией и воспроизводимыми свойствами является чистота поверхности подложки.

На данный момент известно много методов очистки поверхности перед нанесением покрытия. Для подготовки поверхности применяются

механические, химические, электрохимические и ионно-плазменные методы [2].

Механическая очистка поверхности может состоять из крацевания, полирования, шлифования и пескоструйной обработки. С помощью шлифования с поверхности металла удаляют неровности путем снятия тонкого слоя. В процессе полирования с поверхности изделия. Крацеванием поверхности изделия матируют, очищают от заусенцев.

Химическая и электрохимическая очистка состоит из обезжиривания и электрохимического обезжиривания.

В процессе химического обезжиривания в органических растворителях происходит обычное растворение жира. Для этого используют керосин, бензин, хлорированные углеводороды. Но эти растворители имеют существенные недостатки: керосин и бензин имеют свойство легко воспламеняться, а хлорированные углеводороды токсичны для организма. Также есть электрохимическое обезжиривание, которое проводится на аноде или катоде в щелочных растворах, похожих на те, что применяются в химическом обезжиривании. Эффективность у электрохимического обезжиривания выше, чем у химического.

Химические и механические методы, что успешно применяются для очистки большинства загрязнений, но они не пригодны для удаления адсорбционных газов с поверхности изделий и устройств, находящихся в вакуумной камере.

После механической очистки, промывки, очистки химическими растворителями и суши изделия возникает необходимость в очистке от адсорбированных газов. Исследования показали, что для достижения этой цели наиболее эффективным методом является очищающее действие тлеющего разряда. Такая очистка подложки позволяет получать покрытия с высокими адгезионными свойствами [2].

1.1.2. Медико-биологические свойства

Рассмотрим биологические свойства DLC – пленок. Одним из таких свойств является биосовместимость. Вряд ли было бы возможным использование DLC – пленок в качестве покрытия для материалов *in vivo*, если бы не было доказано, что он биосовместим [3].

Биосовместимым называют такой материал, который имеет небиологическое происхождение, но применяется в медицине для достижения взаимодействия с биологической системой [4]. Такие материалы обладают способностью функционировать в теле человека, не вызывая при этом воспаления или любых других осложнений.

Иными словами, можно выделить, что биосовместимость – это сложное избирательное свойство, в котором обусловлена возможность существования биоматериала в организме человека с сохранением всех функций тканей, а также их регенерации.

Биосовместимость материалов включает:

1. Иммунологическую совместимость, которая связана, главным образом, с подбором совместимых по антигенам тканей, клеток, биоинженерных конструкций;
2. Морфофункциональную совместимость (встраивание, интеграция с окружающими тканями);
3. Биомеханическую совместимость (способность выдерживать механические, гидродинамические и иные виды нагрузки) [4].

Биоматериал, применяемый для нашего человеческого тела, должен быть химически и биологически инертен к окружающим клеткам и нашим жидкостям организма.

В этой структуре алмаза они имеют две фазы. Один из них представляет собой sp^2 – гибридные атомы углерода в гексагональном кольце, образованном структурой графита. Это расстройство угла связи, обусловленное исчезновением симметрии длинномерного переноса поликристаллического графита и аморфных углеродных пленок. С другой

стороны, вибрация растяжения C-C sp^3 – гибризованных атомов углерода как в кольцах, так и в цепочках.

В последние несколько лет алмазоподобные покрытия стали потенциальным материалом для модификации изделий биомедицинского назначения, благодаря таким свойствам, как высокая твердость, износостойкость, устойчивость к коррозированию, низкий коэффициент трения, биосовместимость, высокой гладкости. Такие свойства говорят о том, что алмазоподобные покрытия являются хорошим биоматериалом для применения в таких областях медицины, как ортопедия, сердечно-сосудистой хирургия, офтальмология, стоматология.

Современные литературные источники содержат как положительные, так и негативные отзывы о применении в клинической практике различных имплантатов с DLC-покрытиями. Ограниченность сведений о клиническом использовании имплантатов с DLC пока не позволяют делая практикующим специалистам однозначные выводы о необходимости использования их в клинике, что не создает предпосылки для развития производства имплантатов с данными покрытиями в промышленном масштабе.

DLC-пленки используются в качестве биосовместимого наружного слоя для медицинских имплантатов, таких как протезные клапаны сердца и в качестве износостойких покрытий для замены суставов. В настоящее время хорошо зарекомендовали себя пленки DLC как устойчивый к царапинам ультрафиолетовый защитный слой для линз.

Баттер и Леттингтон в работе [5] сообщают о предварительных исследованиях *in vivo*, что включают в себя имплантацию штифтов с DLC – покрытием в мягкие ткани и бедра овец. Гораздо большее сцепление наблюдалось на DLC, а не на стыках металл-ткань, что указывало на более низкий риск инфекции.

1.2. Методы получения алмазоподобных покрытий

Алмазоподобные углеродные покрытия можно получить различными способами. Основными способами получения алмазоподобных покрытий являются вакуумно-дуговое осаждение, магнетронное распыление. В данной выпускной квалификационной работе будет использоваться метод импульсного вакуумно-дугового испарения.

1.2.1. Вакуумно-дуговое осаждение

При использовании дугового испарения зажигается электрическая дуга. После зажигания дуги ее перемещение по поверхности мишени, которая установлена в медном охлаждаемом катоде, управляется с помощью системы магнитов [6]. На дуговых установках можно наносить композитные и многослойные покрытия, для последнего применяются разные мишени.

Вакуумно-дуговое нанесение покрытий (катодно-дуговое осаждение) — это физический метод нанесения покрытий (тонких плёнок) в вакууме, путём конденсации на подложку (изделие, деталь) материала из плазменных потоков, генерируемых на катоде-мишени в катодном пятне вакуумной дуги сильноточного низковольтного разряда, развивающегося исключительно в парах материала электрода [7].

Метод используется для нанесения металлических, керамических и композитных пленок на различные изделия.

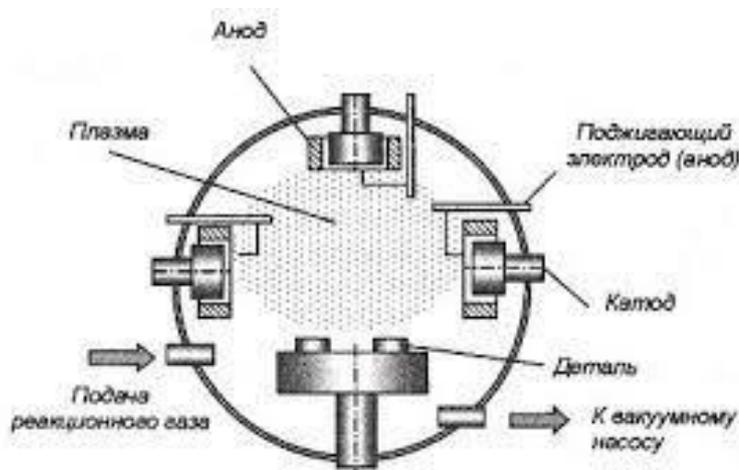


Рисунок 1 – Принципиальная схема метода дугового испарения [8]

Между анодом, поджигающим электродом и катодом, выполненным из наносимого материала, подается напряжение. Поджигающий электрод служит для зажигания электрической дуги. Это действие производится кратковременным касанием поджигающего электрода поверхности катода. Локальная температура катодного пятна чрезвычайно высока (около 15000 °С), что вызывает интенсивное испарение и ионизацию в них материала катода и образование высокоскоростных (до 10 км/с) потоков плазмы, распространяющихся из катодного пятна в окружающее пространство. Возникшая между анодом и катодом дуга устойчиво горит в парах материала катода при напряжении от 20 до 30 В и силе тока от 150 до 300 А. Испарение материала производится из области катодных микропятен вакуумной дуги.

При достаточной мощности источника напряжения в воздушном промежутке образуется достаточное количество плазмы для значительного падения сопротивления воздушного промежутка (т.е. уменьшения напряжения пробоя).

При этом искровые разряды превращаются в дуговой разряд — плазменный шнур между электродами, являющийся плазменным тоннелем. Возникающая дуга является, по сути, проводником и замыкает электрическую цепь между электродами. Температура плазмы достигает 6000 К, катод раскаляется вследствие бомбардировки положительными ионами примерно до 3500 К. В результате катод интенсивно испаряется и на его поверхности образуется углубление – кратер.

