

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

Школа: Инженерная школа ядерных технологий
 Направление подготовки: 16.04.01 «Техническая физика»
 Отделение школы (НОЦ): Научно-образовательный центр Б.П. Вейнберга

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Модифицирование поверхности биостабильных полимеров медицинского назначения в плазме магнетронного разряда

УДК 621.385.64:678.056:60:615.47

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОДМ91	Ли Влада Игоревна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ Б.П. Вейнберга, ИЯТШ	Твердохлебов С.И.	к. ф.-м. н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД ШБИП	Антоневич О.А.	к.б.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ Б.П. Вейнберга, ИЯТШ	Сиделёв Д.В.	к. т. н.		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код компетенции	Наименование компетенции
УК(У)-1	Способность осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий
УК(У)-2	Способность управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
УК(У)-3	Способность организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК(У)-4	Способность применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном (-ых) языке (-ах), для академического и профессионального взаимодействия
УК(У)-5	Способность анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК(У)-6	Способность определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы её совершенствования на основе самооценки
ОПК(У)-1	Способность к профессиональной эксплуатации современного научного и технологического оборудования и приборов, предназначенных для использования в области технической физики
ОПК(У)-2	Способность демонстрировать и использовать углублённые теоретические и практические знания фундаментальных и прикладных наук, в том числе из области технической физики
ОПК(У)-3	Готовность руководить коллективом в сфере своей профессиональной деятельности, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия
ОПК(У)-4	Готовность к коммуникации в устной и письменной формах на русском и иностранном языках для решения задач профессиональной деятельности в области технической физики
ОПК(У)-5	Способность осуществлять научный поиск и разработку новых перспективных подходов и методов к решению профессиональных задач, готовность к профессиональному росту, к активному участию в научной деятельности, конференциях, выставках и презентациях
ПК(У)-1	Способность критически анализировать современные проблемы технической физики, ставить задачи и разрабатывать программу исследования, выбирать адекватные способы и методы решения экспериментальных и теоретических задач, интерпретировать, представлять и применять полученные результаты
ПК(У)-2	Способность самостоятельно выполнять физико-технические научные исследования для оптимизации параметров объектов и процессов с использованием стандартных и специально разработанных инструментальных и программных средств

Код компетенции	Наименование компетенции
ПК(У)-3	Готовность осваивать и применять современные физико-математические методы для решения профессиональных задач в области технической физики, составлять практические рекомендации по использованию полученных результатов
ПК(У)-4	Способность представлять результаты исследования в формах отчётов, рефератов, публикаций и презентаций
ПК(У)-5	Готовность принимать непосредственное участие в учебной и учебно-методической работе по направлению «Техническая физика», участвовать в разработке программ учебных дисциплин и курсов
ПК(У)-6	Способность проводить учебные занятия, лабораторные работы, обеспечивать практическую и научно-исследовательскую работу обучающихся
ПК(У)-7	Способность применять и разрабатывать новые образовательные технологии
ПК(У)-8	Способность разрабатывать и оптимизировать современные наукоёмкие технологии в областях технической физики, связанных с применением пучковых и плазменных технологий, с учетом экономических и экологических требований
ПК(У)-9	Способность разрабатывать, проводить наладку и испытания, эксплуатировать наукоёмкое технологическое и аналитическое оборудование
ПК(У)-10	Готовность решать прикладные инженерно-технические и технико-экономические задачи с помощью пакетов прикладных программ

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

Школа: Инженерная школа ядерных технологий

Направление подготовки: 16.04.01 «Техническая физика»

Отделение школы (НОЦ): Научно-образовательный центр Б.П. Вейнберга

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

(Подпись) _____ (Дата) Сиделёв Д.В.
(Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
ОДМ91	Ли Влада Игоревна

Тема работы:

Модифицирование поверхности биостабильных полимеров медицинского назначения в
плазме магнетронного разряда

Утверждена приказом директора (дата, номер)

№36-83/с от 05.02.2021

Срок сдачи студентом выполненной работы:

18.06.2021

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 особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).

Объектом исследования: кальций-фосфатные (КФ) покрытия на поверхности образцов из полиэфирэфиркетона (ПЭЭК). Целью работы является формирование кальций-фосфатных покрытий путем высокочастотного магнетронного распыления мишени из гидроксипатита и изучение их физических свойств для повышения биоактивности полимера.

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<ol style="list-style-type: none"> 1. Литературный обзор, включающий особенности использования полимерных материалов в ортопедии; 2. Определение верхнего порога мощности ВЧМР, при котором не происходит деформации и изменение цвета образцов ПЭЭК; 3. Поиск оптимальной мощности ВЧМР, при которой удастся сформировать сплошные КФ покрытия на поверхности ПЭЭК; 4. Получение КФ покрытий при оптимальной мощности; 5. Исследование физических свойств полученных КФ покрытий. 6. Выводы по работе. Заключение.
---	---

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Трубченко Т.Г
Социальная ответственность	Антоневич О.А.

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	17.03.2021
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ Б.П. Вейнберга, ИЯТШ	Твердохлебов С.И.	к.ф.-м.н.		17.03.2021

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОДМ91	Ли В.И.		17.03.2021

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

Студенту:

Группа	ФИО
ОДМ91	Ли Влада Игоревна

Школа	Инженерная школа ядерных технологий	Отделение школы (НОЦ)	НОЦ им. Вейнберга
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	16.04.01 «Техническая физика»

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

1. Стоимость ресурсов технического проекта (ТП): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ В реализации проекта задействованы два человека: руководитель, инженер
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Районный коэффициент 30% Минимальный размер оплаты труда (на 01.01.2020) 12130 руб.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды 30 %

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности ТП с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Анализ конкурентных технических решений; SWOT-анализ
2. Планирование и формирование бюджета технического проекта	Планирование работ; Разработка графика Ганта. Формирование бюджета затрат на проектирование
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности проекта	Описание потенциального эффекта

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. Календарный план-график проектирования проекта
4. Бюджет затрат ТП

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОДМ91	Ли Влада Игоревна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
ОДМ91	Ли Влада Игоревна

Школа	ИЯТШ	Отделение (НОЦ)	Б.П. Вейнберга
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	16.04.01 «Техническая физика»

Тема ВКР:

Модифицирование поверхности биостабильных полимеров медицинского назначения в плазме магнетронного разряда.

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p>Объектом исследования: кальций-фосфатные покрытия на поверхности изделий из ПЭЭК. Область применения: остеоиндуктивные имплантаты. Исследовательская работа была проведена в Томском политехническом университете, НОЦ Б.П. Вейнберга, в Лаборатории плазменных гибридных систем. Каждое из помещений лаборатории имеет площадь более 35 м².</p>
---	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<ul style="list-style-type: none"> – ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования. – ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования; – ГОСТ 22614-77. Система «человек-машина». Выключатели и переключатели клавишные и кнопочные. Общие эргономические требования; – ПНД Ф 12.13.1-03. Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения) – ГОСТ Р 50923-96. Дисплей. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения; – СП 2.4.3648-20 «Санитарно-эпидемиологические требования к организации воспитания и обучения, отдыха и восстановления детей и молодежи»; – ГОСТ Р ИСО 9355-2-2009. Эргономические требования к проектированию дисплеев и
--	--

	механизмов управления. Часть 2. Дисплей.
<p>2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p>	<p>Вредные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> – отсутствие или недостаток необходимого естественного освещения – отсутствие или недостатки необходимого искусственного освещения – повышенный уровень и другие неблагоприятные характеристики шума – наличие электромагнитных полей радиочастотного диапазона <p>Опасные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> – наличие веществ, обладающих избирательной токсичностью на органы-мишени и (или) системы при многократном или продолжительном воздействии; – производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий, включая действие молнии и высоковольтного разряда в виде дуги, а также электрического разряда живых организмов.
<p>3. Экологическая безопасность:</p>	<p>Объект исследования не оказывает негативного воздействия на гидросферу и литосферу. Используемый в работе растворитель, ацетон, загрязняет атмосферный воздух и гидросферу. Ацетон имеет класс опасности – 4</p>
<p>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p>	<p>Наиболее вероятным ЧС на рабочем месте является возникновение пожара или взрыва</p>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД ШБИП	Антоневич О.А.	к.б.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОДМ91	Ли Влада Игоревна		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 91 с, 11 рис., 17 табл., 55 источников, 2 прил.

Ключевые слова: полиэфирэфиркетон, гидроксиапатит, кальций-фосфатные покрытия, ортопедические имплантаты, высокочастотное магнетронное распыление.

Объектом исследования является: кальций-фосфатные покрытия на поверхности образцов из полиэфирэфиркетона.

Цель работы – формирование кальций-фосфатных покрытий путем высокочастотного магнетронного распыления мишени из гидроксиапатита и изучение их физических свойств для повышения биоактивности полимера.

В процессе исследования проводились эксперименты по осаждению кальций-фосфатных покрытий с помощью высокочастотного магнетронного распыления на образцы из полиэфирэфиркетона при различной удельной мощности.

В результате проведенного исследования были получены кальций-фосфатные покрытия, исследованы их физические свойства и определены пути оптимизации.

Область применения: результаты проведенных исследований могут быть использованы для создания кальций-фосфатных покрытий на поверхности полимеров в медицине.

Определения

Биоактивность – способность материала образовывать связи с биологическими системами с целью повышения эффективности лечения, образования или замещения любой ткани, органа или выполнения тех или иных функций организма.

Биоинертность – способность материала, который слабо взаимодействует с биологическими структурами и жидкостями.

Биосовместимость – способность материала встраиваться в организм пациента, не вызывать побочных клинических проявлений и индуцировать клеточный или тканевой ответ, необходимый для достижения оптимального терапевтического эффекта.

Имплантаты – медицинские устройства из одного или нескольких биоматериалов, предназначенные для полного или частичного размещения в организме в целях заместительной терапии.

Полимеры – вещества, которые состоят из «мономерных звеньев», соединенных между собой либо координационными, либо химическими связями, образуя длинные макромолекулы.

Содержание

Введение.....	13
1 Литературный обзор	15
1.1 Структура кости	15
1.2 Ортопедические имплантаты.....	17
1.3 Полиэфирэфиркетон	20
1.4 Фосфаты кальция	21
1.5 Магнетронное распыление.....	22
2. Материалы и методы	26
3. Экспериментальная часть.....	28
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение..	35
4.1 Организация и планирование работ	35
4.2 Продолжительность этапов работ	36
4.3 Расчет накопления готовности проекта.....	39
4.4 SWOT-анализ.....	40
4.5 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	42
4.6 Расчет сметы на выполнение проекта.....	44
4.7 Затраты на выполнение НТИ.....	44
4.7.1 Расчет затрат на материалы	45
4.7.2 Расчет заработной платы.....	45
4.7.3 Расчет дополнительной заработной платы	46
4.7.4 Расчет затрат на социальный налог	47
4.7.5 Контрагентные расходы	47
4.7.6 Накладные расходы	48
4.7.7 Расчет амортизационных расходов.....	48
4.7.8 Расчет общей себестоимости разработки.....	50
4.8 Реестр рисков проекта	50
4.9 Оценка сравнительной эффективности исследования.....	52
5. Социальная ответственность	56

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	57
5.2 Производственная безопасность	58
5.2.1 Анализ вредных и опасных факторов.....	59
5.3 Экологическая безопасность.....	68
5.3.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду	68
5.3.2 Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду	68
5.3.3 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды	69
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	70
5.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований.....	70
5.4.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований.....	70
5.4.3 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС	71
Заключение	73
Список публикаций.....	74
Список литературы	75
Приложение I.....	80
Приложение II.....	90

Введение

В ортопедии для регенерации костных тканей используются металлические имплантаты с биоактивными покрытиями. Однако из-за высокого, по сравнению с костью, модуля упругости металлов в месте имплантации возможно возникновение локального некроза костной ткани и остеопороза и не успех имплантации [1]. Для решения этих проблем ведется поиск новых материалов и методов создания имплантатов, способствующих сокращению сроков и повышению эффективности восстановления поврежденных костных тканей. Одним из таких материалов является полиэфирэфиркетон (ПЭЭК) [2]. Благодаря своим механическим и химическим свойствам, биосовместимости, рентгенопрозрачности, ПЭЭК перспективен в качестве материала для ортопедических имплантатов [3].

Одно из главных достоинств ПЭЭК является относительно низкий модуль упругости по отношению к металлам, а также возможность изготовления из него изделий с помощью относительно простой и дешевой технологии 3D-печати – метод послойного наплавления (англ. fused deposition modeling, FDM) [4].

Однако ПЭЭК из-за низкой способности интегрироваться с живыми тканями считается биоинертным [5]. Для повышения биоактивности и остеоиндуктивных свойств на поверхность ПЭЭК можно по аналогии с металлами наносить кальций-фосфатные покрытия [6].

Для осаждения биопокрытий используются различные технологии. Электрохимические и высокотемпературные плазменные технологии, применяемые для формирования биоактивных покрытий, не подходят для полимерных материалов. Для модифицирования поверхности полимерных имплантатов могут использоваться вакуумные ионно-плазменные методы, в частности, для формирования кальций-фосфатных (КФ) покрытий – высокочастотное (ВЧ) магнетронное распыление КФ мишеней [6].

Цель работы: формирование кальций-фосфатных (КФ) покрытий путем высокочастотного магнетронного распыления (ВЧМР) мишени из гидроксиапатита (ГАП) и изучение их физических свойств.

Задачи:

1. Определение верхнего порога мощности ВЧМР, при котором не происходит деформации и изменение цвета образцов ПЭЭК.
2. Поиск оптимальной мощности ВЧМР, при которой удастся сформировать сплошные КФ покрытия на поверхности ПЭЭК.
3. Сформировать КФ покрытия при оптимальной мощности ВЧМР.
4. Исследование физических свойств полученных КФ покрытий.

Положение, выносимое на защиту: осаждение кальций-фосфатных покрытий на полиэфирэфиркетон методом ВЧМР при давлении 0,5 Па, удельной мощности $2,1 \text{ Вт/см}^2$ и мощности 400 Вт приводит к увеличению смачиваемости поверхности на 100%; при этом добавление промежуточного титанового подслоя улучшает адгезию, которая несколько снижает смачиваемость.

