

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
Формирование биоактивных покрытий методом реактивного ВЧ-магнетронного распыления гидроксиапатита в смеси различных рабочих газов

УДК 621.385.64:621.793:60:65.47

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОДМ91	Букал Владислав Романович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	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 Татьяна Григорьевна	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент Отделения общетехнических дисциплин ШБИП	Антоневич Ольга Алексеевна	к.б.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ Б.П. Вейнберга, ИЯТШ	Сиделёв Дмитрий Владимирович			

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код компетенции	Наименование компетенции
УК(У)-1	Способность осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, выработать стратегию действий
УК(У)-2	Способность управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
УК(У)-3	Способность организовывать и руководить работой команды, выработывая 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
_____ Сиделёв Д.В.
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

_____ магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
ОДМ91	Букал Владислав Романович

Тема работы:

Формирование биоактивных покрытий методом реактивного ВЧ-магнетронного распыления гидроксипатита в смеси различных рабочих газов	
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 <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Объект исследования: КФ покрытия, осажденные методом реактивного ВЧ магнетронного распыления ГАП в атмосфере газовых смесей Ne + N ₂ , Ar + N ₂ и Xe + N ₂ при равных объемных концентрациях. Целью данной работы является исследование скорости осаждения, морфологии, физико-химических свойств и смачиваемости КФ покрытий, сформированных методом реактивного ВЧ магнетронного распыления ГАП в атмосфере газовых смесей Ne + N ₂ , Ar + N ₂ и Xe + N ₂ .
--	---

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Анализ литературных источников по тематике исследования; 2. Предварительная механическая обработка титановых образцов; 3. Формирование КФ покрытий на поверхности полированных титановых (BT6) подложек (диаметр 10 мм, толщина 1 мм) методом реактивного ВЧ магнетронного распыления ГАП в атмосфере газовых смесей Ne + N₂, Ar + N₂ и Xe + N₂ при равных объемных концентрациях; 4. Исследование скорости осаждения, морфологии, физико-химических свойств и смачиваемости осажденных покрытий; 5. Описание полученных результатов и выводы о проделанной работе
--	--

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	Букал В.Р.		17.03.2021

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

Студенту:

Группа	ФИО
ОДМ91	Букал Владислав Романович

Школа	Инженерная школа ядерных технологий	Отделение школы (НОЦ)	НОЦ им. Вейнберга
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	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 и 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 рафика 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 Татьяна Григорьевна	к.э.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОДМ91	Букал Владислав Романович		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
ОДМ91	Букал Владислав Романович

Школа	Инженерная школа ядерных технологий	Отделение (НОЦ)	Научно-образовательный центр Б.П. Вейнберга
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	16.04.01 «Техническая физика»

Тема ВКР:

Формирование биоактивных покрытий методом реактивного ВЧ-магнетронного распыления гидроксипатита в смеси различных рабочих газов	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p>Объект исследования: методика формирования биоактивного покрытия из гидроксипатита методом магнетронного напыления в среде различных рабочих газов Область применения: биомедицина. Работы проводились в Томском политехническом университете, НОЦ Б.П. Вейнберга (лаборатория плазменных гибридных систем). Рабочие помещения расположены на цокольном этаже и имеют площадь от 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 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования; – ГОСТ Р 50923-96. Дисплеи. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения; – ГОСТ Р ИСО 9355-2-2009. Эргономические требования к проектированию дисплеев и механизмов управления. Часть 2. Дисплеи; – ПНД Ф 12.13.1-03. Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения).
<p>2. Производственная безопасность:</p> <p>2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов</p> <p>2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p>	<p>Вредные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> – повышенный уровень шума; – наличие электромагнитных полей радиочастотного диапазона;

	<p>– отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения;</p> <p>– отсутствие или недостаток необходимого естественного освещения.</p> <p>Опасные факторы:</p> <p>– подвижные части производственного оборудования;</p> <p>– наличие веществ, обладающих избирательной токсичностью на органы-мишени и (или) системы при многократном или продолжительном воздействии;</p> <p>– 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>Атмосфера: выброс рабочих газов.</p> <p>Гидросфера: попадание в воду производственных материалов.</p> <p>Литосфера: попадание в почву производственных материалов.</p>
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	<p>Возможные ЧС: затопление, землетрясения, короткое замыкание оборудования, выброс рабочих газов в атмосферу, возникновение пожара.</p> <p>Наиболее типичная ЧС: возникновение пожара.</p>

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОДМ91	Букал Владислав Романович		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 94 с, 8 рис., 17 табл., 50 источников, 2 прил.