Для получения многокомпонентных покрытий можно использовать одновременно несколько катодов, изготовленных из различных материалов. Если требуется получить покрытие из карбидов, нитридов или оксидов металлов, в камеру подается реактивный газ.

Данный метод, как и остальные, имеет свои достоинства и недостатки. К достоинствам метода стоит отнести:

1. получаемые покрытия имеют высокую прочность сцепления с подложкой, дисперсную структуру и малую пористость;

2. возможность распылять металлы и сложные сплавы;
3. хорошая производительность. Системы на основе вакуумно-дугового испарения материалов обеспечивают скорости осаждения до единиц мкм/мин.

Но также имеется и существенный недостаток: если катодное пятно остаётся в точке испарения слишком долго, оно эмитирует большое количество макрочастиц или капельной фазы [8].

1.2.2. Магнетронное распыление

Из установок, которые используют метод распыления, наибольшее применение находят установки на основе магнетронов. При приложении высокого напряжения в атмосфере инертного газа возникает тлеющий заряд. Ионы инертного газа из плазмы, что обладают высокой энергией, ударяются о мишень, включенную как катод. За счет ударного импульса распыление проходит без жидкой фазы. Еще одной особенностью магнетрона является то, что он имеет цельнометаллический корпус, чтобы избежать неконтролируемое натекание газов в вакуумную камеру.

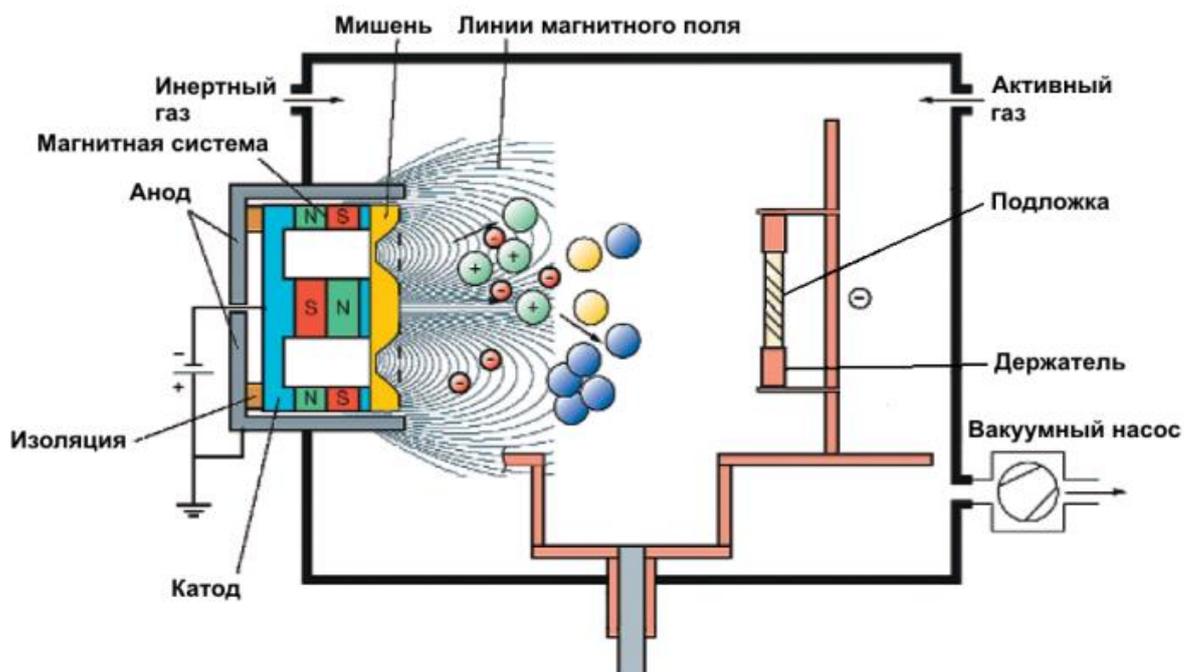


Рисунок 2 – Принцип работы магнетронной распылительной системы [9]

В магнетронной распылительной системе используется разряд низкого давления в неоднородных скрещенных электрическом и магнитном полях, локализованный у поверхности распыляемой мишени, которая является катодом. При этом силовые линии электрического поля перпендикулярны катоду, а магнитного поля — параллельны ему. Эмитируемые с поверхности катода при ионной бомбардировке электроны захватываются магнитным полем и совершают сложные циклические движения у распыляемой поверхности, многократно сталкиваясь с атомами рабочего газа. Полученные в результате ионизирующих столкновений электроны также удерживаются в магнитной ловушке. Таким образом, вблизи поверхности катода образуется область высокой концентрации частично замагниченной плазмы. Полученные в результате ионизации рабочего газа ионы ускоряются разрядным напряжением, приложенным в направлении катода-мишени, и распыляют ее [10].

2. Материалы и методы

2.1. Создание полимерных мембран

Первым этапом выполнения работы было создание мембран из 6% массового раствора сополимера ВДФ-ТеФЭ в ацетоне. Для изготовления использовали метод электроспиннинга на установке NANON-01A на алюминиевом коллекторе длиной 200 мм и диаметром 100 мм. В таблице ниже представлены параметры создания мембран.

Таблица 2.1 – Параметры создания полимерных мембран методом электроспиннинга

Расстояние между инжектором (игла) и коллектором, мм	90
Напряжение на инжекторе, кВт	25
Скорость потока раствора, мл/ч	4
Частота вращения коллектора, об/мин	200

Метод электроспиннинга в основном используется для изготовления высокопористых нетканых полимерных материалов, которые находят свое применение в тканевой инженерии, нанoeлектронике и нанокатализе [11].

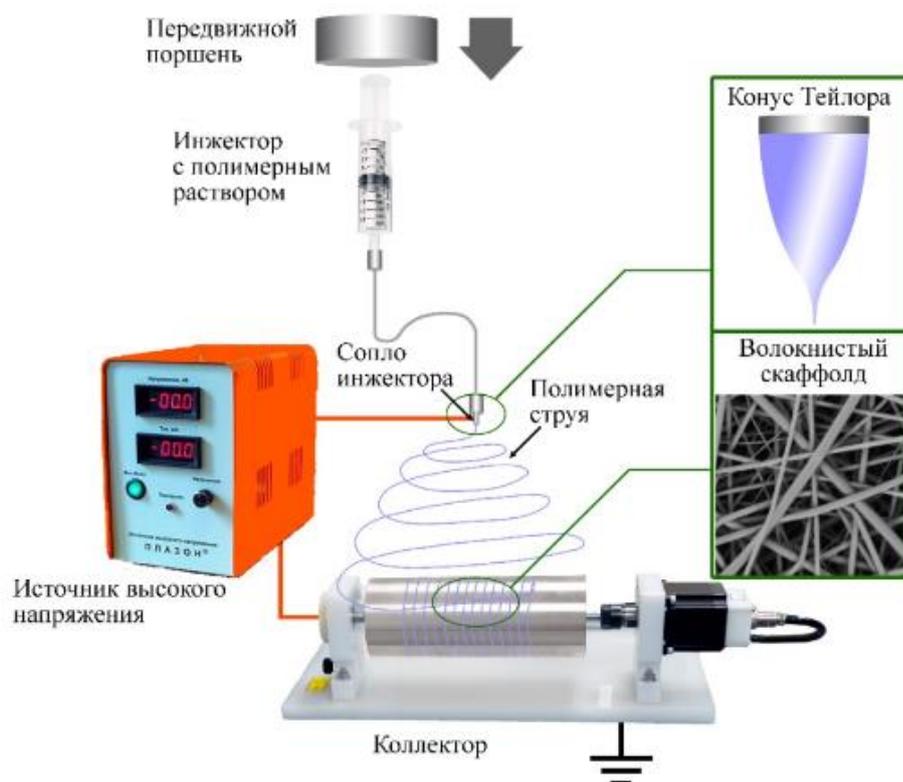


Рисунок 3 – Принципиальная схема установки электроспиннинга [12]

К металлическому электроду, расположенному вокруг сопла, из которого выходит полимерный раствор, подведено постоянное (в основном отрицательное) высокое электрическое напряжение. Из шприца или другой емкости, в которой содержится полимерный раствор, выдавливают поршнем или вытекает под воздействием собственного веса содержимое емкости. В результате движения жидкости по электрически заряженному капиллярному соплу на его конце образуется конус Тейлора (рис. 1). Такой конус неустойчив и при критической плотности приобретенного заряда струя жидкости испускается из кончика конуса. Вытекающий раствор вытягивается, образуя непрерывную, ускоряющуюся и утончающуюся свободную струю. Полимерная струя, при падении на сборочный коллектор, застывает, в результате чего на сборочном коллекторе образуется нетканая полимерная структура, которую называют полимерной мембраной [12].