1 Литературный обзор

1.1 Структура кости

Кости скелета обеспечивают механическую поддержку суставов, сухожилий и связок, защищают жизненно важные органы от повреждений и служат резервуаром для кальция и фосфора для сохранения нормального минерального гомеостаза [7].

Кость – это динамическая ткань, которая обновляется и восстанавливается на протяжении всей жизни в процессе ремоделирования кости [8]. Большинство заболеваний костей возникают в результате аномалий в процессе ремоделирования, которые нарушают архитектуру, структуру или механическую прочность кости, что приводит к клиническим симптомам, таким как боль, деформация и переломы, а также нарушениям гомеостаза кальция и фосфора.

Костная ткань – это минерализованное коллагеновое волокно, состоящее из сложной иерархической многоуровневой структуры: субнаноструктура, наноструктура, микроструктура, макроструктура [9]. Структура кости напрямую связана с механическими свойствами губчатого вещества и кортикального слоя кости. Также костная ткань состоит из трех видов клеток: остеобласты, остеокласты и остециты. Сложное взаимодействие между этими типами клеток отвечает за метаболические функции костей и их способность восстанавливаться и адаптироваться к напряжению [10].

Основываясь на макроскопической форме, кости можно классифицировать как длинные кости, плоские кости, короткие кости, сезамовидные кости или неправильные кости. Каждая категория костей принимает форму, которая особенно подходит для ее местной функции. В дополнение к общему размеру и форме, пространственная организация костной ткани внутри каждой кости также является уникальной

особенностью, которая способствует функции кости. Существуют два вида кости: кортикальная и трабекулярная (губчатая).



Рисунок 1.1 – Иерархическая структурная организация кости [9].

На микроскопическом уровне структура и состав кортикальной кости и губчатой кости имеют некоторые общие черты, но в основном отличаются друг от друга [11]. Кортикальная кость состоит из остеонов, в отличие от губчатой кости, которая состоит из высокоорганизованных ламель (трабекул).

На наноуровне кортикальные костные и трабекулярные костные пластинки аналогичным образом состоят из органической матрицы коллагеновых волокон и неорганических кристаллов гидроксиапатита. Коллагеновые волокна, составляющие органический матрикс костей, относятся к классу I [11,12]. Это наиболее распространенный тип коллагеновых волокон в организме, который формирует структурную основу большинства скелетно-мышечных тканей, таких как сухожилия, связки и хрящи.

Во время формирования кости кристаллы, состоящие из карбонат-апатит минерала, образуют тонкие пластинки и заполняют промежутки между фибриллами коллагена – процесс, известный как минерализация кости [7].

Механические свойства человеческой кости находятся в диапазоне 131÷224 МПа для прочности на сжатие, 35÷283 МПа для прочности на изгиб и имеют модуль Юнга 17 – 20 ГПа [13].

1.2 Ортопедические имплантаты

Ортопедические имплантаты - это общий термин для большого класса имплантатов, которые заменяют, восстанавливают, дополняют и заполняют кости человека. Они используются для поддержки, сохранения и восстановления человеческих костей и часто используются в качестве ортопедического медицинского материала в клинической практике [14].

Ортопедические имплантаты должны обладать требуемой биосовместимостью, биоактивностью, биостабильностью, коррозионной стойкостью и механическими свойствами [15].

Правильный выбор биоматериала имплантата является ключевым фактором долгосрочного успеха имплантатов. Биологическая среда не принимает полностью какой-либо материал, поэтому для оптимизации биологических характеристик имплантаты следует выбирать так, чтобы уменьшить отрицательный биологический ответ при сохранении адекватной функциональности. Используемые материалы могут быть натуральными или синтетическими, биоразлагаемыми или небiorазлагаемыми. Материал, необходимый для каждого применения, различается и зависит от желаемых механических свойств материала.

Основным требованием к материалам имплантатов «in vivo» является биосовместимость – способность материала встраиваться в организм, не вызывая побочных клинических реакций организма человека [16]. Также биоматериал должен иметь определенную физическую и химическую стабильность, которая соответствует ожидаемому эффекту, чтобы материал мог быть стабильным и долговечным в течение ожидаемого цикла использования [17]. Биоактивные материалы могут вызывать особую

физиологическую реакцию на протезе, которая может обеспечивать эффективную взаимную связь и формирование общего комплекса между материалом и тканью. Биологическая стабильность относится к способности поддерживать долгосрочную стабильность биосовместимости, биологической активности и физико-химических свойств в физиологической среде после того, как материал попадает в организм хозяина [18].

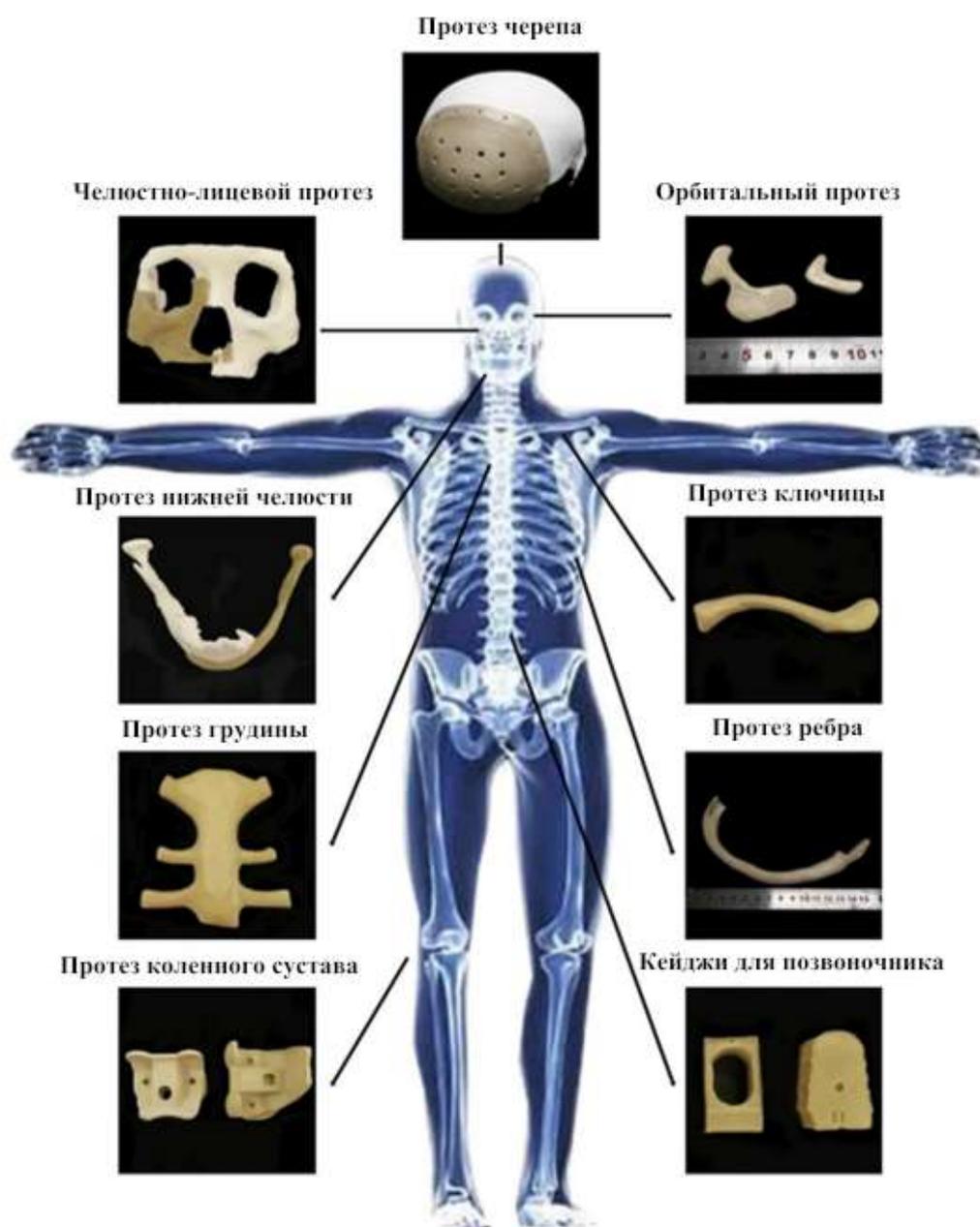


Рисунок 1.2 – Применение ПЭЭК имплантатов в ортопедии [14].

Модуль упругости является общим свойством материалов. Он подбирается в зависимости от требуемой нагрузки и исходя из требования минимизации относительного движения на границе имплантата с костью. Диапазон модуля упругости кортикальной кости составляет около $7 \div 30$ ГПа [19], а коэффициент Пуассона составляет около $0,2 \div 0,5$. Модуль упругости губчатого вещества кости колеблется от 0,01 до 10 ГПа, а коэффициент Пуассона составляет примерно $0,01 \div 0,35$. Поиск материалов для имплантатов, близких к модулю упругости человеческой кости, является одним из ключевых направлений.

Статическая и усталостная прочность – два важных показателя механической прочности материала. Ортопедические имплантаты заменяют некоторые или все функции костей человека после того, как они имплантированы в тело. Они должны соответствовать механическим и кинематическим требованиям человеческого тела, чтобы избежать механических повреждений, таких как переломы. При движении человеческого тела ортопедические имплантаты будут подвергаться циклической нагрузке. Хотя эта циклическая нагрузка может быть намного меньше статической прочности материала, усталостное разрушение может также произойти, если усталостная прочность материала будет превышена [14]. Следовательно, материал имплантата должен обладать достаточной статической и усталостной прочностью. Механическая стабильность - это способность имплантированного материала сохранять первоначальные механические свойства без ухудшения в течение определенного периода времени. Металлические материалы обладают высокой стабильностью механических свойств, но следует обращать внимание на износостойкость и коррозионную стойкость материала, чтобы избежать ухудшения механических свойств. При разработке искусственных суставных имплантов требуется принимать во внимание необходимость в обеспечении для протеза хороших показателей трения и износа [20].

Альтернативой металлических имплантатов является использование полимеров. Для увеличения их биоактивности были разработаны новые методы обработки поверхности и нанесения покрытий для модификации поверхности биоматериалов.

1.3 Полиэфирэфиркетон

Полиэфирэфиркетон (ПЭЭК) – органический высокоэффективный термопластичный полимер из семейства полиарилэфиркетонов (ПАЭК), которые используются в качестве биоматериалов для ортопедических, травматологических и спинномозговых имплантатов [21,22].

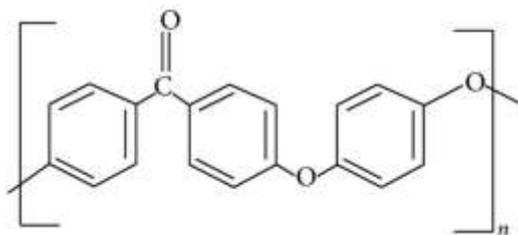


Рисунок 1.3 – Структурная формула ПЭЭК [3].

Отличительной особенностью полимера – по сравнению с металлом или керамикой – является его молекулярный размер. В ПЭЭК, молекула представляет собой линейную цепочку из сотен мономерных единиц со средней молекулярной массой $80000 \div 120000$ г/моль [3]. Длина и состав молекулярной цепи определяют множество уникальных свойств полимеров, в первую очередь зависимость их свойств от температуры и скорости деформации. Скорость деформации и температурная чувствительность полимеров сильно зависят от его химического состава и структуры. Другими словами, одни полимеры более чувствительны к скорости и температуре, чем другие.

Химическая структура ПЭЭК, как и его родственников из ПАЭК, обеспечивает стабильность при температурах выше 300°C , устойчивость к

химическим и радиационным повреждениям, совместимость со многими армирующими материалами и большую прочность на единицу массы, чем многие металлы, что делает его очень привлекательным для промышленного применения [23].

Ненаполненный «чистый» ПЭЭК представляет собой порошок из желто-коричневых гранул, который можно превратить в имплантаты с помощью стандартных методов обработки полимеров: экструзией или методом компрессионного формования. Модуль упругости для «чистых» ПЭЭК биоматериалов составляет 3 - 4 ГПа, также модуль может быть адаптирован для точного соответствия кортикальной кости (18 ГПа) или титановых стержней (110 ГПа) путем смешивания с армирующим волокном с различной длиной и ориентацией [24].

Важной отличительной особенностью полимеров является температурная зависимость от свойств, существуют три основных перехода: температура стеклования (143°C), плавления (343°C), текучести (390°C), кроме того, в зависимости от технологии изготовления, ПЭЭК может демонстрировать четвертый переход – перекристаллизации, в зависимости от технологии изготовления [25].

1.4 Фосфаты кальция

Фосфат кальция является основным минералом, содержащимся в костях и зубах человека, и считается биосовместимым неорганическим биоматериалом [26]. Керамика на основе фосфата кальция (трикальций фосфат, гидроксиапатит) представляются собой биокерамику, которая показывает наибольшее сходство с минеральной составляющей костной ткани, поэтому кальцийфосфатная (КФ) керамика имеет превосходную биосовместимость, биоразлагаемость и остеокондуктивность [10].

Остеоиндуктивность кальций-фосфатных материалов основана на их способности образовывать молекулярное взаимодействие с окружающими

тканями, что приводит к образованию слоя апатита на его поверхности [27]. КФ биоматериалы деградируют в водных средах относительно медленно по сравнению с сульфатами кальция. Таким образом, различные композиции фосфата кальция демонстрируют различные скорости деградации, например трикальцийфосфат $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ имеет соотношение $\text{Ca/P} = 1,5$, в то время как ГАП $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ соотношение $\text{Ca/P} = 1,67$, следовательно, ГАП является более стабильным в физиологических условиях и его скорость растворения в водных средах гораздо ниже, чем у трикальцийфосфата [28]. Это препятствует использованию ГАП в качестве имплантируемого материала и вызывает необходимость дополнительных действий, повышающих растворимость.

Однако кальций-фосфатные биоматериалы хрупки и поэтому лучше всего работают «in vivo» в ограниченном спектре конфигураций или в сочетании с более прочными материалами, такими как наноразмерное покрытие на стержнях титана, винтах, пластинах и т.п. [29].