Ключевые слова: биомедицина, гидроксипатит, кальцийфосфатные покрытия, ортопедические имплантаты, высокочастотное магнетронное распыление.

Объектом исследования является: кальцийфосфатные покрытия, осажденные методом реактивного высокочастотного магнетронного распыления гидроксипатита в атмосфере газовых смесей Ne + N₂, Ar + N₂ и Xe + N₂ при равных объемных концентрациях

Цель работы – исследование скорости осаждения, морфологии, физико-химических свойств и смачиваемости КФ покрытий, сформированных методом реактивного ВЧ магнетронного распыления ГАП в атмосфере газовых смесей Ne + N₂, Ar + N₂ и Xe + N₂.

В процессе исследования проводились эксперименты по осаждению кальций-фосфатных покрытий с помощью высокочастотного магнетронного распыления на полированные подложки из титана.

В результате проведенного исследования были получены кальций-фосфатные покрытия, исследованы их свойства и определены перспективы дальнейшего исследования данной темы.

Область применения: результаты проведенных исследований могут быть использованы для создания кальций-фосфатных покрытий на поверхности используемых в биомедицине имплантатов.

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.

Остеосинтез – процесс соединения и регенерации повреждённых костных структур.

Содержание

Введение	13
1 Литературный обзор.....	18
1.1 Биосовместимые имплантаты	18
1.2 Материалы на основе фосфата кальция.....	20
1.3 Гидроксиапатит.....	21
1.4 Эффект Пеннинга.....	21
1.5 Магнетронные распылительные системы	22
1.5.1. Движение заряженных частиц в скрещенных электрическом и магнитном полях	22
1.5.2. Принцип работы.....	23
1.6 ВЧ-магнетронное распыление.....	26
2 Материалы и методы.....	28
2.1 Предварительная подготовка образцов	28
2.2 Формирование покрытий.....	29
2.3 Методы исследования.....	30
3 Анализ результатов	31
3.1 Профилометрия	31
3.2 Атомно-силовая и сканирующая электронная микроскопия	31
3.3 Энергодисперсионная рентгеновская спектроскопия	32
3.4 Рентгеновская дифракция	33
3.5 Измерение смачиваемости методом лежащей капли	34
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение....	36
4.1 Организация и планирование работ.....	37
4.2 Продолжительность этапов работ.....	38
4.3 Расчет накопления готовности проекта	40
4.4 SWOT-анализ	41
4.5 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	43
4.6 Расчет сметы на выполнение проекта.....	44
4.7 Затраты на выполнение НТИ.....	45
4.7.1 Расчет затрат на материалы.....	45
4.7.2 Расчет амортизационных расходов.....	46
4.7.3 Расчет заработной платы	47
4.7.4 Расчет дополнительной заработной платы.....	48

4.7.5	Отчисления по внебюджетные фонды.....	49
4.7.6	Контрагентные расходы	49
4.7.7	Накладные расходы	50
4.7.8	Расчет общей себестоимости разработки	50
4.8	Реестр рисков проекта	51
4.9	Оценка сравнительной эффективности исследования.....	52
	Выводы по Главе 4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	54
5	Социальная ответственность	56
5.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	57
5.2	Производственная безопасность.....	59
5.2.1	Анализ опасных и вредных производственных факторов	60
5.3	Экологическая безопасность.....	72
5.4	Безопасность в чрезвычайных ситуациях	73
	Выводы по Главе 5 Социальная ответственность	76
	Заключение	77
	Список использованной литературы.....	78
	Приложение I.....	83
	1 Literary review	84
	1.1 Biocompatible implants.....	84
	1.2 Calcium phosphate materials	86
	1.3 Hydroxyapatite.....	86
	1.4 Penning Effect.....	87
	1.5 Magnetron spray systems	87
	1.5.1. The movement of charged particles in crossed electric and magnetic fields	88
	1.5.2. Principle of operation	89
	1.6 RF-magnetron sputtering.....	92
	Приложение II	93