2.2. Осаждение алмазоподобных покрытий методом вакуумно-дугового испарения

Следующим этапом было осаждение алмазоподобного покрытия на полимерных мембранах (образцах). Для получения покрытий использовалась УВНИПА – 1 – 001 (рис. 4), и чтобы поместить образцы в камеру использовали металлические подложки (рис. 5), которые закреплялись внутри вакуумной камеры на специальном держателе. В процессе осаждения подложки с образцом вращались вокруг своей оси, а также по периметру установки для формирования равномерного покрытия.



Рисунок 4 – УВНИПА – 1 – 001



Рисунок 5 – Расположение образцов внутри камеры

В таблице ниже представлены параметры осаждения покрытий.

Таблица 2.2 – Параметры осаждения

Рабочее давление, Па	0,02			
Напряжение накопителя, В	150	200	250	300
Частота импульсов, Гц	3			
Количество импульсов	3000			
Время обработки, с	40			

2.3. Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ)

После осаждения покрытий, требовалось исследовать морфологию поверхности с помощью метода сканирующей электронной микроскопии (СЭМ).

Данный метод применяется для характеристики структуры поверхностей материала. Взаимодействие электронов сфокусированного пучка с атомами образца может приводить не только к их рассеянию, которое используется для получения изображения в просвечивающих электронных

микроскопах, но и к появлению различных вторичных явлений, несущие информацию о свойствах поверхности материала. Энергия и глубина выхода вторичных частиц определяются их природой, свойствами материала и энергией первичных электронов. Для создания изображения в СЭМ наиболее часто регистрируются упруго рассеянные первичные электроны либо вторичные электроны [13].

Диаметр волокон мембран определяли по изображениям СЭМ из нескольких полей зрения с помощью программы Fiji – Image J. Для расчета среднего значения диаметры было измерено не менее 350 волокон для каждой из групп.

2.4. Прочность на разрыв и относительное удлинение

Требовалось исследовать полученные образцы на прочность и относительное удлинение, так как в процессе модификации на поверхности полимерной мембраны могли образоваться дефекты, которые в дальнейшем способствуют ухудшению механических свойств мембраны.

Исследовали прочность на разрыв и относительное удлинение на разрывной машине Instron 3344 с предварительной нагрузкой 0,1 Н и скоростью траверсы 10 мм/мин.

2.5. Анализ рентгеновской дифракции

Кристаллическая структура мембран была исследована методом рентгеновской дифракции на дифрактометре XRD 6000.

Рентгенофазовый анализ (РФА) позволяет выдавать информацию о структуре, фазах, кристаллической ориентации исследуемых твердых веществ. Также с его помощью оценивают средний размер зерна, кристалличность, деформацию и кристаллические дефекты [14]. Метод основан на явлении дифракции рентгеновских лучей на кристаллических решетках твердых веществ.

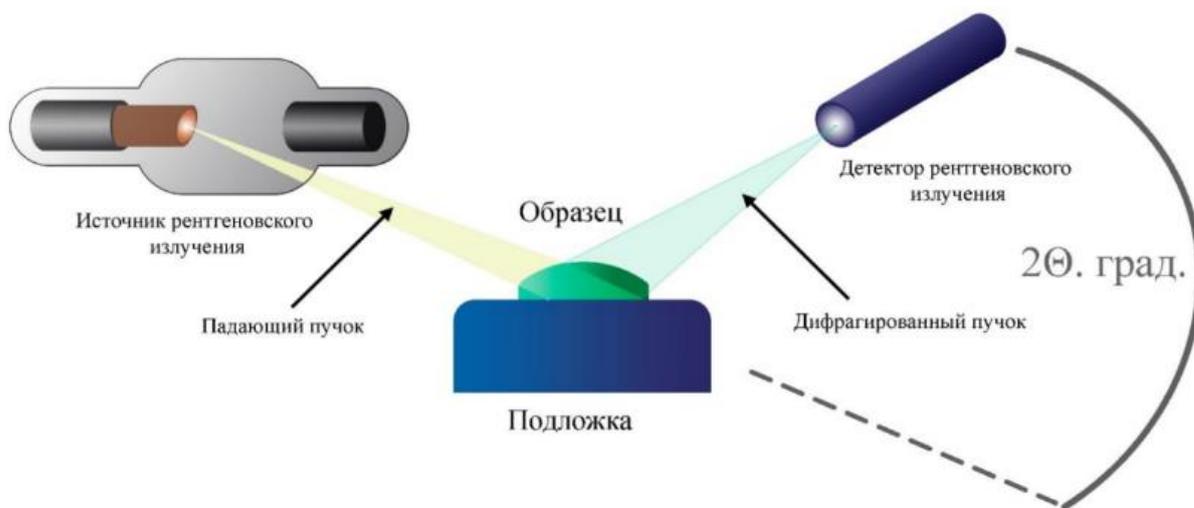


Рисунок 6 – Принципиальная схема дифрактометра [12]

Дифрактометр состоит из следующих узлов: 1) источник рентгеновского излучения; 2) держатель для образца; 3) детектор рентгеновского излучения.

Рентгеновское излучение генерируется в рентгеновской трубке в результате торможения термоэлектронов на аноде. Медь является наиболее распространенным материалом для изготовления анодов в рентгеновских трубках. Использование меди позволяет создавать Cu K_α излучение с длиной волны $1,542 \text{ \AA}$. Такое излучение проходит через коллиматор и направляется в сторону исследуемого образца. В зависимости от изменения угла съемки образца детектором, изменяется интенсивность отраженных рентгеновских лучей. Когда угол скольжения доходит до значений, удовлетворяющих условию Вульфа-Брэгга, возникает интерференционная картина и проявляются отдельные высокоинтенсивные пики, характеризующие кристаллическую структуру полимерного образца.

2.6. Смачиваемость

Еще одним необходимым исследованием полимерной мембраны было определение смачиваемости поверхности до и после модификации.

Определение данного параметра производилось с помощью системы измерения контактного угла. На образце в различных положениях

размещались капли полярной (вода H_2O) и неполярной жидкости (дийодметан CH_2I_2).

По результатам измеренного контактного угла была рассчитана поверхностная свободная энергия (σ) и ее дисперсная (σ_D), и полярная (σ_P) составляющие по методу Оуэнса-Вендта-Рабеля-Келбла (ОВРК).

Оунс, Вендт, Рабель и Кьельбле рассматривали поверхностное натяжение с точки зрения полярной и дисперсной составляющих. Они представили, что энергия поверхности твердого тела включает две составляющие: дисперсионную и полярную. Дисперсионная составляющая включает силы Ван-дер-Ваальса и другие неспецифические взаимодействия, полярная составляющая - сильные взаимодействия и водородные связи. На основе этих представлений было выведено уравнение.

$$\frac{\sigma(\cos \theta + 1)}{2\sqrt{\sigma_{D_ж}}} = \frac{\sqrt{\sigma_{P_{ТВ}}} \cdot \sqrt{\sigma_{P_ж}}}{\sqrt{\sigma_{D_ж}}} + \sqrt{\sigma_{D_{ТВ}}}, \quad (2.6)$$

2.7. Адгезия, жизнеспособность и пролиферативная активность клеток

Исследование взаимодействия полученных мембран с клетками *in vitro* проводили с использованием фибробластов эмбриона мыши 3T3L1. Стерильные образцы мембран диаметром 12 мм помещали в лунки 24-луночных планшетов и заливали по 100 мкл среды для роста клеток на лунку. Для экстракции образцы оставляли на 5 дней в CO_2 -инкубаторе при $37^\circ C$. Для всех экспериментов с клетками использовали одну и ту же среду DMEM, дополненную глутаминовой добавкой GlutaMAX, 10% фетальной бычьей сывороткой One Shot®, и антибиотиками (смесь пенициллина/стрептомицина).