1.5 Магнетронное распыление

Магнетронная распылительная система (МРС, магнетрон) – система, которая состоит из катода-мишени, анода и магнитной системы [30]. Схема магнетронной распылительной системы с плоским круглым катодом и траектории движения заряженных частиц во время процесса изображены на рисунке 1.5 [31]. МРС являются высокоэффективными устройствами для нанесения покрытий металлов, сплавов, оксидов, нитридов на постоянном или импульсном токе для увеличения свойств образца [32,33].

Магниты (электромагниты) с магнитопроводом образуют магнитную систему, которая создает магнитное поле в форме арки над поверхностью катода [34]. Стенки вакуумной камеры в свою очередь выступают очень часто в роли анода, но в некоторых случаях используют отдельный анод, изолированный от камеры. В тлеющем разряде между катодом и анодом

ионы аргона ускоряются и бомбардируют мишень-катод, в результате мишень расплывается, и атомы металла конденсируются на поверхности подложки (образца). Эмитируемые атомами электроны покидают поверхность мишени под действием бомбардировки и захватываются магнитным полем, где совершают повторяющиеся циклы движения в скрещенных электрическом и магнитном полях. Здесь электроны успевают многократно ионизировать атомы рабочего газа, прежде чем достигнуть анода [35,36].

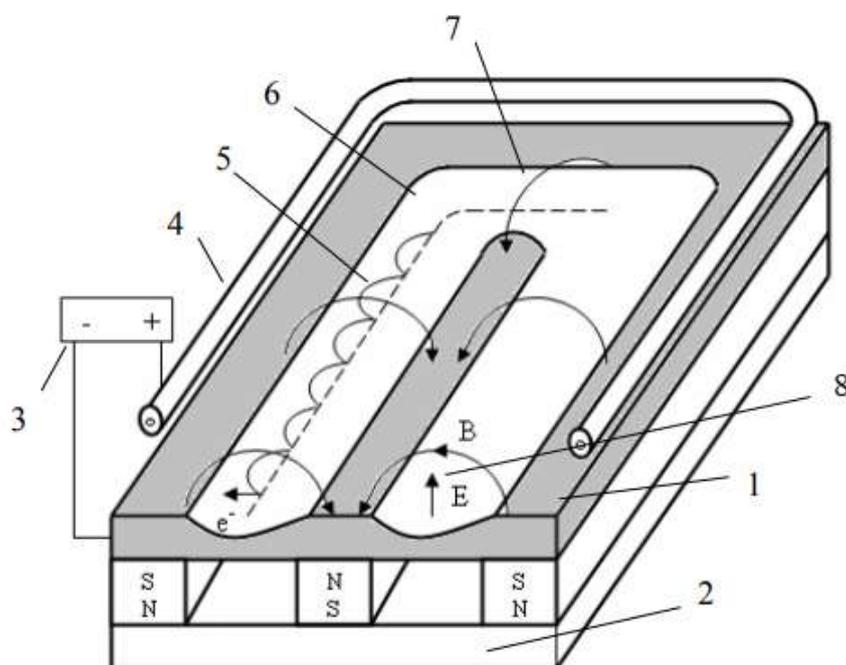


Рисунок 1.5 – Магнетронная распылительная система с катодом плоской формы: 1- катод (мишень), 2 – система магнитов, 3 – система питания установки, 4 – анод, 5 – траектории, по которым происходит движение электронов, 6 – зона, в которой происходит распыление, 7 – обозначение силовой линии магнитного поля, 8 – обозначение силовой линии электрического поля [31].

Достоинствами магнетронной распылительной системы являются: высокие скорости распыления, создание сложных по составу плёнок (сплавы),

нанесения покрытий в среде реактивных газов, хорошая воспроизводимость по толщине и составу, универсальность [31].

Существуют у данного метода и ряд существенных недостатков, такие как низкий коэффициент использования материала катода - мишени, малая скорость распыления магнитных материалов, невозможность регулирования характеристик разряда в широком диапазоне.

Традиционное распыление на постоянном токе является экономически эффективным способом нанесения покрытий на металлические мишени, которые являются электрическими проводниками [37]. Однако распыление на постоянном токе ограничено, когда речь идет о диэлектрических материалах – мишенях-покрытиях, которые являются непроводящими изоляционными материалами и могут принимать поляризованный заряд, поэтому для диэлектрических материалов используют метод высокочастотного магнетронного распыления (ВЧМР) [38].

Технология ВЧМР основана на подаче питания от высокочастотного источника, а сам процесс разделен на две стадии в отличие от традиционного распыления: положительный и отрицательный. При подаче отрицательного потенциала происходит ионизация инертного газа, распыление материала мишени высокоэнергетичными ионами, адсорбция на подложке в виде тонкопленочного покрытия. Со временем появляются положительно заряженные ионы, которые собираются на поверхности мишени, тем самым придавая ей положительный заряд. В определённый момент он может накопиться до такой степени, что произойдет снижение скорости процесса распыления или даже его прекращение. При подаче положительного потенциала, поверхность материала мишени может быть «очищена» от накопленного заряда потоком электронов [39].

Распыление мишени происходит при подаче напряжения с частотой 13,56 МГц, которая разрешена на международном уровне для применения в технологических установках [40]. Высокочастотная плазма, как правило, рассеивается по всей камере, а не концентрируется вокруг катода или

материала мишени, как при распылении на постоянном токе [40]. ВЧМР может поддерживать плазму по всему объему вакуумной камеры при низких давлениях 0,1-1 Па. Результатом является меньшее количество столкновений ионизированного газа, что эквивалентно более эффективному осаждению покрытия на образце. Поскольку при ВЧМР материал мишени “очищается” с каждым циклом от накопленного заряда, следовательно, вероятность образования дуги уменьшается. Недостатками ВЧМР являются невысокая производительность процесса, сложность, высокая стоимость оборудования [37].

4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В современном мире практически все научные открытия рассматриваются с точки зрения экономической ценности, нежели научного веса. Важно уметь оценивать коммерческую сторону проекта, т.к. это одно из условий поиска источников финансирования и дальнейшего экономического применения результатов. Это важно для разработчиков, которые должны представлять состояние и перспективы проводимых научных исследований.

Коммерческая ценность проекта определяется: преимуществом над предыдущими разработками, востребованность на рынке, цена проекта, сроки выполнения и бюджет.

Исходя из вышеперечисленного, целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является разработка и создание конкурентных технологий, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения. Достигнуть этой цели можно выполнением следующих задач:

- оценка перспективности проекта и его экономическое применение;
- составление плана научной работы;
- расчет бюджета научно-технического исследования.

4.1 Организация и планирование работ

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в чей состав входят: магистр, в качестве инженера (И), и научный руководитель выпускной квалификационной работы (НР). Примерный порядок составления этапов и работ, распределения исполнителей по данным этапам работ представлен в таблице 4.1.1.

Таблица 4.1.1 – Перечень работ и продолжительность их выполнения

Основные этапы	Содержание работ	Должность исполнителя	Загрузка исполнителей
Разработка технического задания	Составление и утверждение технического задания	НР, И	НР – 100% И – 10%
Выбор направления исследований, проведение эксперимента	Подбор и изучение материалов по теме	НР, И	НР – 10% И – 100%
	Календарное планирование работ по теме	НР, И	НР – 100% И – 50%
	Составление схемы эксперимента	НР, И	НР – 80% И – 50%
	Экспериментальное исследование	НР, И	НР – 60% И – 50%
Обобщение и оценка результатов	Анализ и обработка полученных результатов	НР, И	НР – 50% И – 100%
	Оформление пояснительной записки к ВКР	НР, И	И – 100%
	Подготовка к защите ВКР	НР, И	НР – 30% И – 100%

4.2 Продолжительность этапов работ

Расчет продолжительности этапов работ может осуществляться двумя методами:

- технико-экономическим;
- опытно-статистическим.

Первый применяется в случаях наличия достаточно развитой нормативной базы трудоемкости планируемых процессов, что в свою

очередь обусловлено их высокой повторяемостью в устойчивой обстановке. Так как исполнитель работы зачастую не располагает соответствующими нормативами, то используется опытно-статистический метод, который реализуется двумя способами:

- аналоговый;
- экспертный.

Аналоговый способ привлекает внешней простотой и околонулевыми затратами, но возможен только при наличии в поле зрения исполнителя НИР не устаревшего аналога, т.е. проекта в целом или хотя бы его фрагмента, который по всем значимым параметрам идентичен выполняемой НИР. В большинстве случаев он может применяться только локально – для отдельных элементов (этапов работы).

Экспертный способ используется при отсутствии вышеуказанных информационных ресурсов и предполагает генерацию необходимых количественных оценок специалистами конкретной предметной области, опирающимися на их профессиональный опыт и эрудицию. Для определения вероятных (ожидаемых) значений продолжительности работ $t_{ож}$ применяется по усмотрению исполнителя одна из двух формул.

$$t_{ож} = \frac{3t_{min} + 2t_{max}}{5}; \quad (4.2.1)$$

$$t_{ож} = \frac{t_{min} + 4t_{prob} + t_{max}}{6}. \quad (4.2.2)$$

где t_{min} – минимальная продолжительность работы, дн.;

t_{max} – максимальная продолжительность работы, дн.;

t_{prob} – наиболее вероятная продолжительность работы, дн.

Вторая формула дает более надежные оценки, но предполагает большую «нагрузку» на экспертов.

Для выполнения перечисленных в таблице 1 работ требуются специалисты:

- инженер;
- научный руководитель.

Для построения линейного графика необходимо рассчитать длительность этапов в рабочих днях, а затем перевести ее в календарные дни. Расчет продолжительности выполнения каждого этапа в рабочих днях ($T_{РД}$) ведется по формуле:

$$T_{РД} = \frac{t_{ож}}{K_{ВН}} * K_{Д}, \quad (4.2.3)$$

где $t_{ож}$ – продолжительность работы, дн.;

$K_{ВН}$ – коэффициент выполнения работ, учитывающий влияние внешних факторов на соблюдение предварительно определенных длительностей, в частности, возможно $K_{ВН} = 1$;

$K_{Д}$ – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсацию непредвиденных задержек и согласование работ ($K_{Д} = 1-1,2$; в этих границах конкретное значение принимает сам исполнитель).

Расчет продолжительности этапа в календарных днях ведется по формуле:

$$T_{КД} = T_{РД} * T_{К} \quad (4.2.4)$$

где $T_{КД}$ – продолжительность выполнения этапа в календарных днях;

$T_{К}$ – коэффициент календарности, позволяющий перейти от длительности работ в рабочих днях к их аналогам в календарных днях, и рассчитываемый по формуле

$$T_{К} = \frac{T_{КАЛ}}{T_{КАЛ} - T_{ВД} - T_{ПД}} \quad (4.2.5)$$

где $T_{КАЛ}$ – календарные дни ($T_{КАЛ} = 365$);

$T_{ВД}$ – выходные дни ($T_{ВД} = 52$);

$T_{ПД}$ – праздничные дни ($T_{ПД} = 10$).

$$T_K = \frac{365}{365 - 52 - 10} = 1,205$$

В приложение II а приведен пример определения продолжительности этапов работ и их трудоемкости по исполнителям, занятым на каждом этапе. В столбцах (3–5) реализован экспертный способ по формуле (1), при использовании формулы (2) необходимо вставить в таблицу дополнительный столбец для t_{prob} . Столбцы 6 и 7 содержат величины трудоемкости этапа для каждого из двух участников проекта (научный руководитель и инженер) с учетом коэффициента $K_D = 1,2$. Каждое из них в отдельности не может превышать соответствующее значение $t_{ож} * K_D$. Столбцы 8 и 9 содержат те же трудоемкости, выраженные в календарных днях путем дополнительного умножения на T_K (здесь оно равно 1,212). Итог по столбцу 5 дает общую ожидаемую продолжительность работы над проектом в рабочих днях, итоги по столбцам 8 и 9 – общие трудоемкости для каждого из участников проекта. Две последних величины далее будут использованы для определения затрат на оплату труда участников и прочие затраты. Величины трудоемкости этапов по исполнителям $T_{кд}$ (данные столбцов 8 и 9 кроме итогов) позволяют построить линейный график осуществления проекта – см. пример в приложение II в.

4.3 Расчет накопления готовности проекта

Цель данного пункта – оценка текущих состояний (результатов) работы над проектом. Величина накопления готовности работы показывает, на сколько процентов по окончании текущего (i -го) этапа выполнен общий объем работ по проекту в целом.

Введем обозначения:

- $TR_{общ}$ – общая трудоемкость проекта;
- $TR_i (TR_k)$ – трудоемкость i -го (k -го) этапа проекта, $i = \overline{1, I}$;

- TP_i^H – накопленная трудоемкость i -го этапа проекта по его завершении;
- TP_{ij} (TP_{kj}) – трудоемкость работ, выполняемых j -м участником на i -м этапе, здесь $j = \overline{1, m}$ – индекс исполнителя, в нашем примере $m = 2$.

Степень готовности определяется формулой (4.3.1)

$$CG_i = \frac{TP_i^H}{TP_{\text{общ}}} = \frac{\sum_{k=1}^i TP_k}{TP_{\text{общ}}} = \frac{\sum_{k=1}^i \sum_{j=1}^m TP_{km}}{\sum_{k=1}^I \sum_{j=1}^m TP_{km}} \quad (4.3.1)$$

Применительно в приложение II а величины TP_{ij} (TP_{kj}) находятся в столбцах (6, $j = 1$) и (7, $j = 2$). $TP_{\text{общ}}$ равна сумме чисел из итоговых клеток этих столбцов. Пример расчета TP_i (%) и CG_i (%) на основе этих данных содержится в таблице (4.3.1).

Таблица 4.3.1 – Нарастание технической готовности работы и удельный вес каждого этапа

Этап	TP_i , %	CG_i , %
Составление и утверждение технического задания	6,00	6,00
Подбор и изучение материалов по теме	26,82	32,82
Календарное планирование работ по теме	6,02	38,84
Составление схемы эксперимента	10,81	49,65
Экспериментальное исследование	9,78	59,43
Анализ и обработка полученных результатов	13,34	72,77
Оформление пояснительной записки к ВКР	17,21	89,98
Подготовка к защите ВКР	10,02	100,00

4.4 SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой

комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта. В таблице 4.4, представлены SWOT-анализа.