Введение

Рост глобального населения, средней продолжительности жизни человека и количества автотранспорта, а также отсутствие значительного прогресса в борьбе с бытовым травматизмом обуславливает актуальность развития имплантологии. Одной из наиболее актуальных проблем данного научного направления является дефицит современных материалов медицинского назначения. В свою очередь, это привело к отсутствию прогресса в скорости сращивания переломов за последнее столетие. Согласно мировым стандартам, срок удлинения кости на 1 см при помощи аппарата Илизарова составляет от 45 до 65 дней [1–6], что приводит к развитию осложнений и инвалидизации пациентов в 6-30% случаях.

В медицинском материаловедении для изготовления костных имплантатов широко используются металлы и их сплавы в качестве конструкционной основы имплантатов. Свое распространение они получили благодаря хорошим механическим свойствам: их твердость и модуль Юнга достаточны для выполнения функций замещаемой костной ткани и не являются избыточными, что, в противном случае, привело бы к травматизму прилегающей кости. Существенными недостатками данного класса материалов являются недостаточная биосовместимость, а также возможная коррозия материала. Недостаточная биосовместимость имплантата приводит к снижению качества и повышению сроков интеграции изделия в организм. Высока вероятность возникновения осложнений, являющимися показанием к повторной операции и извлечению изделия. Коррозия медицинского имплантата приводит к выходу её продуктов, содержащих ионы металлов, с поверхности изделия в ткани организма, провоцируя возникновение металлоза. Вокруг имплантата формируется капсула из фиброзной ткани, которая способствует его расшатыванию и воспалению тканей.

Решением данной проблемы является формирование различных кальций-фосфатных (КФ) покрытий на поверхности металлических имплантатов. С их

помощью удастся сочетать оптимальные механические свойства металлов с биосовместимостью и биоактивностью КФ керамики. Близость химического состава КФ материалов к составу костной ткани обеспечивает качественную и быструю интеграцию имплантата в организм.

Существует множество методов формирования КФ покрытий на поверхность имплантатов: плазменное напыление, микродуговое окисление, магнетронное распыление и др. Однако, несмотря на достаточное долгое развитие данных методов, изготавливаемые с их помощью материалы обладают как преимуществами, так и недостатками. Не существует искусственного имплантата, в полной мере воспроизводящего свойства природной костной ткани. Кроме того, не существует единого списка требований к свойствам изготавливаемых имплантатов ввиду различной локализации дефектов кости. К примеру, чем ниже локализован дефект, тем большей механической нагрузке будет подвержен имплантат, поскольку, когда человек принимает вертикальное положение, масса всех частей тела выше дефекта распределяется на него. При изготовлении имплантатов для восстановления костей ног требования к их прочностным свойствам, а также к адгезии осажденных на них покрытий значительно строже, чем при проектировании имплантатов, замещающих кости рук.

Ограниченность технологических возможностей, а также отсутствие единого списка требований к имплантатам обуславливает необходимость разработки и внедрения в производство материалов с как можно более широким спектром свойств. Для формирования гладких беспористых тонкопленочных КФ покрытий толщиной до единиц микрон используется технология высокочастотного магнетронного распыления. Преимуществами данного метода являются приблизительное соответствие элементного состава осаждаемых покрытий составу распыляемой мишени; низкая температурная нагрузка на подложки; безинерционность процесса напыления; широкий спектр материалов, используемых в качестве подложки и др. Существенным недостатком данного процесса является низкая скорость осаждения покрытий.

Формирование КФ покрытий методом высокочастотного магнетронного распыления активно развивается с 70-х годов прошлого века, однако сохраняет актуальность и по сей день. В настоящее время активно исследуются композитные КФ покрытия, формируемые в том числе и высокочастотным магнетронным распылением [7–9]. Также публикуется множество научных работ по формированию КФ покрытий с различными примесными элементами и замещениями [10–12].