После выделения среды использовались для роста клеток. В качестве контроля использовали среду без полимерных дисков, которую выдерживали в тех же условиях в течение 5 дней. Клетки культивировали 24, 72, 168 часов в атмосфере, содержащей 5% CO_2 при температуре $37^\circ C$. После инкубации

среду из каждого образца использовали для определения цитотоксичности и роста клеток в МТТ-тесте. Для проведения МТТ-теста среду в планшете заменяли раствором 3- (4,5-диметилтиазол-2-ил) -2,5-дифенил-2Н-тетразолия бромида (МТТ) в концентрации 0,45 мг/мл и помещали планшет в термостат на 4 часа. Затем раствор МТТ удаляли и добавляли ДМСО для растворения формазана. Затем измеряли оптическую плотность при длине волны 570 нм, проводили расчет жизнеспособности и представляли в процентах к контрольной группе.

Абсолютное количество клеток на 1 мм² поверхности оценивали с помощью системы флуоресцентной микроскопии AxioVert.A1. Клетки окрашивали витальными флуоресцентными красителями Calcein AM 0,5 мкг/мл для зеленого окрашивания цитоплазмы клеток и Hoechst 33342 1 мкг/мл для синего окрашивания ядер всех адгезированных клеток. Красители наносили на образцы за 15 минут до микроскопии. Обработку изображений проводили с помощью программного обеспечения ZEN pro. Подсчет клеток проводили с помощью программы ImageJ 1.38 с 10 различных полей зрения.

Исследования проводили на 5 образцах каждой исследуемой группы в трех экземплярах, используя 10 случайно выбранных полей зрения для каждой группы. В качестве контроля использовали клетки, культивированные в среде без выделения материала.

4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Увеличение продолжительности жизни и изменение образа жизни привели к тому, что в последние десятилетия выросла необходимость в использовании различных способов восстановления поврежденных сосудов, в том числе и сонной артерии. Одним из основных подходов к восстановлению проходимости сонной артерии является ее восстановление сосудистыми патчами (полимерными мембранами) после хирургического удаления тромбов. В рамках выпускной работы проводилось исследование влияния режимов осаждения алмазоподобных покрытий на свойства модифицированной полимерной мембраны. В данном разделе представлены разработанный план-график исследования, а также расчет бюджета исследования.

4.1 Составление плана-графика выполнения работ

4.1.1 Структура работ в рамках научного исследования

В рамках текущей НИР была сформирована рабочая группа из двух человек, в состав которой вошли: руководитель и младший научный сотрудник (м.н.с.). Перечень этапов и работ по выполнению НИР, а также распределение исполнителей по видам работ приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Перечень этапов, работ и распределение обязанностей

Основные этапы	№	Содержание работ	Должность
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
	2	Выбор направления исследований и способа решения задач	Руководитель
Теоретические и экспериментальные исследования	3	Подбор и изучение материалов по теме	м.н.с.
	4	Составление плана экспериментов	Руководитель
	5	Подготовка образцов для экспериментов	м.н.с.
	6	Проведение экспериментальных работ	м.н.с.
	7	Исследование полученных образцов	м.н.с.
Обобщение и оценка результатов	8	Анализ и обработка полученных результатов	м.н.с.
	9	Обсуждение и оценка эффективности	Руководитель,

		результатов	М.Н.С.
Оформление отчета по НИР	10	Составление пояснительной записки	М.Н.С.
	11	Подготовка к защите	М.Н.С.

4.1.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудоемкость выполнения НИР оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер. Для определения, ожидаемого (среднего) значения трудоемкости работ $t_{ож}$ используется следующая формула:

$$t_{ожi} = \frac{3t_{min i} + 2t_{max i}}{5}, \quad (4.1)$$

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

$t_{min i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предложении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{max i}$ – максимальная возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предложении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

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

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}, \quad (4.2)$$

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

$T_{ожi}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.дн.;

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

4.1.3 Разработка графика проведения научного исследования

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками,

характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ. Для удобства построения графика длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (4.3)$$

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:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (4.4)$$

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.

Коэффициент календарности составляет:

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

Результаты расчётов временных показателей по приведенным выше формулам представлены в таблице 4.2.

Таким образом, суммарная длительность работ в календарных днях (T_k): для руководителя – 12 дней, для м.н.с. – 106 дней.

Таблица 4.2 – Временные показатели проведения научного исследования

№	Название работ	Трудоемкость работ			Исполнитель	T_p , раб. дн.	T_k , кал. дн.
		t_{min} , чел-дн.	t_{max} , чел-дн.	$t_{ожс}$, чел-дн.			
1	Составление и утверждение технического задания	1,0	2,0	1,4	Руководитель	1,4	2,0
2	Выбор направления исследований и способа решения задач	1,0	2,0	1,4	Руководитель	1,4	2,0
3	Подбор и изучение материалов по теме	7,0	15,0	10,2	м.н.с.	10,2	15,0
4	Составление плана экспериментов	1,0	2,0	1,4	Руководитель	1,4	2,0
5	Подготовка образцов для экспериментов	3,0	7,0	4,6	м.н.с.	4,6	7,0
6	Проведение экспериментальных работ	1,0	3,0	1,8	м.н.с.	1,8	3,0
7	Исследование полученных образцов	7,0	12,0	9,0	м.н.с.	9,0	13,0
8	Анализ и обработка полученных результатов	10,0	15,0	12,0	м.н.с.	12,0	18,0
9	Обсуждение и оценка эффективности результатов	6,0	10,0	7,6	Руководитель, м.н.с.	3,8	6,0
10	Составление пояснительной записки	20,0	35,0	26,0	м.н.с.	26,0	38,0
11	Подготовка к защите	3,0	5,0	3,8	м.н.с.	3,8	6,0

На основании полученных данных был построен план-график в виде диаграммы Ганта. График построен с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования. При этом работы на графике выделены различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу. Календарный план-график

выполнения данной дипломной работы в виде диаграммы Ганта представлен ниже в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№	Название работ	Исполнитель	T _k , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ													
				февр		март			апр			май			июнь		
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	2	■													
2	Выбор направления исследований и способа решения задач	Руководитель	2	■													
3	Подбор и изучение материалов по теме	м.н.с.	15	▨													
4	Составление плана экспериментов	Руководитель	2			■											
5	Подготовка образцов для экспериментов	м.н.с.	7			▨											
6	Проведение экспериментальных работ	м.н.с.	3			▨											
7	Исследование полученных образцов	м.н.с.	13			▨											
8	Анализ и обработка полученных результатов	м.н.с.	18					▨									
9	Обсуждение и оценка эффективности результатов	Руководитель, м.н.с.	6								■	▨					
10	Составление пояснительной записки	м.н.с.	38								▨	▨	▨	▨			
11	Подготовка к защите	м.н.с.	6														▨

▨ – м.н.с. ■ – руководитель

4.2 Бюджет научного исследования

При планировании бюджета НИОКР должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В данном разделе подсчитываются следующие статьи расходов:

материальные затраты, заработная плата исполнителей, отчисления во внебюджетные фонды, накладные расходы.

4.2.1 Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты

Расчет стоимости материальных затрат производился по действующим прейскурантам. В стоимость материальных затрат включены транспортно-заготовительные расходы. В таблице 4.4 представлены затраты на сырье и материалы.

Таблица 4.4 – Сырье и материалы

Наименование	Кол-во	Цена за единицу	Сумма, руб.
Полимер ПВДФ	1 кг	15 000	15 000
Сополимер ВДФ-ТеФЭ	1 кг	15 000	15 000
Ацетон	0,8 кг	353	353
Диметилацетамид	0,8 кг	316	316
Графитовая мишень	С (99,99% чистоты).	15 000	15 000
Всего за материалы, руб.			45 669
Транспортно-заготовительные расходы (5%), руб.			2 283,45
Итого по статье, руб.			47 952,45

4.2.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ

В данную статью включены все затраты, связанные с приобретением специального оборудования, необходимого для проведения экспериментальных работ. Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам и по договорным ценам. Затраты по доставке и монтажу заложены в цену оборудования. Все расчеты по приобретению спецоборудования и оборудования, имеющегося в организации, отображены в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Затраты на оборудование

№	Наименование оборудования	Кол-во	Цена за ед. оборудования, руб.	Общая стоимость, руб.
1	Установка для электроспиннинга	1	2 000 000	2 300 000
2	Ионно-плазменная установка	1	400 000	460 000
3	Сканирующий электронный микроскоп	1	5 100 000	5 865 000
4	Разрывная машина	1	800 000	920 000
5	Дифрактометр	1	4 500 000	5 175 000
6	Система измерения контактного угла	1	600 000	690 000
Итого по статье, руб.				15 410 000

В таблице 4.6 приведены амортизационные отчисления, рассчитанные линейным методом.