Таблица 4.4 – Матрица SWOT

	<p>Сильные стороны:</p> <p>C1. Простота изготовления</p> <p>C2. Сведено к минимуму термическое воздействие на материал.</p> <p>C3. Изготовление образцов с погрешностью в размерах на $\pm 0,2$ мм на каждые 100 мм (высокоточная производство).</p>	<p>Слабые стороны:</p> <p>Сл1. Высокая стоимость исходных материалов.</p> <p>Сл2. Отсутствие прототипа научной разработки.</p> <p>Сл3. Необходимы длительные клинические испытания для возможности использования имплантата</p>
<p>Возможности:</p> <p>V1. Возможность быстрого изготовления готового имплантата.</p> <p>V2. Изготовление имплантата может осуществляться на промышленном ВЧ-магнетроне.</p> <p>V4. Возможно использование клеток для улучшения биосовместимости.</p>	<p>Относительно простой процесс производства готового имплантата.</p> <p>Относительно невысокая погрешность по толщине покрытия. Высокая производительность при производстве имплантатов.</p>	<p>Для использования имплантатов необходимы дополнительные исследования физико-механических свойств и клинические испытания.</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Включения посторонних материалов в покрытие</p> <p>У2. Недостаток квалифицированных специалистов</p> <p>У3. Влияние человеческого фактора на качество производства.</p> <p>У4. Несвоевременное финансирование научного исследования при дальнейшем развитии проекта</p>	<p>Наличие каких-либо посторонних включений требует дополнительного контроля и приводит к изготовлению брака, так как процесс автоматизирован, исправить это уже во время работы невозможно.</p>	<p>Для практического применения требуется отработанная технология производства и прогнозируемые физико-химические свойства имплантата</p>

SWOT-анализ показывает на то, что основной угрозой проекта является бюджет проекта и качество исходных материалов. С целью обеспечения конкурентоспособности продукта, необходимо найти более дешёвое, но не менее качественное сырьё, а также улучшить технологию производства, с целью повышения качества.

4.5 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов. В представленной таблице 4.5 B_{ϕ} – это баллы модифицированного покрытия. B_{K1} – это баллы конкурирующего немодифицированного покрытия. K_{ϕ} и K_{K1} – конкурентоспособность разработки и немодифицированного покрытия.

Таблица 4.5 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок).

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		B_{ϕ}	B_{K1}	K_{ϕ}	K_{K1}
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
1. Биосовместимость	0,10	4	4	0,4	0,4
2. Биоактивность	0,15	5	3	0,75	0,45
3. Механические свойства	0,30	5	4	1,5	1,2
4. Безопасность использования	0,10	5	5	0,5	0,5

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Б _ф	Б _{к1}	К _ф	К _{к1}
Экономические критерии оценки эффективности					
1. Конкурентоспособность продукта	0,10	4	3	0,4	0,3
2. Цена	0,15	5	4	0,75	0,6
3. Предполагаемый срок эксплуатации	0,10	4	3	0,4	0,3
Итого	1	32	26	4,7	3,75

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в Таблице 4.5, подбираются, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

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

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum V_i \cdot B_i, \quad (4.5)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

V_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

В данной таблице представлен анализ самой разработки и конкурирующей технологии. На его основании можно сделать вывод о том, что данная разработка обладает высокой конкурентоспособностью.

4.6 Расчет сметы на выполнение проекта

В состав затрат на создание проекта включается величина всех расходов, необходимых для реализации комплекса работ, составляющих содержание данной разработки. Расчет сметной стоимости ее выполнения производится по следующим статьям затрат:

- материалы и покупные изделия;
- заработная плата;
- социальный налог;
- расходы на электроэнергию (без освещения);
- амортизационные отчисления;
- командировочные расходы;
- оплата услуг связи;
- арендная плата за пользование имуществом;
- прочие услуги (сторонних организаций);
- прочие (накладные расходы) расходы.

4.7 Затраты на выполнение НТИ

Произведем расчеты основных затрат, которые будут входить в бюджет НТИ.

В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- Материальные затраты НТИ;
- Затраты на оборудование;
- Основная заработная плата исполнителей темы;
- Дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- Накладные расходы.

4.7.1 Расчет затрат на материалы

Материальные затраты, рассчитаем по формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum C_i \cdot N_{расх\ i},$$

где, m - количество видов материальных ресурсов, потребляемых в процессе выполнения работ;

$N_{расх\ i}$ - количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию (шт., кг, л, и т.д.);

C_i - цена единицы i -го вида материальных ресурсов (руб./шт., руб./л., руб./кг. и т.д.);

k_T - коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы (принимаются в размере 15% от стоимости материалов).

Материальные затраты в рамках работ занесем в таблицу 4.7.1.

Таблица 4.7.1 – Расчет затрат на материалы

Наименование	Цена за ед., руб	Количество	Сумма, руб
Гидроксиапатит	900	2	1800
Кремний	2000	1	2000
Алюминиевая фольга	60	1	6
ПЭЭК	60	50	6000
Изопропиловый спирт	1500	1	150
Ацетон	700	1	70
Итого			9060
Итого с учетом ТЗР (15%)			10419

4.7.2 Расчет заработной платы

Данная статья расходов включает заработную плату научного руководителя и инженера, в его роли выступает исполнитель проекта, а также премии, входящие в фонд заработной платы. Расчет основной

заработной платы выполняется на основе трудоемкости выполнения каждого этапа и величины месячного оклада исполнителя. Среднедневная тарифная заработная плата ($ЗП_{\text{дн-т}}$) рассчитывается по формуле:

$$ЗП_{\text{дн-т}} = \frac{МО}{25,083}$$

где 25,083 – среднее количество рабочих дней в месяце при шестидневной рабочей недели.

Пример расчета затрат на полную заработную плату приведены в таблице 4.7.2.1. Затраты времени по каждому исполнителю в рабочих днях с округлением до целого взяты из приложения II а. Для учета в ее составе премий, дополнительной зарплаты и районной надбавки используется следующий ряд коэффициентов: $K_{\text{ПР}} = 1,1$; $K_{\text{ДОП.ЗП}} = 1,188$; $K_{\text{Р}} = 1,3$. Таким образом, для перехода от тарифной суммы заработка исполнителя, связанной с участием в проекте, к соответствующему полному заработку необходимо первую умножить на интегральный коэффициент:

$$K_{\text{И}} = K_{\text{ПР}} \cdot K_{\text{ДОП.ЗП}} \cdot K_{\text{Р}};$$

$$K_{\text{И}} = 1,1 \cdot 1,188 \cdot 1,3 = 1,699.$$

Таблица 4.7.2.1 – Затраты на заработную плату

Исполнитель	Оклад руб./мес.	Среднедневная ставка руб./раб.день	Затраты времени, раб.дни	$K_{\text{И}}$	Фон з/п, руб.
Руководитель	35267,1	1603,05	26	1,699	70813,14
Инженер	13267,1	603,05	59	1,699	60450,34
Итого:					131263,48

4.7.3 Расчет дополнительной заработной платы

Расчет дополнительной заработной платы ведется по формуле:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}},$$

где, $k_{\text{доп}}$ - коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12).

Результаты расчета приведены в таблице 4.7.3.

Таблица 4.7.3 - Расчет дополнительной заработной платы исполнителей темы

Заработная плата	Руководитель	Инженер
Основная зарплата	70813,14	60450,34
Дополнительная зарплата	8497,58	7254,04
Зарплата исполнителя	79310,72	67704,38
Итого по статье $C_{\text{зп}}$	147015,1	

4.7.4 Расчет затрат на социальный налог

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

$$C_{\text{соц}} = C_{\text{зп}} \cdot 0,3;$$

$$C_{\text{соц}} = 0,3 \cdot 147015,1 = \mathbf{44104,53}.$$

4.7.5 Контрагентные расходы

В ходе исследования к работе привлекались исследовательские лаборатории. Ниже представлен перечень проведенных работ и их стоимость.

Таблица 4.7.3 – Перечень проведенных работ и их стоимость.

№	Тип работ	Стоимость, руб.
1	Атомно-силовая микроскопия	10000
2	Эллипсометрия	10000

№	Тип работ	Стоимость, руб.
3	Энергодисперсионная рентгеновская спектроскопия	10000
4	Инфракрасная спектроскопия	10000
5	Сканирующая электронная микроскопия	20000
6	Тест на смачиваемость	10000
Итого		70000

4.7.6 Накладные расходы

В процессе научно-исследовательской работы было затрачено 126 кВт энергии в процессе работы высокочастотной магнетронной распылительной системы и 12 тонн воды на охлаждение.

Стоимость одного киловатта энергии – 5,8 руб. Следовательно, всего было затрачено 730,8 руб. на электричество.

Стоимость 1 тонны воды – 26,44 руб. Всего лаборатория потратила на воду 317,28 руб.

Итого на накладные расходы было потрачено 1048,08 руб.

4.7.7 Расчет амортизационных расходов

В данной статье представлен расчёт амортизации используемого оборудования за время выполнения проекта по следующей формуле:

$$C_{AM} = \frac{H_A \cdot t_{OB} \cdot C_{OB} \cdot n}{F_D},$$

где H_A – годовая норма амортизации единицы оборудования;

C_{OB} – балансовая стоимость единицы оборудования с учетом ТЗР;

F_d – действительный годовой фонд времени работы соответствующего оборудования, берется из специальных справочников или фактического режима его использования в текущем календарном году;

$t_{об}$ – фактическое время работы оборудования в ходе выполнения проекта, учитывается исполнителем проекта;

n – число задействованных однотипных единиц оборудования.

Например, для ПК в 2019 г., при 298 рабочих днях и 8-ми часовом рабочем дне, F_d равен:

$$F_d = 298 \cdot 8 = 2384.$$

При использовании нескольких типов оборудования расчет по формуле делается соответствующее число раз, затем результаты суммируются.

Для магнетронной установки в 2021 г., при сроке эксплуатации 10 лет (за 10 лет натекает 2 високосных года, поэтому 10 лет = $10 \cdot 365 + 2 = 3652$ дня) и длительности эксплуатации 3,5 рабочих дня F_d равен:

$$F_d = 3652 \cdot 3,5 = 12728.$$

H_A определяется как величина обратная C_A , в данном случае для ПК это:

$$H_A = \frac{1}{\text{СПИ}} = \frac{1}{2,5} = 0,4,$$

где СПИ – срок полезного использования в годах.

Для магнетрона H_A составляет:

$$H_A = \frac{1}{\text{СПИ}} = \frac{1}{10} = 0,1.$$

Зная значения всех коэффициентов, можно рассчитать для ПК:

$$C_{AM} = \frac{0,4 \cdot 224 \cdot 60000 \cdot 1}{2384} = 2255,03.$$

Для магнетронной установки:

$$C_{AM} = \frac{0,1 \cdot 84 \cdot 25000000 \cdot 1}{12728} = 16500.$$

Итого суммарно: $C_{AM} = 18750$ руб.

4.7.8 Расчет общей себестоимости разработки

Проведя расчет по всем статьям сметы затрат на разработку, можно определить общую себестоимость проекта «Ультратонкие NO-содержащие кальций-фосфатные покрытия для титановых имплантатов».

Таблица 4.7.6 – Смета затрат на разработку проекта

Вид расходов	Стоимость, руб
Материальные затраты	10419
Амортизация	18750
Основная заработная плата	131263,48
Дополнительная заработная плата	15751,62
Страховые отчисления	44104,53
Контрагентные расходы	70000
Накладные расходы	1048,08
Итого	291336,71

Таким образом, затраты на разработку составили $C = 291336,71$ руб.

4.8 Реестр рисков проекта

Идентифицированные риски проекта включают в себя возможные неопределенные события, которые могут возникнуть в проекте и вызвать последствия, которые повлекут за собой нежелательные эффекты.

Таблица 4.8 – Реестр рисков.

№	Риск	Потенциальное воздействие	Вероятность наступления	Влияние риска	Уровень риска*	Способы смягчения риска	Условия наступления
1	отслоение покрытий	нарушение остеоинтеграции; повторная операция	1	3	низкий	соблюдение технологии; кач. обработ. поверх.	нарушение технологии; недост. обработка поверхности
2	разрушение механизма	нарушение функциональных свойств; повторная операция	1	4	средний	соблюдение условий эксплуатации	нарушение условий эксплуатации
3	иммунная реакция на имплантат	повторная операция	1	5	средний	повышение биосовместимости покрытий	недостаточная биосовместимость покрытий

Исходя из представленной выше таблицы, вероятность наступления рисков мала, однако их влияние достаточно велико. Необходимо проводить дальнейшие исследования для еще большего снижения риска осложнений.

4.9 Оценка сравнительной 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 получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как: этот показатель нужно рассчитать, сравнив стоимость своего проекта с аналогичным проектом

$$I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\max}},$$

где – интегральный финансовый показатель разработки;

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

Φ_{\max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

$$I_{\Phi}^p = \frac{291336,71}{1000000} = 0,292$$

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля).

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

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a, \quad I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i b_i^p,$$

где I_m – интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов;

a_i – весовой коэффициент i -го параметра;

b_i^a, b_i^p – бальная оценка i -го параметра для аналога и разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы, пример которой приведен ниже.

Таблица 4.9.1 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта.

Критерии \ ПО	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект		Аналог	
		b_i^p	I_m^p	b_i^a	I_m^a
1. Биосовместимость	0,25	4	1	4	1
2. Биоактивность	0,35	5	1,75	3	1,05
3. Механические свойства	0,25	5	1,25	4	1
4. Безопасность использования	0,15	5	0,75	5	0,75
ИТОГО	1	4,75	4,75	4	3,8

Интегральный показатель эффективности разработки ($I_{финр}^p$) и аналога ($I_{финр}^a$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{финр}^p = \frac{I_m^p}{I_{ф}^p}, \quad I_{финр}^a = \frac{I_m^a}{I_{ф}^a}$$

$$I_{финр}^p = \frac{I_m^p}{I_\phi^p} = \frac{4,75}{0,292} = 16,26; I_{финр}^a = \frac{I_m^a}{I_\phi^a} = \frac{3,8}{1} = 3,8$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта.

Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{финр}^p}{I_{финр}^a} = 4,28$$

где \mathcal{E}_{cp} – сравнительная эффективность проекта; $I_{мэ}^p$ – интегральный показатель разработки; $I_{мэ}^a$ – интегральный технико-экономический показатель аналога.

Таблица 4.9.2 – Сравнительная эффективность разработки.