Наиболее распространенным КФ материалом, используемым в качестве распыляемой мишени, является гидроксиапатит (ГАП, $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$). Данное вещество преобладает в составе минеральной части человеческой кости. По сравнению с другими КФ материалами, он сочетает высокую биоактивность при сохранении стабильности в телесной жидкости, что обеспечивает быструю и качественную остеоинтеграцию и снижает риск полного растворения покрытия.

Как сказано выше, формирование КФ покрытий с различными добавками является актуальным. В работе [13] исследовались КФ покрытия, осажденные реактивным ВЧ-магнетронным распылением ГАП в смеси аргона и азота при различных объемных концентрациях. Методом XPS было установлено, что осаждаемые в азот-содержащей атмосфере КФ покрытия характеризуются наличием примеси оксида азота (NO), причем ее концентрация возрастает по мере увеличения объемной доли азота в камере. Проведенные ранее еще не опубликованные биологические исследования показали, что наилучшей жизнеспособностью клеток, культивированных на поверхности NO-содержащих КФ покрытий, характеризуется покрытие, осажденное при равных объемных концентрациях аргона и азота. В данной работе КФ покрытие, осажденное реактивным ВЧ-магнетронным распылением ГАП при равных объемных концентрациях аргона и азота, рассматривалось как контрольная группа.

В работе [14] описано исследование биологических свойств КФ покрытий, осажденных в атмосфере Ne, Ar, Kr и Xe. Было установлено, что наилучшей жизнеспособностью культивированных на поверхности образцов клеток характеризуются покрытия, сформированные в атмосфере Xe. Ввиду того, что

использование азота в качестве реактивной примеси к аргону оказало благотворный эффект на свойства осажденных покрытий, предполагается, что сформированные в смеси ксенона и азота КФ покрытия будут обладать наилучшими морфологическими и физико-химическими свойствами.

Для определения зависимостей, возникающих при изменении атомной массы инертного газа при осаждении КФ покрытий в смесях инертный газ/азот, в качестве третьей точки была выбрана смесь неона и азота. Свойства покрытий, осаждаемых в такой среде, также представляют научный интерес, поскольку в работе [15] утверждается, что возникающий в процессе реактивного магнетронного распыления мишени из углерода эффект Пеннинга ярко выражен при таком сочетании газов.

Таким образом, **объектом** данного исследования являются КФ покрытия, осажденные методом реактивного ВЧ магнетронного распыления ГАП в атмосфере газовых смесей $Ne + N_2$, $Ar + N_2$ и $Xe + N_2$ при равных объемных концентрациях. Выбор концентраций каждого из газов обусловлен результатами биологических исследований покрытий, осажденных в смеси $Ar + N_2$, которые показали, что при увеличении концентрации азота в камере покрытия начинают проявлять цитотоксичные свойства.

Целью данной работы является исследование скорости осаждения, морфологии, физико-химических свойств и смачиваемости КФ покрытий, сформированных методом реактивного ВЧ магнетронного распыления ГАП в атмосфере газовых смесей $Ne + N_2$, $Ar + N_2$ и $Xe + N_2$.

В ходе работы были поставлены следующие **задачи**:

1. провести анализ литературных источников по тематике исследования;
2. провести предварительную механическую обработку титановых образцов;
3. сформировать КФ покрытия на поверхности полированных титановых (ВТ6) подложек (диаметр 10 мм, толщина 1 мм) методом реактивного

ВЧ магнетронного распыления ГАП в атмосфере газовых смесей Ne + N₂, Ar + N₂ и Хе + N₂ при равных объемных концентрациях;

4. провести исследование скорости осаждения, морфологии, физико-химических свойств и смачиваемости осажденных покрытий;

5. описать полученные результаты и сделать выводы о проделанной работе.

Выносимое на защиту научное положение: Применяя рабочие газы с различной атомной массой, возможно влиять на соотношение Са/Р получаемых кальций-фосфатных покрытий и тем самым создавать протезы с заданными характеристиками.