Таблица 4.6 – Амортизационные отчисления

Наименование оборудования	Общая стоимость оборуд., руб.	Срок службы оборуд., лет	Норма амортизации, %	Время использования оборуд., дней	Величина амортизации, руб.
Установка электроспиннинга	2 300 000	5	20	3	3 833,33
Ионно-плазменная установка	460 000			3	766,66
Сканирующий электронный микроскоп	5 865 000			2	6 516,66
Разрывная машина	920 000			5	2 555,55
Дифрактометр	5 175 000			4	11 500
Система измерения контактного угла	690 000			2	766,66
Итого					25 578,86

Величина амортизации рассчитывается по следующей формуле:

$$A = \frac{C \cdot H_a \cdot a}{100 \cdot 12}, \quad (4.5)$$

где C – стоимость оборудования, руб.;

H_a – норма амортизации, %;

a – срок работы, месяц.

Норма амортизации:

$$H_a = \frac{1}{T} \cdot 100 \%, \quad (4.6)$$

где T – срок эксплуатации, год.

4.2.3 Основная заработная плата

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы оплаты труда. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы. Баланс рабочего времени и расчет основной заработной платы представлены в таблицах 4.7 и 4.8, соответственно.

Таблица 4.7 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	м.н.с.
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней	118	118
Действительный годовой фонд рабочего времени	247	247

Месячный должностной оклад работника (Z_m) равен:

$$Z_m = \left(Z_b + Z_b \cdot (k_{пр} + k_d) \right) \cdot k_p, \quad (4.7)$$

который в свою очередь складывается из базового оклада (Z_b , руб.) и различных коэффициентов: $k_{пр}$ – премиальный коэффициент (взят равным 0); k_d – коэффициент доплат и надбавок (взят равным 0); k_p – районный

коэффициент, равный 1,3 (для Томска). По результатам нашего исследования премирования предусмотрено не было.

Месячный должностной оклад руководителя составляет:

$$Z_m = (37\,700 + 37\,700 \cdot (0 + 0)) \cdot 1,3 = 49\,010 \text{ руб.}$$

Месячный должностной оклад м.н.с составляет:

$$Z_m = (17\,000 + 17\,000 \cdot (0 + 0)) \cdot 1,3 = 22\,100 \text{ руб.}$$

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (4.8)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 24 рабочих дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, рабочих дней. Действительный годовой фонд рабочего времени составляет 247 рабочих дней (остальные выходные и праздничные дни).

Среднедневная заработная плата руководителя составит:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{49\,010 \cdot 11,2}{247} = 2\,222,32 \text{ руб.}$$

Среднедневная заработная плата м.н.с составит:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{22\,100 \cdot 11,2}{247} = 1\,002,11 \text{ руб.}$$

Основная заработная плата ($Z_{\text{осн}}$) на предприятии рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{раб}}, \quad (4.9)$$

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

$T_{\text{раб}}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, рабочие дни;

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

Основная заработная плата для руководителя на предприятии составит:

$$Z_{\text{осн}} = 2\,222,32 \cdot 12 = 26\,667,84 \text{ руб.}$$

Основная заработная плата для м.н.с на предприятии составит:

$$Z_{\text{осн}} = 1\,002,11 \cdot 106 = 106\,223,66 \text{ руб.}$$

Таблица 4.8 – Расчет основной заработной платы

Исполнитель	З _б , руб	К _{пр}	К _д	К _р	З _м , руб	З _{дн} , руб	Т _р , раб.дн.	З _{осн} , руб
Руководитель	37 700	0	0	1,3	49 010	2 222,32	12	26 667,84
м.н.с.	17 000	0	0	1,3	22 100	1 002,11	106	106 223,66
Итого								132 891,50

4.2.4 Дополнительная заработная плата

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают 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.).

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10–15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы. Таким образом, сумма основной заработной платы участников проекта и дополнительной будет составлять статью затрат расходов на зарплату (табл. 4.9):

$$C_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}, \quad (4.10)$$

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

$Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата, руб.

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}, \quad (4.11)$$

где $k_{\text{доп}}$ - коэффициент дополнительной зарплаты.

Таблица 4.9 – Заработная плата исполнителей НТИ

Исполнители	Руководитель	м.н.с.
Основная зарплата, руб.	26 667,84	106 223,66
$K_{\text{доп}}$	0,1	0,1

Дополнительная зарплата, руб.	2 666,78	10 622,37
Заработная плата исполнителей, руб.	29 334,62	116 846,03
Итого по статье, руб.	146 180,65	

4.2.5 Отчисления во внебюджетные фонды

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

Таким образом, выплаты в страховые фонды составят:

$$Z_{\text{внеб}} = 0,3 \cdot 29\,334,62 = 8\,800,39 \text{ руб.} \text{ – для руководителя;}$$

$$Z_{\text{внеб}} = 0,3 \cdot 116\,846,03 = 35\,053,81 \text{ руб.} \text{ – для м.н.с.}$$

Итого отчисления на социальные нужды составляют:

$$Z_{\text{внеб}} = 8\,800,39 + 35\,053,81 = 43\,854,20 \text{ руб.}$$

4.2.6 Накладные расходы

В эту статью включены затраты на управление и хозяйственное обслуживание и расходы по содержанию, эксплуатации и ремонту оборудования, производственного инструмента и инвентаря, зданий, сооружений и др., что порядка 85 % от заработной платы. Работа со сторонними организациями, научные и производственные командировки не производились. Таким образом величина накладных расходов равна:

$$Z_{\text{накл}} = 146\,180,65 \cdot 0,85 = 124\,253,55 \text{ руб.}$$

4.2.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Таблица 4.10 – Бюджет научного исследования

Статья расходов	Сумма, руб.
Сырье и материалы	47 952,45
Специальное оборудование	25 578,86
Основная заработная плата	132 891,50
Дополнительная заработная плата	13 289,15
Отчисления на социальные нужды	43 854,20
Накладные расходы	124 253,55
Итого	387 819,71

Таким образом, статья расходов на сырье материалы составила 47 952,45 руб. На использование специального оборудования, предназначенного для технологического исследования, затрачено 25 578,86 руб. Общий бюджет заработной платы всех участников проекта 146 180,65 руб. Отчисления на социальные нужды – 43 854,20 руб. Накладные расходы, включающие в себя амортизацию оборудования, текущий ремонт и др., затрачено 124 253,55 руб. Общий бюджет, включая все вышеперечисленные статьи расходов, составил **387 819,71** руб.

5. Социальная ответственность

В выпускной квалификационной работе рассматривается процесс модификации поверхности полимерной мембраны методом импульсного вакуумно-дугового испарения графита. Для выполнения данного задания использовалось следующее: помещение, находящееся в 144 аудитории 11 корпуса ТПУ, размерами 6x4x2,5 м, модернизированная установка УВНИПА-1-001, которая была разработана для нанесения упрочняющих алмазоподобных покрытий на поверхности различных материалов. В разработке принимали участие двое человек, студент и руководитель проекта. Осаждение покрытия методом импульсного вакуумно-дугового испарения производилось на полимерные мембраны, изготовленные из 6 % масс. раствора сополимера ВДФ-ТеФЭ в ацетоне с помощью метода электроспиннинга.

В качестве потенциальных потребителей результатов исследования могут выступать некоторые отрасли медицины, в частности сердечно-сосудистая хирургия. Сейчас есть потребность в таком материале, с помощью которого можно будет восстановить поврежденный участок кровеносного сосуда.

В данной разделе рассматриваются вопросы охраны труда и техники безопасности, связанные с работой в помещении, содержащем энергетические установки. А также разрабатываются мероприятия по предотвращению воздействия на здоровье работников опасных и вредных факторов, создание безопасных условий труда для работников.

5.1. Производственная безопасность

Рассмотрим, какие вредные и опасные факторы могут возникнуть при выполнении работ по модификации поверхности полимерных мембран методом импульсного вакуумно-дугового испарения графита на УВНИПА-1-001.

Рабочее место находится в помещении. Размеры которого характеризуется следующими габаритами: длина помещения – 6 м; ширина помещения – 4 м; высота – 2,5 м.