№ п/п	Показатели	Разработка	Аналог
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,292	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,75	3,8
3	Интегральный показатель эффективности	16,26	3,8
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	4,28	

Заключение

В результате проведения разработки раздела финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение было выяснено, что данное исследование оправдывает физические и материальные затраты.

В ходе SWOT-анализа основными угрозами являются бюджет проекта и качество исходных материалов.

Подсчёт затрат на разработку позволяет заключить, что основной статьёй расходов в научно-исследовательской работе является заработная плата исполнителей: основная – 131263,48 руб. (0,451%), дополнительная – 15751,62 руб. (0,054%). На втором месте контрагентные расходы – 70000 руб. (0,241%). Затем идут страховые взносы – 44104,53 руб. (0,151%) Меньше всего средств уходит на накладные расходы - 1048,08 руб, (0,003%) расходные материалы – 10419 руб. (0,036%) и на амортизацию оборудования – 18750 руб. (0,064%). Общий бюджет разработки составил 291336,71 руб. При этом запланированная продолжительность работы составляет 56 дней.

5. Социальная ответственность

Введение

Тема диссертации: «Модифицирование поверхности биостабильных полимеров медицинского назначения в плазме магнетронного разряда». Кальций фосфатные покрытия применяется в области ортопедии и стоматологии в качестве искусственных костей и зубов и служит биоактивным слоем, способствующим восстановлению костной ткани и препятствующие отторжению имплантата в тех участках тела, в которые он устанавливаются.

Исследовательская работа была проведена в Томском политехнической университете, НОЦ Б.П. Вейнберга, в Лаборатории плазменных гибридных систем. Каждое из помещений лаборатории имеет площадь более 35 м². Рабочая зона включает столы с необходимым оборудованием и веществами, вытяжные шкафы, а также раковины. В соответствии с ГОСТ 12.1.005 – 88 постоянным рабочим местом является вся рабочая зона, так как работа осуществлялась в разных пунктах рабочей зоны.

Результаты, полученные в работе, позволят приблизить использование подобных материалов в ортопедии в качестве имплантатов. В данном разделе рассмотрены вредные и опасные факторы, действующие на сотрудника лаборатории, разработаны требования безопасности и комплекс защитных мероприятий на рабочем месте. Также этот раздел включает подразделы охраны окружающей среды и чрезвычайных ситуаций.

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

В соответствии с положением Трудового кодекса РФ 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019) работа в лаборатории не относится к классу опасных или вредных, а длительность рабочего времени составляет 30 часов в неделю.

Минимальный размер заработной платы согласно статье 133 составляет 12130 руб.

Работодатель обязан обеспечить нормальные условия для выполнения работниками норм выработки (статья 163). Работодатель обязан предоставить отпуск без сохранения заработной платы работникам, обучающимся по имеющим государственную аккредитацию программам бакалавриата, специалитета или магистратуры по очной форме обучения, совмещающим получение образования с работой, для прохождения промежуточной аттестации – 15 календарных дней в учебном году, для подготовки и защиты выпускной квалификационной работы и сдачи итоговых государственных экзаменов – четыре месяца, для сдачи итоговых государственных экзаменов – один месяц (статья 173). Более того, на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, работникам бесплатно выдается специальная одежда, специальная обувь и другие средства индивидуальной защиты, а также смывающие и (или) обезвреживающие средства в соответствии с типовыми нормами (статья 221).

Организация рабочего места – это один из главных способов улучшения условий труда, достижение высококачественного и экономически эффективного выполнения производственного задания в установленные сроки. В соответствии с ГОСТ 12.2.033-78 «Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования» высота рабочей поверхности при работе стоя для женщин составляет 990 мм, для мужчин 1060 мм, а при работе сидя для женщин 700 мм, для мужчин 750 мм в соответствии с ГОСТ 12.2.032-78.

В соответствии с санитарными нормами СНиП 535-81 химическая лаборатория должна иметь изолированный аналитический зал, весовую комнату, дистилляторную, моечную, приборную и складскую.

5.2 Производственная безопасность

Согласно ГОСТ 12.1.005–88 работа инженера-исследователя по характеру физической нагрузки относится к разряду легких (категория I).

Выявление опасных и вредных производственных факторов на рабочем месте осуществляется с использованием «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» по ГОСТ 12.0.003-2015.

Перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды и нормативные документы [42-52] приведены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 — Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Нормативные документы
1. Отсутствие или недостаток необходимого естественного освещения	№2 «Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания" СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение»
2. Отсутствие или недостатки необходимого искусственного освещения	
3. Повышенный уровень и другие неблагоприятные характеристики шума	ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ «Шум. Общие требования безопасности» ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ «Средства и методы защиты от шума»
4. Наличие электромагнитных полей радиочастотного диапазона	№ 28 «Об утверждении санитарных правил СП 2.4. 3648-20 "Санитарно-эпидемиологические требования к организациям воспитания и обучения, отдыха и оздоровления детей и

	<p>молодежи"</p> <p>СанПиН 2.1.8/2.2.4.1383-03 «Гигиенические требования к размещению и эксплуатации передающих радиотехнических объектов»</p> <p>ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ «Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля»</p>
<p>5. Наличие веществ, обладающих избирательной токсичностью на органы-мишени и (или) системы при многократном или продолжительном воздействии</p>	<p>ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ «Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности»</p> <p>ГОСТ 12.1.005- 88 ССБТ «Общие Санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны»</p>
<p>6. Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий, включая действие молнии и высоковольтного разряда в виде дуги, а также электрического разряда живых организмов.</p>	<p>ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ «Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов»</p> <p>ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ «Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление»</p>

5.2.1 Анализ вредных и опасных факторов

Объектом исследования является кальций-фосфатные покрытия на поверхности изделий из полиэфирэфиркетона (ПЭЭК), который не является токсичным материалом и не выделяет никаких вредных веществ в процессе напыления.

Биоактивное покрытие – фосфат кальция, минерал гидроксиапатит, является основной минеральной составляющей костей и зубов. Гидроксиапатит является биорезорбируемым, биосовместимым и нетоксичным для организма минералом, используемым в ортопедии и стоматологии для стимуляции роста костной ткани и восстановления зубной эмали.

Отсутствие или недостаток необходимого естественного освещения.

Отсутствие или недостатки необходимого искусственного освещения. В лаборатории используется как естественное, так и искусственное освещение. Недостаточная освещенность способствует возрастанию нагрузки на органы зрения, приводит к утомляемости организма, способствует развитию близорукости. В то время излишне яркий свет слепит, снижает зрительные функции, приводит к перевозбуждению нервной системы. Естественное и искусственное освещение нормируется СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение» и №2 «Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания". В таблице 5.2.1 представлены требуемые показатели освещения помещения лаборатории.

Таблица 5.2.1 – Нормируемые показатели естественного, искусственного и совмещенного освещения

Помещение	Естественное освещение		Искусственное освещение				Совмещённое освещение	
	КЕО, %		Освещённость, лк			Коэф. Пульсации осв-ти, % не более	КЕО, %	
	При верх. Или комб. освещ.	При боковом освещ.	При комб. освещ		При общем		При верх. Или комб. освещ	При боковом освещ
		Всего	От общего					
НОЦ им. Вейнберга «Лаборатория гибридных плазменных систем»	3,5	1,2	500	300	400	10	2,1	0,7

Расчет искусственного освещения. Производственное помещение, где располагается магнетронная распылительная установка, имеет следующие параметры (Таблица 5.2.2).

Таблица 5.2.2 – Параметры помещения 012, корпус 19, НИ ТПУ

Длина (A), м	Ширина (B), м	Высота (H), м	Высота рабочей поверхности над полом (h_{pn}), м
6,2	5,8	3	1,3

Согласно СП 52.13330.2016, необходимо создать освещенность данного помещения не ниже $E_H = 300$ лк, в соответствии с характеристикой зрительной работы (малая точность).

Рассчитаем площадь помещения S :

$$S = A \cdot B = 6,2 \cdot 5,8 = 35,96 \text{ м}^2. \quad (5.1)$$

Коэффициент отражения стен, оклеенных светлыми обоями $R_c = 30\%$, свежепобеленного потолка $R_{п} = 70\%$. Коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, для помещений с малым выделением пыли, $k = 1,5$. Коэффициент неравномерности для люминесцентных ламп $Z = 1,1$.

Рассчитаем систему общего люминесцентного освещения.

Выбираем тип светильника ОД – 2-40 с длиной $l_{св} = 1,23$ м, шириной = 0,266 м и КПД = 75%.

Интегральным критерием оптимальности расположения светильников для люминесцентных светильников без защитной решётки $\lambda = 1,4$, расстояние светильников от перекрытия (свес) $h_c = 0$ м.

Определяем расчетную высоту светильника над рабочей поверхностью по формуле:

$$h = H - h_c - h_{pn} = 3 - 0 - 1,3 = 1,7 \text{ м}. \quad (5.2)$$

Расстояние между соседними светильниками или рядами светильников L рассчитываем по формуле:

$$L = \lambda \cdot h = 1,4 \cdot 1,7 = 2,38 \text{ м.} \quad (5.3)$$

Расстояние от крайнего ряда светильников до стены:

$$L/3 = 0,8 \text{ м.}$$

Определяем число рядов светильников $n_{\text{ряд}}$ в помещении и количество светильников в ряду $n_{\text{св}}$:

$$n_{\text{ряд}} = \frac{(B - \frac{2}{3}L)}{L} + 1 = \frac{(5,8 - \frac{2}{3} \cdot 2,38)}{2,38} + 1 \approx 2. \quad (5.4)$$

$$n_{\text{св}} = \frac{(A - \frac{2}{3}L)}{l_{\text{св}} + 0,5} = \frac{(5,8 - \frac{2}{3} \cdot 2,38)}{1,23 + 0,5} \approx 2. \quad (5.5)$$

Размещаем светильники в два ряда. В каждом ряду можно установить по два светильника типа ОД мощностью 40 Вт (с длиной 1,23 м), при этом расстояние между светильниками в ряду составит 2,14 м. На рисунке 5.1 изображен план помещения и размещения на нем светильников. Учитывая, что в каждом светильнике установлено две лампы, общее число ламп в помещении $N_l = 8$.

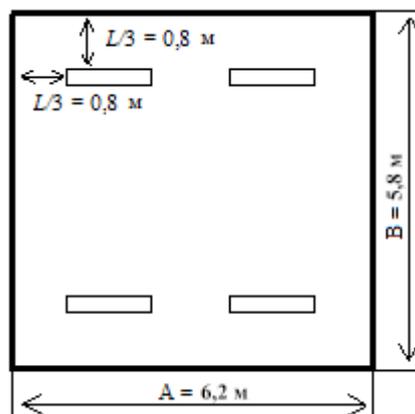


Рисунок 5.1 – План помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами

Индекс помещения i определим по формуле:

$$i = S/h(A + B) = 35,96/(1,7(6,2 + 5,8)) \approx 1,75. \quad (5.6)$$

Коэффициент использования светового потока, показывающий какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность, для

светильников типа ОД с люминесцентными лампами при $R_c = 30\%$, $R_{\Pi} = 70\%$ и индексе помещения $i = 1,75$ равен $\eta = 0,58$.

Потребный световой поток группы люминесцентных ламп в каждом из рядов определяем по формуле:

$$\Phi_{\Pi} = \frac{E_H \cdot S \cdot k \cdot Z}{N_{\text{л}} \cdot \eta} = \frac{300 \cdot 35,96 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{8 \cdot 0,58} = 3837 \text{ лм.} \quad (5.7)$$

Ближайшая по параметрам стандартная лампа – ЛХБ мощностью 65 Вт со световым потоком 4400 лм.

Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{л.станд.}} - \Phi_{\Pi}}{\Phi_{\text{л.станд.}}} \cdot 100\% \leq +20\%. \quad (5.8)$$

$$\frac{\Phi_{\text{л.станд.}} - \Phi_{\Pi}}{\Phi_{\text{л.станд.}}} \cdot 100\% = \frac{4400 - 3837}{4400} \cdot 100\% = 12,8\% \quad (5.9)$$

Получаем: $-10\% \leq 12,8\% \leq +20\%$. Необходимый световой поток светильника не выходит за пределы требуемого диапазона.

Определяем электрическую мощность осветительной установки P :

$$P = 8 \cdot 65 = 520 \text{ Вт.}$$

Таким образом, в производственном помещении площадью $35,96 \text{ м}^2$, где ведутся работы с магнетронной распылительной установкой «Катод-1М», в соответствии с характеристикой зрительной работы (малая точность), для создания освещенности данного помещения не ниже $E_H = 300$ лк, необходимо четыре светильника ОД – 2-40, при этом электрическая мощность осветительной установки будет равна 520 Вт.

Повышенный уровень и другие неблагоприятные характеристики шума. Основными источниками шума при работе с магнетронной распылительной установкой являются магнетрон, форвакуумные насосы, вытяжка. Вытяжка и форвакуумные насосы работают постоянно: во время создания вакуума и напыления; значение шума от них составляет не более 50 дБ, что соответствует допустимому уровню шума в лабораториях для проведения научных экспериментов, который не должен превышать 60 дБ

[53]. При выполнении работы на ПЭВМ уровень шума на рабочем месте не должен превышать 50 дБ [54].

Шум является очень важным фактором, влияющим на организм человека. Повышенный уровень шума вызывает проблемы со здоровьем, например, тугоухость, глухоту, оказывает неблагоприятное воздействие на психику и центральную нервную систему человека. В результате его воздействия у человека появляются симптомы переутомления и истощения нервной системы. Под влиянием шума учащаются пульс и дыхание, повышается расход энергии, наблюдаются подавленное настроение, понижение внимания, задерживаются интеллектуальные процессы, повышается нервная возбудимость. В целом, можно заключить, что шум снижает работоспособность и производительность труда персонала [55].

Наличие электромагнитных полей радиочастотного диапазона. Экран и системные блоки ПЭВМ производят электромагнитное излучение. Основная его часть происходит от системного блока и видеокабеля. Напряженность электромагнитного поля на расстоянии 50 см вокруг экрана по электрической составляющей должна быть не более:

- в диапазоне частот от 5 Гц до 2 кГц — 25 В/м;
- в диапазоне частот от 2 до 400 кГц — 2,5 В/м.