1 Литературный обзор

1.1 Биосовместимые имплантаты

При лечении переломов давно применяется методика внутренней и внешней фиксации кости, что позволяет достичь хорошей регенерации сломанной кости. Однако, сроки лечения совершенно не удовлетворяют потребностям. По этой причине постоянно продолжаются поиски методик, которые могли бы обеспечить хороший остеогенез и позволяли бы проводить процесс лечения в как можно меньшие сроки. По этой причине ведётся активное исследование аутотрансплантатов костной ткани, а также разного рода изделий с повышенной биоактивностью (биокомпозиционные матриксы, декальцинированная кость, керамика). Кроме того, проводятся активные исследования в области клеточных технологий.

В настоящее время проводится всё больше исследований, основной направленностью которых является создание материалов, которые могут заменить ткани человеческого организма (костная и мышечная ткань, кровеносные сосуды, нервные волокна, кожные покровы). Данным материалам было дано название «биоматериалы». Они создают с биологическими системами границу, что позволяет проводить лечение, наращивание или замену тканей и органов человека. Развитие эндопротезирования крупных суставов способствует хорошим результатам при лечении костно-мышечной системы.

У используемых биоматериалов должны наблюдаться определённые химические свойства, они не должны реагировать с межтканевой жидкостью и самими тканями, а также не должны подвергаться коррозии. Кроме того, они должны обладать хорошими механическими свойствами, к которым относятся прочность, износостойкость, устойчивость к формированию трещин, сопротивление разрушению. Они должны способствовать остеогенезу и консолидации костной ткани, но при этом не вызывать негативной реакции у иммунной системы.

Существующие биоактивные материалы, которые используются как

фиксаторы сломанных костей и заменяющие участки кости импланты, подразделяются по влиянию на регенеративную способность организма на:

- биотолерантные материалы (например, кобальтохромовые сплавы и нержавеющая сталь) – происходит отделение имплантата от кости слоем фиброзной ткани, восстановление костных тканей происходит в обычные сроки и на некотором отдалении от имплантата (происходит дистантный остеогенез);

- биоинертные материалы (оксиды алюминия и титана) – фиброзная ткань не образуется, процесс остеогенеза происходит при непосредственном контакте с поверхностью имплантата, консолидация характеризуется обычными сроками;

- биоактивные материалы (керамика из кальций-фосфата, биостекло на основе кремния) – происходит формирование химической связи с костью (происходит связующий остеогенез), усиление реакции формирования костной ткани с началом у поверхности имплантата, образуется непрерывная связь от ткани к поверхности имплантата.

Металлические имплантаты нашли широкое распространение при восстановлении дефектов структуры костной ткани. Например, легированные стали часто используют для создания замены повреждённых костных участков или для обеспечения условий восстановления сломанной кости, так как они способны сохранять свои механические и функциональные свойства в течении длительного времени.

Применяемый в имплантации материал должен сохранять со временем свою биосовместимость, а также химические и физические свойства. Применяемые в медицине металлы по степени действия на организм подразделяются на следующие группы:

- токсичные (такие как хром, никель, кобальт, ванадий);
- промежуточные (такие как золото, железо, алюминий);
- инертные (такие как цирконий, титан).

Анализ электрохимических реакций показал, что для имплантатов можно использовать благородные металлы (поверхность является чисто

металлической), либо же металлы, которые покрыты защитным слоем оксидов (такие как Ti, Ta, Nb, Cr, Zr).

По степени влияния на процесс остеогенеза все существующие металлы можно отнести к биотолерантным (к примеру – нержавеющая сталь и кобальтохромовые сплавы) и к биоинертным (такие как оксиды титана и алюминия). Металлов, которые являлись бы биоактивными и положительно влияли на остеогенез, не существует [16].

1.2 Материалы на основе фосфата кальция

Одним из распространённых направлений применения фосфата кальция является формирование биоактивной керамики. Керамическая структура данных материалов позволяет удовлетворять практически все необходимые для их применения в создании имплантатов требования. Биокерамика имеет композитный состав, в который входят вещества естественного происхождения. Она нашла активное применение в качестве наполнителя, позволяет задерживать лекарственные вещества в организме и широко применяется вместе с костными имплантатами.

Придание улучшенных остеоиндуктивных свойств материалам из биокерамики является перспективным направлением исследования современного медицинского материаловедения. Большая часть этой биокерамики основывается на следующих веществах: сульфат и трикальцийфосфат кальция, октокальцийфосфат и представляющий для нас наибольший интерес гидроксиапатит. Эти материалы стали основой для создания многих видов композитных биоматериалов.