Следовательно, площадь лаборатории составляет 24 м², а объем – 60 м³. В лаборатории находится 2 установки, следовательно, работающих в помещении в основном 2 человека. Исходя из этого, на каждого работающего приходится площадь в 12 м² и объем 30 м³.

К основным вредным и опасным факторам можно отнести [26]:

- микроклимат;
- шум;
- физические и нервно-психологические перегрузки;
- освещенность;
- электробезопасность;
- пожаровзрывобезопасность.

Рассмотрим каждый из факторов отдельно.

5.1.1. Микроклимат в помещении

Рассмотрим метеорологические условия (микроклимат), определяющие следующие параметры: температура воздуха в помещении; относительная влажность воздуха регулируется нормативными документами [27,28].

Так как эти параметры напрямую зависят от габаритных размеров помещения, то сначала проведем анализ рабочего места, где проводилась разработка. Проведя анализ габаритных размеров лаборатории, рассмотрим микроклимат в этом помещении.

Таблица 5.1 – Оптимальные и допустимые нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне производственных помещений [27]

Период года		Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Оптимальные параметры	22-24	40-60	0,1
	Допустимые параметры	21-25	Не более 75	Не более 0,1
Тёплый	Оптимальные параметры	23-25	40-60	0,1
	Допустимые параметры	22-28	55 (при 28 °С) 60 (при 27 °С) 65 (при 26 °С) 70 (при 25 °С) 75 (при 24 °С)	0,1-0,2 0,1-0,3 0,2-0,4 0,2-0,5 0,2-0,6

К мероприятиям по оздоровлению воздушной среды в производственном помещении относятся: правильная организация вентиляции и кондиционирования воздуха, отопление помещений. Вентиляция может осуществляться естественным и механическим путём. Согласно [29] кратность воздухообмена аудитории, учебных кабинетов, лабораторий равна 2 с^{-1} в час, при условии минимального расхода наружного воздуха на одного человека не менее $20 \text{ м}^3/\text{ч}$. Система отопления должна обеспечивать достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха. В помещениях с повышенными требованиями к чистоте воздуха должно использоваться водяное отопление. Параметры микроклимата в используемой лаборатории регулируются системой центрального отопления, и имеют следующие значения: влажность – 40 %, скорость движения воздуха

– 0,1 м/с, температура летом - 20-25 °С, зимой - 13–15 °С. В лаборатории вентиляция осуществляется механическим путём.

Расчет вентиляции производится по формуле:

$$L = k \cdot V,$$

где L – расход воздуха, м³/ч;

k – кратность воздухообмена, ч⁻¹;

V – объем помещения, м³.

Площадь помещения составляет:

$$S = 6 \cdot 4 = 24 \text{ м}^2.$$

Высота потолков 2,5 м. Отсюда следует, объем помещения:

$$V = 24 \cdot 2,5 = 60 \text{ м}^3.$$

Таким образом, расход воздуха составляет:

$$L = 12 \cdot 60 = 720 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

В лаборатории расход воздуха обеспечивается вытяжным вентилятором с квадратным фланцем ERA Storm YWF2E 200 890 м³/ч [38], таким образом, параметры микроклимата в лаборатории соответствуют нормам [27,29].

5.1.2. Шум в помещении

Оптимальный уровень шума на рабочем месте инженеров, работающих с компьютером, не должен превышать 50 дБА, а в залах обработки информации на вычислительных машинах – 65 дБА. Максимальный допустимый уровень звука постоянного шума на рабочих местах не должно превышать 80 дБА [28]. Фактический уровень шума в лаборатории составляет 70 дБА, что соответствует нормам.

При значениях шума выше допустимого уровня необходимо предусмотреть следующие средства коллективной защиты (СКЗ) и средства индивидуальной защиты (СИЗ). СКЗ: устранение причин шума или существенное его ослабление в источнике образования; изоляция источников шума от окружающей среды средствами звуко- и виброизоляции, звуко- и

вибропоглощения; применение средств, снижающих шум и вибрацию на пути их распространения. СИЗ: применение спецодежды, спецобуви и защитных средств органов слуха: наушников, беруш.

5.1.3. Физические и нервно-психические перегрузки

Физические перегрузки организма характеризуются такими показателями, как статическая нагрузка, стереотипные рабочие движения, рабочая пока, перемещение в пространстве. К нервно-психическим относят такие, как длительность сосредоточенного наблюдения, нагрузка на слуховой анализатор, плотность сигналов и сообщений в единицу времени [26].

Благодаря правильной организации рабочего места можно значительно уменьшить напряженность в работе, неблагоприятные нагрузки на организм и, следовательно, повысить производительность труда.

5.1.4. Освещенность помещения

Для производственных помещений всех назначений применяются системы общего (равномерного или локализованного) и комбинированного (общего и местного) освещения. Выбор между равномерным и локализованным освещением проводится с учётом особенностей производственного процесса и размещения технологического оборудования. Система комбинированного освещения применяется для производственных помещений, в которых выполняются точные зрительные работы. Применение одного местного освещения на рабочих местах не допускается.

Освещение лаборатории происходит как естественным, так и искусственным светом. Естественный свет попадает в помещение через оконные проемы, которых в лаборатории 2. Площадь проемов 2,5 м². Оконные проемы в лаборатории оборудованы регулируемыми устройствами - жалюзи.

Расчёт общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента

светового потока, учитывающим световой поток, отражённый от потолка и стен.

Согласно СНиП 23-05-95 [31], необходимо создать освещенность данного помещения не ниже $E_H = 200$ лк, в соответствии с характеристикой зрительной работы (грубая, очень малой точности). Значение отклонения светового потока должно находиться в диапазоне от -10 % до 20 %.

В таблице ниже представлены параметры лабораторного помещения

Таблица 5.2 – Параметры помещения

Длина (A), м	Ширина (B), м	Высота (H), м	Высота рабочей поверхности над полом (h_{pn}), м
6	4	2,5	0,8

Площадь помещения:

$$S = A \cdot B,$$

где A – длина, м;

B – ширина, м.

$$S = 6 \cdot 4 = 24 \text{ м}^2.$$

Коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, для помещений с малым выделением пыли равен $K_3 = 1,5$. Коэффициент неравномерности для люминесцентных ламп $Z = 1,1$.

Искусственное освещение происходит с помощью светильников типа ОДР, каждый светильник имеет по 4 лампы типа ЛБ-20. Светильники расположены равномерно по всей лаборатории в три ряда по четыре светильника в каждом ряду, создавая равномерное освещение рабочих мест.

В помещении установлены люминесцентные лампы ЛБ-20, световой поток которых равен $\Phi_{лд} = 1500$ лм, мощность 25 Вт, длина светильника равна 604 мм, ширина – 120 мм. В помещении находится 3 ряда осветительных приборов по 4 светильника в каждом ряду. Тогда $N = 12$.

Потребный световой поток группы люминесцентных ламп светильника определяется по формуле:

$$\Phi_{\Pi} = \frac{E_{\text{н}} \cdot S \cdot K_3 \cdot Z}{N \cdot 0,53}$$

Тогда световой поток группы люминесцентных ламп равен:

$$\Phi_{\Pi} = \frac{200 \cdot 24 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{12 \cdot 0,53} = 1\,245,3 \text{ Лм.}$$

Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{лд}} - \Phi_{\Pi}}{\Phi_{\text{лд}}} \cdot 100\% \leq 20\%,$$

$$\frac{\Phi_{\text{лд}} - \Phi_{\Pi}}{\Phi_{\text{лд}}} \cdot 100\% = \frac{1500 - 1245,3}{1500} \cdot 100\% = 17\%.$$

Таким образом: $-10\% \leq 17\% \leq 20\%$. Значит световой поток светильника не выходит за пределы требуемого диапазона. Таким образом, параметры освещенности в лаборатории соответствуют нормам [31].

5.1.5. Электробезопасность

Основным опасным фактором является опасность поражения электрическим током. Исходя из анализа состояния помещения, данную лабораторию по степени опасности поражения электрическим током можно отнести к классу помещений без повышенной опасности.

В помещении подавляющая часть электрической проводки является скрытой. Поражение электрическим током возможно только при возникновении оголенных участков на кабеле, а также нарушении изоляции распределительных устройств, однако в лаборатории кабель имеет двойную изоляцию, поэтому опасность поражения значительно снижается. В помещении токонепроводящие полы, отсутствует токопроводящая пыль, отсутствует электрически активная среда, отсутствует возможность одновременного прикосновения к металлическим частям прибора и заземляющему устройству, отсутствует высокая температура и сырость.