Плотность магнитного потока должна быть не более:

- в диапазоне частот от 5 Гц до 2 кГц — 250 нТл;
- в диапазоне частот от 2 до 400 кГц — 25 нТл;

В диапазоне СВЧ = 300...300000 МГц допустимая плотность потока мощности (ППМД0П) при времени облучения (τ облуч.) в течение всего рабочего дня составляет 10 мкВт/см^2 , при τ облуч., равном 2 ч;

- 100 мкВт/см^2 и при τ облуч., равном 15...20 мин;
- 1000 мкВт/см^2 (при обязательном использовании защитных очков!).

В остальное рабочее время интенсивность облучения не должна превышать 10 мкВт/см^2 . Для лиц, профессионально не связанных с облучением, и для населения в целом ППМ не должен превышать 1 мкВт/см^2 .

Наличие веществ, обладающих избирательной токсичностью на органы-мишени и (или) системы при многократном или продолжительном воздействии.

Выделение химических веществ в воздух рабочей зоны возможно на этапе очистки ПЭЭК образцов и подготовки установки к процессу напыления. Для очистки ПЭЭК образцов использовалось органическое летучее вещество – ацетон.

В соответствии с ГОСТ 12.1.007 и ГОСТ 12.1.005-88 по степени воздействия на организм ацетон относится к 4-му классу опасности - вещества малоопасные. Предельно допустимая концентрация (ПДК) паров ацетона в воздухе рабочей зоны - 200 мг/м³.

При работе в непосредственной близости к химическим веществам возможно получение серьезного поражения кожного покрова, глаз или появление общего токсического воздействия на организм инженера исследователя, ГОСТ 12.0.003-2015. Ацетон обладает наркотическим действием. При продолжительном вдыхании паров ацетон накапливается в организме, может всасываться через неповрежденную кожу. Отравление ацетоном возможно при вдыхании паров ацетона в концентрации, превышающей предельно допустимую концентрацию. В химической лаборатории находятся различные вещества, включая, как и легковоспламеняющейся, так и взрывоопасные.

Расчёт воздухообмена для очистки воздуха

Потребный воздухообмен определяется по формуле:

$$L = \frac{1000G}{x_n - x_b}, \frac{\text{м}^3}{\text{ч}},$$

где L , м³/ч – потребный воздухообмен;

G , г/ч – количество вредных веществ, выделяющихся в воздух помещения;

x_b , мг/м³ – предельно допустимая концентрация вредности в воздухе рабочей зоны помещения, согласно ГОСТ 12.1.005-88;

x_n , мг/м³ – максимально возможная концентрация той же вредности в воздухе населенных мест (ГН 2.1.6.1338-03).

Для ацетона $G = 0,005$ г/с или $8,3 \cdot 10^{-5}$ г/ч.

$$L = \frac{1000 \cdot 8,3 \cdot 10^{-5}}{200 - 0,35} = 0,0004 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}.$$

При работе в химической лаборатории необходимо соблюдать требования техники безопасности по ГОСТ 12.1.007-76 «Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности». При работе с химическими реактивами в лаборатории должно находиться не менее двух сотрудников. Работа с едкими и ядовитыми веществами, а также с 82 органическими растворителями проводится только в вытяжных шкафах, для предотвращения выделению их паров необходима герметизация тар их хранения. При работах в вытяжном шкафу створки шкафа следует поднимать на высоту не более 20-30 см так, чтобы в шкафу находились только руки, а наблюдение за ходом процесса вести через стекла шкафа. Для защиты от воздействия химических веществ необходима как индивидуальная, так и коллективная защита. Для индивидуальной защиты необходима специальная одежда из хлопчатобумажной ткани в соответствии с ГОСТ 27574-87, ГОСТ 27651-88, защитные перчатки, средства для защиты глаз, ГОСТ 12.4.011-89. При высоких концентрациях в воздухе рабочей зоны фильтрующий противогаз марки БКФ. В случае химического ожога в лаборатории кислотами необходимо промывание ожога 3%-ным раствором бикарбоната натрия, при ожоге щелочами - 2%-ным раствором борной кислоты.

Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий, включая действие молнии и высоковольтного разряда в виде дуги, а также электрического разряда живых организмов. В зависимости от условий в помещении опасность поражения человека электрическим током увеличивается или уменьшается. Не следует работать с

ЭВМ и др. установками в условиях повышенной влажности (относительная влажность воздуха длительно превышает 75 %), высокой температуры (более 35 °С), наличии токопроводящей пыли, токопроводящих полов и возможности одновременного прикосновения к имеющим соединение с землей металлическим элементам и металлическим корпусом электрооборудования. Существует опасность поражения электрическим током в следующих случаях:

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

Действие электрического тока на живую ткань носит разносторонний и своеобразный характер. Проходя через организм человека, электроток производит термическое, электролитическое, механическое, биологическое, световое воздействие.

Световое действие приводит к поражению слизистых оболочек глаз. Термическое воздействие тока характеризуется нагревом кожи и тканей до высокой температуры вплоть до ожогов.

Электролитическое воздействие заключается в разложении органической жидкости, в том числе крови, и нарушении ее физико-химического состава.

Механическое действие тока приводит к расслоению, разрыву тканей организма в результате электродинамического эффекта, а также мгновенного взрывоподобного образования пара из тканевой жидкости и крови. Механическое действие связано с сильным сокращением мышц вплоть до их разрыва.

Биологическое действие проявляется в раздражении и возбуждении живых тканей и сопровождается судорожными сокращениями мышц.

Мероприятия по обеспечению электробезопасности электроустановок:

- отключение напряжения с токоведущих частей, на которых или вблизи которых будет проводиться работа, и принятие мер по обеспечению невозможности подачи напряжения к месту работы;
- заземление корпусов всех установок через нулевой провод;
- недоступность токоведущих частей аппаратуры (заключение в корпуса электропоражающих элементов, заключение в корпус токоведущих частей).

5.3 Экологическая безопасность

5.3.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду

Биоактивное биodeградируемое покрытие из гидроксипатита не оказывает негативного влияния на атмосферу, гидросферу или литосферу. Гидроксипатит под воздействием солнечного света становится фотокаталитически активным и проявляет способность поглощать тяжелые металлы. Это его качество может быть очень полезным для восстановления окружающей среды от загрязнений.

5.3.2 Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду

При формировании объекта исследования под вытяжкой пары ацетона проникают в атмосферу. После работы лабораторная посуда моется в раковине, поэтому некоторая часть органических веществ попадает в канализацию, соответственно, в городские сточные воды. Ацетон представляет опасность для окружающей среды: загрязняет атмосферный воздух и водоемы. Оказывает токсическое действие на обитателей водоемов:

рыб, водным беспозвоночным и т.п. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений указаны в СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания". Так для ацетона ПДК составляет 2,2 мг/м³.

5.3.3 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды

Лаборатория находится в учебном корпусе НИ ТПУ, рядом на расстоянии сотен метров находятся другие учебные корпуса. Санитарно-защитная зона при проведении исследования должна составлять 100 метров в соответствии с СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03. Защита окружающей среды от выброса ацетона должна быть обеспечена соблюдением требований технологического регламента, правил перевозки и хранения. Таким образом технический ацетон транспортируют в специально выделенных железнодорожных цистернах с верхним сливом или универсальным сливным прибором, автоцистернах, в алюминиевых бочках по ГОСТ 21029, стальных или оцинкованных по ГОСТ 17366, ГОСТ 13950, тип I, ГОСТ 6247, вместимостью от 100 до 275 дм³, в стеклянных бутылках по ОСТ 6-09-185, вместимостью 10 и 20 дм³. С целью охраны атмосферного воздуха от загрязнения выбросами вредных веществ должен быть организован контроль за содержанием предельно допустимых выбросов. Правила установления допустимых выбросов вредных веществ осуществляются по ГОСТ 17.2.3.02-2014.

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

5.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований

Объект исследования не инициирует появление ЧС, включая биологосоциальную ЧС, так как не является возбудителем инфекции, ГОСТ Р 22.0.04- 95.

5.4.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований

Из возможных чрезвычайных ситуаций в лаборатории наиболее вероятной ЧС является пожар или взрыв.

Для предотвращения пожаровзрывоопасной ситуации в лаборатории необходимо не осуществлять, нагрев веществ до температуры самовоспламенения, устранять опасные тепловые проявления химических реакций. Для того, чтобы в воздухе не накапливалось содержание взрывоопасных веществ необходимо применение рабочей вентиляции, ГОСТ 12.1.010-76. Сливать горючие вещества в канализацию запрещено. Хранение легковоспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ) допускается в толстостенных, снабженных герметичными пробками бутылках. Запасы пожароопасных реактивов должны храниться в изолированных, хорошо вентилируемых помещениях вдали от отопительных приборов и прямых лучей солнца. Помещения для хранения пожароопасных веществ должны быть оснащены противопожарными средствами: порошковыми огнетушителями, сухим песком, лопатами, ведрами, листовым асбестом, кошмой, суконными одеялами и рукавицами. Тушение пожара водой и воздушно-механической пеной недопустимо. Совместное хранение в одном помещении самовоспламеняющихся, огнеопасных и взрывоопасных веществ не допускается. Запрещается производить какие-либо работы с ЛВЖ вне

вытяжного шкафа. В случае пролива или воспламенения ЛВЖ необходимо выключить все электронагревательные приборы, а при необходимости обесточить лабораторию отключением общего рубильника. Место пролива ЛВЖ следует засыпать сухим песком, а затем собрать его деревянным или пластиковым совком.

5.4.3 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС

Организационные меры, предотвращающие возникновение ЧС в лаборатории – это соблюдение техники безопасности по работе с химическими реактивами, охрана труда, планирование по предупреждению чрезвычайных ситуаций и прохождение инструктажа. Более того, это также проведение инженерно-технических мероприятий таких, как контроль противопожарных средств – сигнализации, средств пожаротушения, сокращение запасов и сроков хранения взрыво-, газо-, пожароопасных веществ, подготовка и хранение в надлежащем состоянии средств индивидуальной защиты. В лаборатории существует вероятность возгорания в вытяжных шкафах. Интенсивный приток воздуха из вентиляции способствует быстрому распространению пламени. Поэтому, возгорание следует ликвидировать в первые несколько секунд, иначе горение усиливается. При возникновении возгорания в вытяжных и вентиляционных устройствах следует в первую очередь отключить мотор вентилятора и закрыть вентиляционный канал. Если в вытяжном шкафу проводились работы с токсичными летучими веществами, отключение вентиляции сопряжено с опасностью отравления участников ликвидации пожара, в таких случаях всем находящимся в помещении необходимо надеть противогазы. Все помещения лаборатории должны соответствовать требованиям пожарной безопасности по ГОСТ 12.1.004-91 и иметь средства пожаротушения по ГОСТ 12.4.009-83. К первичным средствам пожаротушения в лаборатории

относятся порошковые огнетушители, сухой песок. В лаборатории на кафедре есть порошковый огнетушитель ОП, ручной, объемом 5 л. Каждый сотрудник лаборатории, заметивший пожар, задымление или другие признаки пожара, согласно методическим рекомендациям обязан:

- немедленно вызвать пожарную часть по телефону;
- удалить все материалы, способные воспламениться из зоны горения или, в случае возможности, удаление источника, воспламенения;
- обесточивание электросети внутри шкафа или отключение электроэнергии общим рубильником;
- выключить вентиляцию вытяжного шкафа;
- применение первичных средств огнетушения

Также, на территории Томской области наиболее вероятные источники ЧС природного характера: шквальные ветры и ураганы; лесные пожары; половодье; эрозия почв; обильные осадки, в т.ч. сильный туман и крупный град. ГУ МЧС по Томской области является организацией, ответственной за предупреждение населения о возможных ЧС и ликвидации их последствий.

Выводы по разделу

В данном разделе были рассмотрены вредные и опасные факторы при эксплуатации установки вакуумного напыления «Катод – 1М», которые представлены в таблице 5.2. По результатам анализа вредных и опасных факторов, был определен алгоритм действий по предупреждению и возникновению чрезвычайных ситуаций, вызванных данными факторами при эксплуатации установки вакуумного напыления «Катод – 1М».

Заключение

В работе были найдены пути оптимизации нанесения кальций-фосфатных покрытий в плазме магнетронного разряда и получены следующие результаты:

1. при мощности 400 Вт и удельной мощности $2,1 \text{ Вт/см}^2$ удалось получить сплошные ультратонкие покрытия без признаков растрескивания и расслоения методом ВЧМР;

2. модифицирование поверхности ПЭЭК оказывает огромное влияние на смачиваемость, гидрофобная поверхность полимера превращается в более гидрофильную, что благоприятно сказывается на поведении остеобластов;

3. использование промежуточного титанового слоя улучшает адгезию между покрытием и ПЭЭК.

Список публикаций

Результаты работы приняты для представления на XVIII Международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Перспективы развития фундаментальных наук».