Для защиты от поражения электрическим током все токоведущие части защищены от случайных прикосновений кожухами, корпус устройства заземлен. Заземление выполняется изолированным медным проводом сечением 1,5 мм², который присоединяется к общей шине заземления с общим сечением 48 мм² при помощи сварки. Общая шина присоединяется к заземлению, сопротивление которого не превышает 4 Ом [34].

Для устранения опасности поражения электрическим током регулярно проводится осмотр кабелей, проводов, электрических розеток и токоведущих частей установок и приборов. А также, перед началом работы каждый работник проходит инструктаж по технике безопасности.

Помещение, в котором выполнялся процесс модификации, по электробезопасности относится к классу 1 «помещения без повышенной опасности».

5.1.6. Пожаровзрывобезопасность

Помещения делятся на категории по взрывопожарной и пожарной опасности: повышенная взрывопожароопасность (А), взрывопожароопасность (Б), пожароопасность (В1-В4), умеренная пожароопасность (Г) и пониженная пожароопасность (Д) [35].

Помещение, в котором выполнялся процесс модификации, по пожаровзрывобезопасности относится к категории В4.

5.2. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

В таблице ниже представлены три возможные чрезвычайные ситуации.

Таблица 5.3 – Чрезвычайные ситуации, которые могут возникнуть на рабочем месте

№	Ситуация	Меры предотвращения	Действия при возникновении
1	Возгорание	Инструктаж по ТБ	1. Сообщить по телефону о пожаре пожарную охрану; 2. Оповестить остальных работников о пожаре; 3. Принять меры по эвакуации работников.
2	Поражение электрическим током		1. Сбросить с пострадавшего провод токонепроводящим предметом; 2. Вызвать «скорую помощь».
3	Падение с высоты собственного роста		1. Проверить пострадавшего; 2. Вызвать «скорую помощь»

При эксплуатации модернизированной УВНИПА-1-001 ввиду ее работы от источника электрического тока может возникнуть такая чрезвычайная ситуация как пожар, вследствие короткого замыкания или нарушения целостности рабочих камер установок. Пожарная профилактика основывается на исключении условий, необходимых для горения, и использовании принципов обеспечения безопасности. При обеспечении пожарной безопасности решаются три задачи: предотвращение пожаров и загорания, защита людей и материальных ценностей, тушение пожаров. Пожарная безопасность обеспечивается предотвращением пожаров и пожарной защитой.

Предотвращение образования источников зажигания достигается следующими мероприятиями: соответствующим исполнением, применением и режимом эксплуатации машин и механизмов, устройством молниезащиты

зданий и сооружений, ликвидацией условий для самовозгорания; регламентацией допустимой температуры.

Для устранения возможности пожара в помещении необходимо соблюдать противопожарные меры:

1. ограничение количества горючих веществ, а также максимально возможное применение негорючих;
2. применение средств пожаротушения;
3. использование пожарной сигнализации;
4. содержание электрооборудования в исправном состоянии;
5. использование плавких предохранителей и автоматических выключателей в аппаратуре. По окончании работ все установки обесточиваются;
6. для электропаяльников использовать подставки из негорючего материала;
7. в помещении предусматриваются средства пожаротушения в исправном состоянии (огнетушители типа ОУ-2, пожарный инструмент, песок);
8. содержать пути и проходы эвакуации людей в свободном состоянии;
9. назначать ответственного за пожарную безопасность помещения и проводить раз в год инструктаж по пожарной безопасности.

Пожарная безопасность лабораторного помещений НИИ ТПУ, и лаборатории, в частности, обеспечивается с помощью мер предотвращения пожара и системы пожарной защиты, таких как:

1. регулярно проводится инструктаж сотрудников и студентов;
2. разработан план безопасной эвакуации людей;
3. существует автоматическая пожарная сигнализация и телефонная связь с пожарной охраной;
4. на каждом этаже предусмотрены огнетушители типа ОУ-2 и ящики с песком.

Также при работе с данной установкой, при наличии неисправности проводки, может возникнуть поражение электрическим током. Для предотвращения такой ситуации, следует проверять перед каждым использованием целостность проводов и некоторых элементов установки.

Подробнее рассмотрим случай с травмированием в результате падения с высоты собственного роста. Для предотвращения данной ситуации требуется всегда соблюдать порядок на полу в помещении, а также не передвигаться одному с объемными предметами, загромождающими обзор.

5.3. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

К рабочему месту оператора энергетической установки предъявляются следующие требования:

1. обеспечивать возможность удобного выполнения работ;
2. учитывать физическую тяжесть работ;
3. учитывать размеры рабочей зоны и необходимость передвижения в ней работающего;
4. учитывать технологические особенности процесса выполнения работ.

В качестве эргономических показателей рассмотрим рабочее место в лаборатории.

Рабочее место в лаборатории было оборудовано следующим образом: рабочая поверхность представляет собой рабочий стол, позволяющий выполнять подготовительные работы по обработке образцов перед тем, как закреплять обрабатываемое изделие внутри рабочей камеры. Высота рабочей поверхности над уровнем пола составляет 70 см. Глубина составляет 80 см, а ширина 60 см. В качестве сиденья используется стул, рассчитанный на среднестатистического человека, который удовлетворяет минимальным требованиям среднего человека, ширина - 40 см, регулируемая высота, спинка [36].

Производственная эстетика ставит своей целью создание благоприятной внешней трудовой обстановки, способствующей безопасности труда и более высокой его производительности, а также хорошему настроению работающих. В задачи производственной эстетики входит архитектурно-художественное оформление производственных помещений и территории предприятия.

Большое место в производственной эстетике занимает вопрос цветовой отделки производственных помещений. Проектирование цветовой гаммы интерьера производственных помещений следует выполнять в соответствии с указаниями по проектированию цветовой отделки интерьеров производственных зданий промышленных предприятий [37], в которых приведены таблицы для выбора цветовой гаммы для окраски интерьеров. При работе, требующей сосредоточенности, рекомендуется выбирать неяркие, малоконтрастные цветовые оттенки.

В лаборатории, где проводилась разработка, стены имеют бежевый цвет, пол светло-коричневый, потолок белый. В целом цвета подобраны удачно и позволяют создать требуемую рабочую обстановку.

5.4. Вывод по разделу

В разделе рассмотрены следующие вредные и опасные факторы:

- микроклимат [27,28];
- шум [28];
- физические и нервно-психологические перегрузки [26];
- освещенность [30,31];
- электробезопасность [32];
- пожаровзрывобезопасность [33,35].

Аудитория 144 11 корпуса ТПУ отнесена:

- по электробезопасности к классу 1 «помещения без повышенной опасности» [33];
- по пожаровзрывобезопасности к категории В4 [35].

Также в разделе описан перечень возможных чрезвычайных ситуаций, меры их предотвращения и меры по ликвидации последствий ЧС.

Возможные чрезвычайные ситуации:

- возгорание;
- поражение электрическим током;
- травмирование в результате падения с высоты собственного роста.

Заключение

Мембраны, изготовленные методом электроспиннинга, модифицировали с помощью метода вакуумно-дугового осаждения графита. После нанесения на поверхность полимерных мембран алмазоподобного покрытия внешних дефектов замечено не было.

Далее требовалось провести ряд исследований для проверки морфологии структуры, предела прочности и относительного удлинения, кристаллической структуры, смачиваемости, а также взаимодействия полученных мембран с клетками *in vitro*.

Первым этапом была рассмотрена морфология структуры поверхности полимерной мембраны до и после модификации. В результате показано, что алмазоподобные покрытия, сформированные на поверхности полимерной мембраны, не изменяют ее макроструктуру, сохраняют высокую прочность и удлинение, являясь в то же время эффективным инструментом модификации поверхности. Свойства исходной мембраны не были нарушены.

Далее исследовали кристаллическую структуру полимерных мембран до и после модификации. По полученным данным, установили, что процесс осаждения алмазоподобного покрытия на поверхность мембран не оказал влияния на кристаллическую структуру. А также было установлено, что алмазоподобные покрытия, сформированные при исследованных параметрах, являются аморфными. Это подтверждается отсутствием рефлексов при $43,2$, $44,3^\circ$ и $50,4^\circ$, соответствующих алмазу, углероду и графиту.

При исследовании поверхности полимерных мембран было обнаружено, что с увеличением напряжения накопителя конденсатора поверхностная энергия мембраны увеличивается.

Исследование на взаимодействие клеток с поверхностью модифицированных полимерных мембран оказались нетоксичными для фибробластов 3T3L1 и не влияли на пролиферацию клеток.

Таким образом, можно сказать, что осаждение алмазоподобного покрытия на поверхность полимерных мембран с помощью импульсного вакуумного дугового осаждения возможно.

Объединяя все полученные результаты исследований, наилучшими свойствами обладает образец, модифицированный при напряжении накопителя конденсатора 200 В.

Список использованной литературы

1. «Сердечно-сосудистые заболевания» [Электронный ресурс] // «сердечно-сосудистые заболевания в мире»: [сайт]. – 2022. – Режим доступа: [https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-\(cvds\)](https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-(cvds)), свободный. – Загл. с экрана (дата обращения 05.05.2022).
2. Кривобоков В.П., Сочугов Н.С., Соловьев А.А. Плазменные покрытия (свойства и применение) – Томск: ТПУ, 2011 – 136 с.
3. Dearnaley G. Biomedical Applications of Diamond-like Carbon Coatings: A Review // G. Dearnaley, J.H. Arps // Surface and Coatings Technology. – 2005. – Vol.200, No7. – P. 2518-2524.
4. Казбанов, В. В. Особенности биосовместимости и перспективы применения титановых имплантатов с алмазоподобными покрытиями на основе модифицированного углерода / В. В. Казбанов, М. С. Баталов, А. А. Вишнеvский // Проблемы здоровья и экологии. - № 2 (44). – С. 16-23.
5. Lettington A. H. Applications of diamond-like carbon thin films // Carbon. - 1998. - №36(5-6). - P. 555-560.
6. Жданов А.В. Методы нанесения PVD – покрытий – Владимир: ВлГУ, 2014 – 161 с.
7. «Вакуумное дуговое напыление» [Электронный ресурс] // «вакуумное дуговое осаждение»: [сайт]. – 2021. – Режим доступа: <https://mybiblioteka.su/tom2/5-65315.html>, свободный. – Загл. с экрана (дата обращения: 15.05.2022).
8. «Металлы и полупроводники: технологии и процессы» [Электронный ресурс] // «вакуумное дуговое осаждение»: [сайт]. – 2021. – Режим доступа: <https://portal.tpu.ru/SHARED/p/PANIN/learning/Metals/Tab1/Lecture11.pdf>, свободный. – Загл. с экрана (дата обращения: 15.05.2022).

9. «Тонкие пленки и покрытия» [Электронный ресурс] // «магнетронное распыление»: [сайт]. – 2022. – Режим доступа: <https://portal.tpu.ru/SHARED/p/PANIN/learning/Metals/Tab1/Lecture12.pdf>, свободный. – Загл. с экрана (дата обращения: 11.03.2022).
10. Духопельников Д.В. Магнетронные распылительные системы. Часть 1. «Устройство, принципы работы, применение» – Москва: МГТУ, 2014 – 57 с.
11. Teo W.E. Ramakrishna S. A review on electrospinning design and nanofibre assemblies // *Nanotechnology*. - 2006. - №17 (14). - P. 89–106.
12. Бадараев А.Д. Методические указания по изготовлению полимерных образцов методом электроспиннинга и их исследованию механических свойств, смачиваемости – Томск: ТПУ, 2022 – 17 с.
13. «Сканирующая электронная микроскопия» [Электронный ресурс] // «сканирующий электронный микроскоп»: [сайт]. – 2022. – Режим доступа: <http://www.issp.ac.ru/center/otd/microscop.html>, свободный. – Загл. с экрана (дата обращения: 25.05.2022).
14. Bunaciu, A.A., Udriștioiu, E. gabriela, and Aboul-Enein, H.Y X-Ray Diffraction: Instrumentation and Applications // *Critical Reviews in Analytical Chemistry*. - 2015. - №45 (4). - P. 289–299.
15. Chan C.-M., Ko T.-M., Hiraoka, H. Polymer surface modification by plasmas and photons // *Surf. Sci. Rep.* - 1996. - №24. - P. 1-54.
16. Park J.H., Rutledge G.C. 50th Anniversary Perspective: Advanced Polymer Fibers: High Performance and Ultrafine // *Macromolecules*. - 2017. - №50. - P. 5627–5642.
17. Kochervniskii, V. V.; Astakhov, V.A.; Bedin, S.A.; Malyshkina, I.A.; Shmakova, N.A.; Korlyukov, A.A.; Buzin, M.I.; Volkov, V. V. Peculiarities of structure and dielectric relaxation in ferroelectric vinylidene fluoride-tetrafluoroethylene copolymer at different crystallization conditions // *Colloid Polym. Sci.* - 2020. - №298. - P. 1169–1178.

18. Cui, Z.; Hassankiadeh, N.T.; Zhuang, Y.; Drioli, E.; Lee, Y.M. Crystalline polymorphism in poly(vinylidene fluoride) membranes // *Prog. Polym. Sci.* - 2015. - №51. - P. 94-126.
19. Badaraev, A.D.; Koniaeva, A.; Krikova, S.A.; Shesterikov, E.V.; Bolbasov, E.N.; Nemoykina, A.L.; Bouznic, V.M.; Stankevich, K.S.; Zhukov, Y.M.; Mishin, I.P.; Piezoelectric polymer membranes with thin antibacterial coating for the regeneration of oral mucosa // *Appl. Surf. Sci.* - 2020. - №504.
20. Qi, M.; Xiao, J.; Cheng, Y.; Wang, Z.; Jiang, A.; Guo, Y.; Tao, Z. Effect of various nitrogen flow ratios on the optical properties of (Hf:N)-DLC films prepared by reactive magnetron sputtering // *AIP Adv.* - 2017. - №7.
21. Han, M.; Wang, H.; Yang, Y.; Liang, C.; Bai, W.; Yan, Z.; Li, H.; Xue, Y.; Wang, X.; Akar, B. Three-dimensional piezoelectric polymer microsystems for vibrational energy harvesting, robotic interfaces and biomedical implants // *Nat. Electron.* - 2019. - №2. - P. 26-35.
22. Tandon, B.; Magaz, A.; Balint, R.; Blaker, J.J.; Cartmell, S.H. Electroactive biomaterials: Vehicles for controlled delivery of therapeutic agents for drug delivery and tissue regeneration // *Adv. Drug Deliv. Rev.* - 2018. - №129. - P. 148-168.
23. Cui, Z.; Drioli, E.; Lee, Y.M. Recent progress in fluoropolymers for membranes // *Prog. Polym. Sci.* - 2014. - №39. - P. 164-198.
24. Kalin, M.; Polajnar, M. The wetting of steel, DLC coatings, ceramics and polymers with oils and water: The importance and correlations of surface energy, surface tension, contact angle and spreading // *Appl. Surf. Sci.* - 2014. - №293. - P. 97-108.
25. Rahman, S.M.; Song, J.; Yeo, C.-D. Computational study on surface energy of amorphous DLC with respect to hybridization state of carbon and potential functions // *Diam. Relat. Mater.* - 2019. - №95. - P. 127-134.
26. ГОСТ 12.0.003-2015. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.

- 27.ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
- 28.СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания.
- 29.СП 118.13330.2012 «Общественные здания и сооружения»
- 30.ГОСТ Р 55710-2013. Освещение рабочих мест внутри зданий.
- 31.СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение.
- 32.ГОСТ 12.1.019-2017. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
- 33.ГОСТ 12.1.018-93. Пожаровзрывобезопасность статического электричества. Общие требования.
- 34.ПЭУ: правила устройства электроустановок. Классификация помещений по электробезопасности.
- 35.СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.
- 36.ГОСТ 12.2.032-78. Рабочее место при выполнении работ сидя.
- 37.СН 181-70. Указания по проектированию цветовой отделки интерьеров производственных зданий промышленных предприятий.
- 38.«Вытяжной вентилятор с квадратным фланцем ERA Storm YWF2E 200» [Электронный ресурс] // «вентилятор производительность 1000»: [сайт]. – 2022. – Режим доступа: https://www.onlinetrade.ru/catalogue/vytyazhnye_ventilyatory-c3974/era/vytyazhnoy_ventilyator_s_kvadratnym_flantsem_era_storm_ywf2e_200-1108757.html, свободный. – Загл. с экрана (дата обращения: 08.06.2022).