Список литературы

1. Abdullah M.R. et al. Biomechanical and bioactivity concepts of polyetheretherketone composites for use in orthopedic implants - A review // Journal of Biomedical Materials Research - Part A. John Wiley and Sons Inc., 2015. Vol. 103, № 11. P. 3689–3702.
2. Williams D.F., McNamara A., Turner R.M. Potential of polyetheretherketone (PEEK) and carbon-fibre-reinforced PEEK in medical applications // J. Mater. Sci. Lett. Kluwer Academic Publishers, 1987. Vol. 6, № 2. P. 188–190.
3. Kurtz S.M. An Overview of PEEK Biomaterials // PEEK Biomaterials Handbook. Elsevier Inc., 2012. P. 1–7.
4. Xin Y. et al. Influence of aggressive ions on the degradation behavior of biomedical magnesium alloy in physiological environment // Acta Biomater. Elsevier, 2008. Vol. 4, № 6. P. 2008–2015.
5. Almasi D. et al. Preparation Methods for Improving PEEK's Bioactivity for Orthopedic and Dental Application: A Review // International Journal of Biomaterials. 2016.
6. Hussain S. et al. The Surface Characterisation of Polyetheretherketone (PEEK) Modified via the Direct Sputter Deposition of Calcium Phosphate Thin Films // Coatings. MDPI AG, 2020. Vol. 10, № 11. P. 1088.
7. Ralston S.H. Bone structure and metabolism // Medicine (United Kingdom). Elsevier, 2013. Vol. 41, № 10. P. 581–585.
8. Black J.D., Tadros B.J. Bone structure: from cortical to calcium // Orthop. Trauma. Churchill Livingstone, 2020. Vol. 34, № 3. P. 113–119.
9. Rho J.Y., Kuhn-Spearing L., Zioupos P. Mechanical properties and the hierarchical structure of bone // Med. Eng. Phys. Elsevier Sci Ltd, 1998. Vol. 20, № 2. P. 92–102.
10. Singh V. Medicinal plants and bone healing // Natl. J. Maxillofac. Surg. Medknow, 2017. Vol. 8, № 1. P. 4.
11. Guo X.E., Hu Y.J., Dinescu A.T. Bone Structure and Function //

- Encyclopedia of Bone Biology. Elsevier, 2020. P. 233–246.
12. Florencio-Silva R. et al. Biology of Bone Tissue: Structure, Function, and Factors That Influence Bone Cells // *BioMed Research International*. Hindawi Publishing Corporation, 2015. Vol. 2015.
 13. Yaszemski M.J. et al. Evolution of bone transplantation: Molecular, cellular and tissue strategies to engineer human bone // *Biomaterials*. Elsevier Ltd, 1996. Vol. 17, № 2. P. 175–185.
 14. Ma H. et al. PEEK (Polyether-ether-ketone) and its composite materials in orthopedic implantation // *Arabian Journal of Chemistry*. Elsevier B.V., 2021. Vol. 14, № 3. P. 102977.
 15. Zhao Y. et al. Cytocompatibility, osseointegration, and bioactivity of three-dimensional porous and nanostructured network on polyetheretherketone // *Biomaterials*. Elsevier, 2013. Vol. 34, № 37. P. 9264–9277.
 16. Anderson J.M. Biocompatibility // *Polymer Science: A Comprehensive Reference*, 10 Volume Set. Elsevier, 2012. Vol. 9. P. 363–383.
 17. Ratner B.D. The Biocompatibility of Implant Materials // *Host Response to Biomaterials: The Impact of Host Response on Biomaterial Selection*. Elsevier Inc., 2015. P. 37–51.
 18. Cohn M.R. et al. 7.16 Materials in fracture fixation // *Comprehensive Biomaterials II*. Elsevier, 2017. P. 278–297.
 19. Kizuki T., Matsushita T., Kokubo T. ENGINEERING AND NANO-ENGINEERING APPROACHES FOR MEDICAL DEVICES Apatite-forming PEEK with TiO₂ surface layer coating.
 20. Kurtz S. PEEK Biomaterials Handbook // *PEEK Biomaterials Handbook*. Elsevier Inc., 2012.
 21. Kelsey D.J., Springer G.S., Goodman S.B. Composite implant for bone replacement // *J. Compos. Mater.* SAGE Publications Ltd, 1997. Vol. 31, № 16. P. 1593–1632.
 22. Liao K. PERFORMANCE CHARACTERIZATION AND MODELING OF A COMPOSITE HIP PROSTHESIS // *Exp. Tech.* Springer, 1994. Vol. 18,

- № 5. P. 33–38.
23. Feldman D. Engineering thermoplastics-properties and applications, James M. Margolis, Ed., Marcel Dekker, New York, 1985, 393 pp. // Journal of Polymer Science Part C: Polymer Letters. Wiley, 1986. Vol. 24, № 6. 293–294 p.
 24. Skinner H.B. Composite technology for total hip arthroplasty // Clin. Orthop. Relat. Res. 1988. № 235. P. 224–236.
 25. Santing H.J. et al. Fracture Strength and Failure Mode of Maxillary Implant-Supported Provisional Single Crowns: A Comparison of Composite Resin Crowns Fabricated Directly Over PEEK Abutments and Solid Titanium Abutments // Clin. Implant Dent. Relat. Res. John Wiley & Sons, Ltd, 2012. Vol. 14, № 6. P. 882–889.
 26. Yuan H. et al. Calcium phosphates and bone induction // Comprehensive Biomaterials II. Elsevier, 2017. P. 333–349.
 27. van Vugt T.A. et al. Biomaterials in treatment of orthopedic infections // Management of Periprosthetic Joint Infections (PJIs). Elsevier Inc., 2017. P. 41–68.
 28. Huang J. et al. In vitro evaluation of nanosized carbonate-substituted hydroxyapatite and its polyhydroxyethylmethacrylate nanocomposite // J. Biomed. Mater. Res. - Part A. 2008. Vol. 87, № 3. P. 598–607.
 29. Samavedi S. et al. Synthetic biomaterials for regenerative medicine applications // Regenerative Medicine Applications in Organ Transplantation. Elsevier Inc., 2014. P. 81–99.
 30. Gudmundsson J.T., Lundin D. Introduction to magnetron sputtering // High Power Impulse Magnetron Sputtering: Fundamentals, Technologies, Challenges and Applications. Elsevier, 2019. P. 1–48.
 31. Кривобоков В.П., Сочугов Н.С. С.А.А. Плазменные покрытия (методы и оборудование). Томск, 2008. 104 p.
 32. Tudose I.V. et al. Chemical and physical methods for multifunctional nanostructured interface fabrication // Functional Nanostructured Interfaces

- for Environmental and Biomedical Applications. Elsevier, 2019. P. 15–26.
33. Juhasz J.A., Best S.M. Surface modification of biomaterials by calcium phosphate deposition // *Surface Modification of Biomaterials: Methods Analysis and Applications*. Elsevier Inc., 2011. P. 143–169.
 34. Кузьмичёв А. И. Магнетронные распылительные системы. Киев, 2008. 246 p.
 35. Духопельников Д.В. Магнетронные распылительные системы. Часть 1. Устройство, принципы работы, применение. 2014. 55 p.
 36. Musil J., Vlcek J., Baroch P. Magnetron Discharges for Thin Films Plasma Processing // *Materials Surface Processing by Directed Energy Techniques*. Elsevier Inc., 2006. P. 67–110.
 37. Wasa K., Kitabatake M., Adachi H. Microfabrication by Sputtering // *Thin Film Materials Technology*. Elsevier, 2004. P. 465–491.
 38. Минайчев В. Е. Магнетронные распылительные устройства (магнетроны). 1979. 56 p.
 39. Bräuer G. Magnetron Sputtering // *Comprehensive Materials Processing*. Elsevier Ltd, 2014. Vol. 4. P. 57–73.
 40. Setsuhara Y. Plasma Sources in Thin Film Deposition // *Comprehensive Materials Processing*. Elsevier Ltd, 2014. Vol. 4. P. 307–324.
 41. Ozeki K., Masuzawa T., Aoki H. Fabrication of hydroxyapatite thin films on polyetheretherketone substrates using a sputtering technique // *Mater. Sci. Eng. C*. Elsevier Ltd, 2017. Vol. 72. P. 576–582.
 42. Постановление №2 об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания".
 43. СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение».
 44. ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ «Шум. Общие требования безопасности».
 45. ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ «Средства и методы защиты от шума».
 46. Постановление № 28 об утверждении санитарных правил СП 2.4. 3648-

- 20 "Санитарно-эпидемиологические требования к организациям воспитания и обучения, отдыха и оздоровления детей и молодежи".
- 47 СанПиН 2.1.8/2.2.4.1383-03 «Гигиенические требования к размещению и эксплуатации передающих радиотехнических объектов».
- 48 ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ «Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля».
- 49 ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ «Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности».
- 50 ГОСТ 12.1.005- 88 ССБТ «Общие Санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны».
- 51 ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ «Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов».
- 52 ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ «Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление».
- 53 ПОТ Р М-004-97. Межотраслевые правила по охране труда при использовании химических веществ.
- 54 ГОСТ 12.1.003–83 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
- 55 Суворов, Г.А. Шум и здоровье (эколого-гигиенические проблемы) / Г.А. Суворов, Л.В. Прокопенко, Л. Д. Якимова - М: Союз, 1996. - 150 с.

Приложение I

(справочное)

Literature review on « Surface modification of biostable medical polymers in magnetron discharge plasma»

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОДМ91	Ли Влада Игоревна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Учёная степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ Б.П. Вейнберга, ИЯТШ	Твердохлебов С.И.	к. ф-м. н.		

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Учёная степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ШБИП ОИЯ	Зеремская Ю.А.	к. филол. н.		

1 Literary review

1.1 Bone structure

Bones of the skeleton provide mechanical support for joints, tendons and ligaments, protect vital organs from damage, and serve as a reservoir for calcium and phosphate to maintain normal mineral homeostasis [7].

Bone is a dynamic tissue that is renewed and rebuilt throughout life through the process of bone remodeling [8]. Most bone diseases result from abnormalities in the remodeling process that disrupt the architecture, structure, or mechanical strength of the bone, resulting in clinical symptoms such as pain, deformity and fractures, as well as impaired calcium and phosphate homeostasis.

Bone tissue is a mineralized collagen fiber consisting of a complex hierarchical multilevel structure: subnanostructure, nanostructure, microstructure, macrostructure [9]. The structure of the bone is directly related to the mechanical properties of the cancellous substance and the cortical layer of the bone. Also, bone tissue consists of three types of cells: osteoblasts, osteoclasts and osteocytes. The complex interactions between these types of cells are responsible for the metabolic functions of bones and their ability to repair and adapt to stress [10].

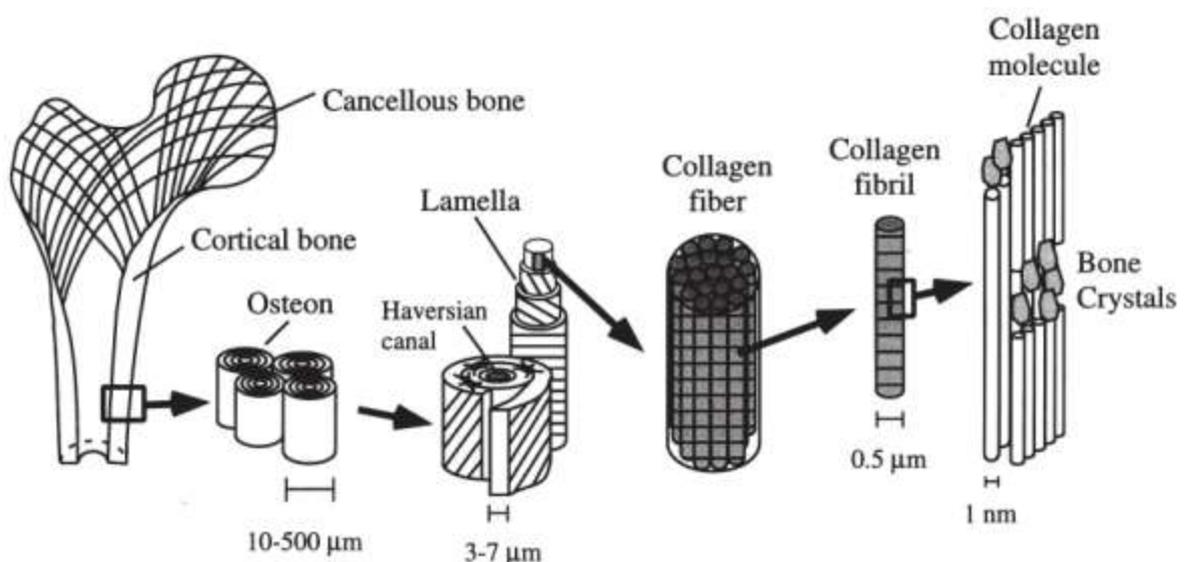


Fig. 1 - Hierarchical structural organization of the bone [9].

Based on their macroscopic shape, bones can be classified as long bones, flat bones, short bones, sesame bones, or irregular bones. Each category of bone takes a shape that is particularly suited to its local function. In addition to overall size and shape, the spatial organization of bone tissue within each bone is also a unique feature that contributes to bone function. There are two types of bones: cortical and trabecular.

At the microscopic level, the structure and composition of a cortical bone and a trabecular bone have some common features, but are mostly different from each other [11]. The cortical bone consists of osteons, in contrast to the trabecular bone, which consists of highly organized lamellae.

At the nanoscopic level, cortical bone and trabecular bone plates are similarly composed of an organic matrix of collagen fibers and inorganic crystals of hydroxyapatite [11,12]. The collagen fibers that make up the organic matrix of bones belong to the 1st class. It is the most common type of collagen fiber in the body and forms the structural basis of most musculoskeletal tissues such as tendons, ligaments and cartilage.

During the bone formation, crystals of the carbonate-apatite mineral form thin sheets and fill the gaps between collagen fibrils - a process known as a bone mineralization [7].

The mechanical properties of human bones are in the range of 131-224 MPa for compressive strength, 35-283 MPa for flexural strength and have a Young's modulus of 17-20 GPa [13].

1.2 Orthopedic implants

Orthopedic implants are a generic term for a large class of implants that replace, repair, supplement, and fill human bones. They are used to support, preserve and repair human bones and are often used as orthopedic medical materials in clinical practice [14].

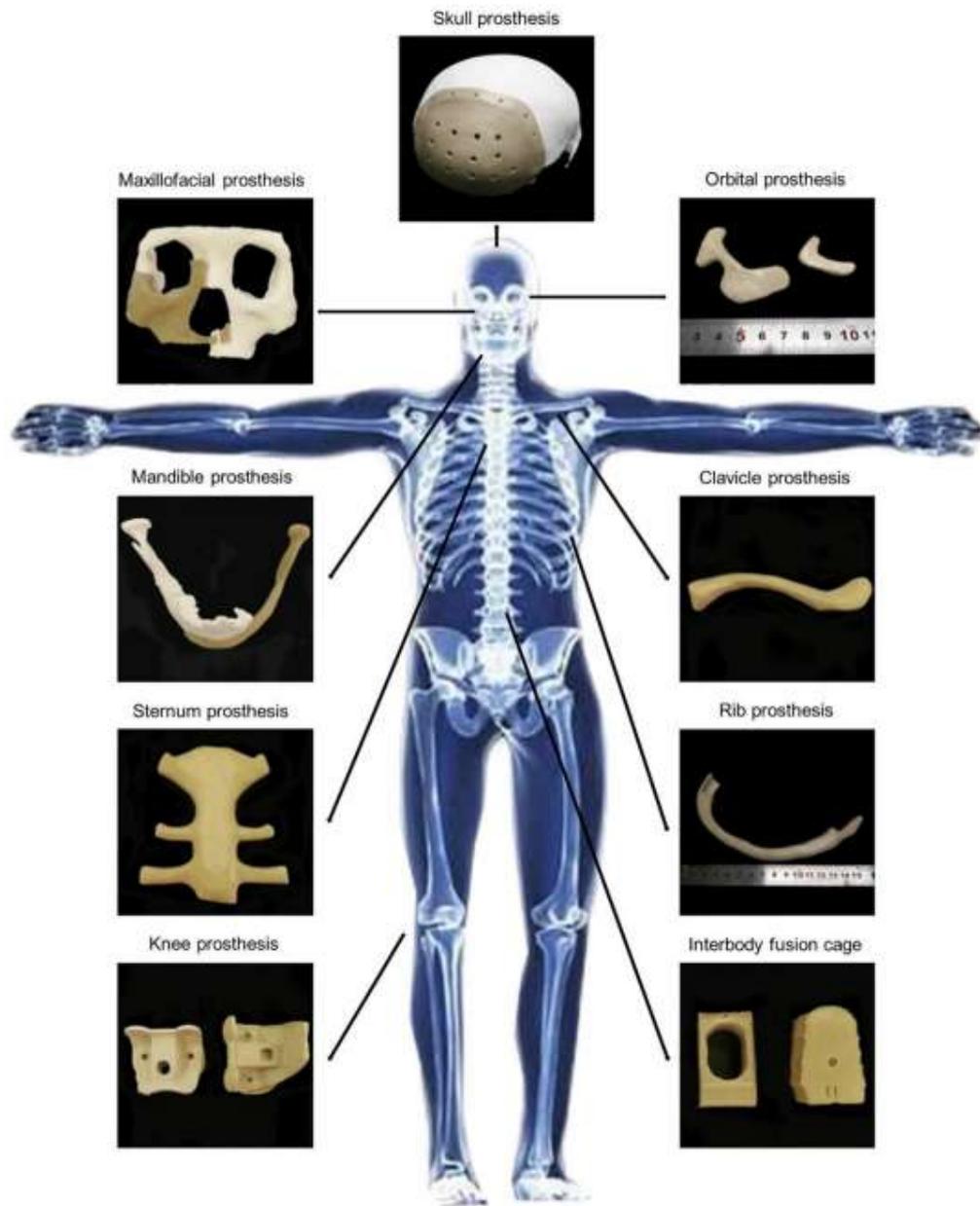


Fig 1.2 - Schematic illustrating the applications of PEEK implants in orthopedics[14].

The correct choice of implant biomaterials is a key factor in the long-term success of the implants. The biological environment does not completely accept any material; therefore, to optimize biological characteristics, implants should be selected to reduce the negative biological response while maintaining adequate functionality. The materials used can be natural or synthetic, biodegradable or non-biodegradable. The material required for each application is different and depends on the desired mechanical properties of the material.

Orthopedic implants must have the required biocompatibility, bioactivity, biostability, corrosion resistance and mechanical properties [15].

The main requirement for implant materials «in vivo» is biocompatibility - the ability of the material to integrate into the body, not to cause side clinical reactions of the human body [16]. Moreover, biomaterial must have a certain physical and chemical stability, which corresponds to the expected effect, so that the material can be stable and durable during the expected usage cycle [17]. Bioactive materials can induce a specific physiological response on the prosthesis, which can provide effective interconnection and the formation of a common complex between material and tissue. Biological stability refers to the ability to maintain long-term stability of biocompatibility, biological activity, and physico-chemical properties in the physiological environment after the material has entered the human body [18].

The modulus of elasticity is a common property of materials. It is selected depending on the required load and based on the requirement to minimize the relative movement at the border of the implant with the bone. The elastic modulus range of the cortical bone is about 7 - 30 GPa [19], and the Poisson's ratio is about 0.2 - 0.5. The modulus of elasticity of the trabecular bone varies from 0.01 to 10 GPa, and the Poisson's ratio is approximately 0.01 – 0.35. The search for materials for implants close to the modulus of elasticity of human bone is one of the key directions.

Static and fatigue strength are two important indicators of the mechanical strength of a material. Orthopedic implants replace some or all of the function of a person's bones after they are implanted into the body. They must meet the mechanical and kinematic requirements of the human body to avoid mechanical damage such as fractures. As the human body moves, orthopedic implants will be subjected to cyclic loading. Although this cyclic loading can be much less than the static strength of the material, fatigue failure can also occur if the fatigue strength of the material is exceeded [14]. Therefore, the implant material must have sufficient static and fatigue strength. Mechanical stability is the ability of an

implanted material to maintain its original mechanical properties without deterioration over a period of time. Metallic materials have high stability of mechanical properties, but attention should be paid to the wear resistance and corrosion resistance of the material to avoid deterioration of the mechanical properties. When designing artificial joint implants, it is necessary to take into account the need to ensure good friction and wear characteristics of the prosthesis[20].

An alternative to metal implants is the use of polymers. To increase their bioactivity, new surface treatment and coating methods have been developed to modify the surface of biomaterials.

1.3 Polyetheretherketone

Polyetheretherketone (PEEK) is a organic high-performance thermoplastic polymer from the polyaryletherketone (PAEK) family that is used as biomaterials for orthopedic, trauma and spinal cord implants [21,22].

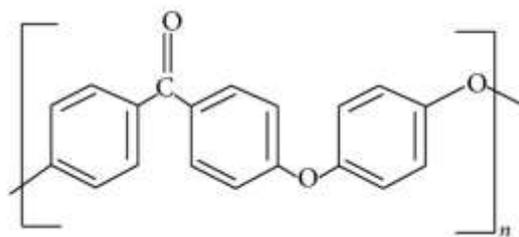


Fig 1.3 - Chemical structure of PEEK

A distinctive feature of a polymer - compared to a metal or ceramic - is its molecular size. In PEEK, the molecule is a linear chain of hundreds of monomeric units with an average molecular weight of 80,000–120,000 g/mol [3]. The length and composition of the molecular chain determine many of the unique properties of polymers, primarily the dependence of their properties on temperature and strain rate. The strain rate and temperature sensitivity of a polymer is highly dependent

on its chemical composition and structure. In other words, some polymers are more sensitive to speed and temperature than others.

The chemical structure of PEEK, like its relatives from PAEK, provides stability at temperatures above 300° C, resistance to chemical and radiation damage, compatibility with many reinforcing materials and greater strength per unit weight than many metals, which makes it very attractive for industrial application [23].

Unfilled "pure" PEEK is a powder of yellow-brown granules that can be turned into implants using standard polymer processing methods: extrusion or compression molding. The modulus of elasticity for "pure" PEEK biomaterials is 3-4 GPa, and the modulus can also be adapted to accurately match cortical bone (18 GPa) or titanium rods (110 GPa) by mixing with a reinforcing fiber with different lengths and orientations [24].

An important distinctive feature of polymers is their temperature dependence on properties, there are three main transitions: glass transition temperature (143 ° C), melting temperature (343 ° C), fluidity (390 ° C), in addition, depending on the manufacturing technology, PEEK can demonstrate the fourth transition - recrystallization, depending on the manufacturing technology [25].

1.4 Calcium phosphates

Calcium phosphate is a major mineral found in human bones and teeth and is considered a biocompatible inorganic biomaterial [26]. Ceramics based on calcium phosphate (tricalcium phosphate, hydroxyapatite) are bioceramics that show the greatest similarity to the mineral component of bone tissue, therefore calcium phosphate ceramics have excellent biocompatibility, biodegradability and osteoconductivity [10].

The osteoinduction of calcium phosphate materials is based on their ability to form molecular interactions with surrounding tissues, which leads to the layer formation of apatite on its surface [27]. Calcium phosphate biomaterials degrade in aqueous media relatively slowly compared to calcium sulfates. Thus, different

calcium phosphate compositions exhibit different degradation rates, for example, tricalcium phosphate $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ has a Ca/P ratio of 1.5, while HAP $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ has a Ca/P ratio of 1.67, hence, HAP is more stable under physiological conditions and its rate of dissolution in aqueous media is much lower than that of tricalcium phosphate [28]. This prevents the use of HAP as an implantable material and necessitates additional actions to increase solubility.

However, calcium phosphate biomaterials are fragile and therefore work best «in vivo» in a limited range of configurations or in combination with stronger materials such as nanoscale coatings on titanium rods, screws, plates, etc [29].

1.5 Magnetron sputtering

Magnetron sputtering system (MSS, magnetron) is a system that consists of a target cathode, anode and a magnetic system [30]. The diagram of a magnetron sputtering system with a flat round cathode and the trajectories of charged particles during the process are shown in Figure 1.5 [31]. MSS is a highly efficient device for applying coatings of metals, alloys, oxides, nitrides at constant or pulsed current to increase the properties of the sample [32,33].

Magnets (electromagnets) with a magnetic core form a magnetic system that creates an arc-shaped magnetic field above the cathode surface [34]. The walls of the vacuum chamber, in turn, very often act as an anode, but in some cases a separate anode, isolated from the chamber, is used. In a glow discharge between the cathode and the anode, argon ions are accelerated and bombard the target-cathode, as a result, the target is sputtered, and metal atoms condense on the surface of the substrate (sample). The electrons emitted by the atoms leave the target surface under the action of the bombardment and are captured by the magnetic field, where they perform repeating cycles of motion in crossed electric and magnetic fields. Here the electrons have time to ionize the working gas atoms many times before reaching the anode [35,36].

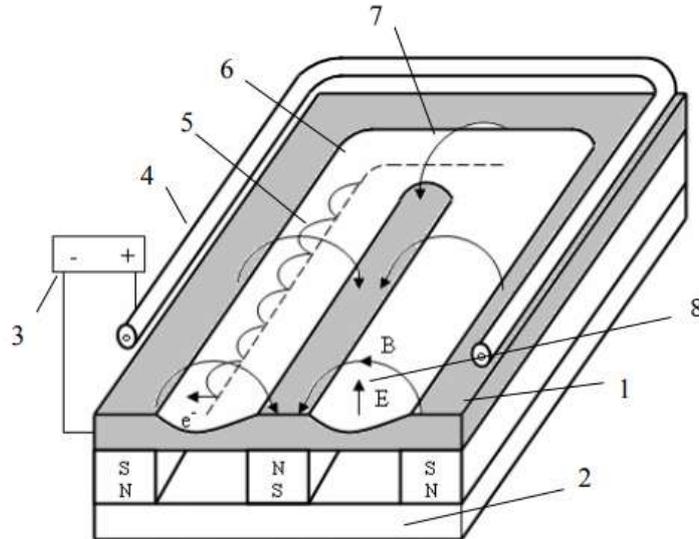


Figure 1.5 - Magnetron sputtering system with a flat cathode: 1 - cathode (target), 2 - system of magnets, 3 - power supply system of the installation, 4 - anode, 5 - electrons trajectory, 6 - sputtering zone, 7 - designation of the magnetic field line , 8 - designation of the electric field line of force [31].

The advantages of the magnetron sputtering system are: high sputtering rates, creation of films (alloys) with complex composition, coating in reactive gases, good reproducibility in thickness and composition, versatility [31].

This method also has a number of significant disadvantages, such as a low utilization factor of the cathode-target material, a low rate of sputtering of magnetic materials, and the impossibility of regulating the discharge characteristics in a wide range.

Traditional DC sputtering is a cost effective method of coating metal targets that are electrical conductors [37]. However, DC sputtering is limited when it comes to dielectric materials - coating targets, which are non-conductive insulating materials and can take a polarized charge, so high-frequency magnetron sputtering is used for dielectric materials [38].

The technology of high frequency magnetron sputtering is based on the supply of power from a high frequency source, and the process itself is divided into two stages, unlike traditional sputtering: positive and negative. When a negative

potential is applied, an inert gas is ionized, the target material is sputtered with high-energy ions, and adsorbed on a substrate in the form of a thin-film coating. Over time, positively charged ions appear, which collect on the surface of the target, thereby giving it a positive charge. At a certain moment, it can accumulate to such an extent that the speed of the sputtering process will decrease or even stop. When a positive potential is applied, the surface of the target material can be "cleaned" of the accumulated charge by a stream of electrons [39].

Sputtering of the target occurs when a voltage is applied at a frequency of 13.56 MHz, which is internationally approved for using in technological installations [40]. RF plasma is typically scattered throughout the chamber rather than concentrated around the cathode or target material as in DC sputtering [40]. RF sputtering can maintain plasma throughout the entire volume of the vacuum chamber at low pressures of 0.1-1 Pa. The result is fewer ionized gas collisions, which is equivalent to more efficient deposition of the coating on the sample. Since during RF sputtering, the target material is "cleared" from the accumulated charge with each cycle, therefore, the probability of arcing is reduced. The disadvantages of RF sputtering are the low productivity of the process, the complexity, and the high cost of equipment [37].

Приложение II

Таблица А – Трудозатраты на выполнение проекта

Этап	Исполнитель и	Продолжительность работ, дни		
		t_{min}	t_{max}	$t_{ож}$
1	2	3	4	5
Составление и утверждение технического задания	НР, И	3	5	3,8
Подбор и изучение материалов по теме	НР, И	15	20	17
Календарное планирование работ по теме	НР, И	2	4	2,8
Составление схемы эксперимента	НР, И	5	7	5,8
Экспериментальное исследование	НР, И	5	8	6,2
Анализ и обработка полученных результатов	НР, И	5	8	6,2
Оформление пояснительной записки к ВКР	И	10	15	12
Подготовка к защите ВКР	НР, И	5	6	5,4
Итого:				59,2

Этап	Трудоемкость работ по исполнителям чел.- дн.			
	$T_{рд}$		$T_{кд}$	
	НР	И	НР	И
1	6	7	8	9
Составление и утверждение технического задания	4,56	0,46	5,52672	0,552672
Подбор и изучение материалов по теме	2,04	20,40	2,47248	24,7248
Календарное планирование работ по теме	3,36	1,68	4,07232	2,03616
Составление схемы эксперимента	5,57	3,48	6,74842	4,21776
Экспериментальное исследование	4,46	3,72	5,40552	4,50864
Анализ и обработка полученных результатов	3,72	7,44	4,50864	9,01728
Оформление пояснительной записки к ВКР	-	14,40	0	17,4528
Подготовка к защите ВКР	1,9	6,48	2,35613	7,85376
Итого:	25,61	58,06	31,09023	70,36387

Таблица В – Линейный график работы