Применяемые в биомедицине кальцийфосфатные материалы гидроксиапатит и трикальцийфосфат имеют свойства, которые похожи на таковые у минеральных компонентов кости человека, что обусловило их широкое применение в данной области и позволило снизить потребность медицины в аутотрансплантатах [17].

При продолжительном нахождении в биологической системе происходит

распад синтетических гидроксиапатита и трикальцийфосфата. Причиной этого является метаболизм клеток организма. В результате данного распада происходит образование ионов кальция и фосфора, которые в дальнейшем включаются в структуру образующейся костной ткани.

1.3 Гидроксиапатит

Гидроксиапатит представляет из себя основной неорганический компонент, входящий в состав костной ткани, а также зубной эмали. Его хорошая биосовместимость с человеческим организмом обусловила его широкое применение в таких областях медицины как ортопедия, травматология, стоматология. Данный материал широко применяется с целью замещения костных дефектов и формирования биоактивных покрытий на самых различных видах медицинских изделий.

По своей структуре гидроксиапатит является порошком, способность к растворению которого обратно зависит от температуры [18-19]. Кроме того, он электронейтрален, устойчив и имеет стабильную ионную решётку.

Гидроксиапатит отличается нестехиометричностью состава, что является одним из его отличительных свойств. Эта нестехиометричность выражается в том, что отношение Ca/P в его составе может меняться в пределах от 1,5 до 1,67, она позволяет проводить катионные и ионные замещения в решётке гидроксиапатита [20].

Для создания замещений используют катионы магния, натрия, а также некоторые виды анионов. Результатом введения ионных замещений в структуру гидроксиапатита является искажение его кристаллической решётки, что влияет на его свойства, повышая его биорезорбируемость и растворимость. При использовании фтора происходит рост термодинамической устойчивости, что приводит к снижению резорбируемости такого гидроксиапатита в организме.

1.4 Эффект Пеннинга

Умножение электронов в газовых детекторах иногда намного превышает

усиление, вычисленное с использованием одних только коэффициентов Таунсенда. Это особенно характерно для случая, когда газ с низким потенциалом ионизации добавляется к газу с возбужденными состояниями с более высокой энергией.

Дополнительное усиление объясняется преобразованием энергии возбуждения в ионизацию. Хотя сечение ионизации часто превышает сечение возбуждения, возбуждения возникают в большом количестве из-за их более низкого энергетического порога. Рост усиления назван «эффектом Пеннинга» в честь Франса Мишеля Пеннинга, который с 1924 года работал в исследовательских лабораториях Philips (Эйндховен) над газовыми разрядами и отметил, что потенциал разряда в смесях неона, аргона и ртути ниже, чем в чистых благородных газах. Он объяснил эффект метастабильностями. Переходы Пеннинга имеют значительные последствия: эффект Джесси, пониженная работа выхода в смесях Пеннинга, являются результатом передачи энергии, а эффект Пеннинга также модифицирует фактор Фано в таких смесях [21].

1.5 Магнетронные распылительные системы

Магнетронные распылительные системы являются следствием развития диодных распылительных систем и являются их улучшенной версией. Отличием же является то, что в данной системе в прикатодной области прикладываются направленные перпендикулярно друг другу магнитное и электрическое поля.

1.5.1. Движение заряженных частиц в скрещенных электрическом и магнитном полях

В магнетронной распылительной системе существуют однородные и перпендикулярные друг другу магнитное B и электрическое E поля. Первое направлено от зрителя, второе – по вертикали, а также время t , направленное по горизонтали (рисунок 1.1).

В начальный момент времени заряженная частица (в данном случае электрон) находится в точке 0. Электрическое поле ускоряет данную частицу

вдоль оси E , в результате чего возрастёт её скорость и на неё начнёт действовать магнитное поле, так как сила его воздействия пропорциональна скорости частицы, поэтому частица начинает отклоняться от оси E .

В результате (описание приведено на рисунке 1.1), в момент t_1 , находясь в точке 1, электрон начнёт движение в сторону горизонтальной оси. Тормозясь на участке 1→2 в электрическом поле, электрон теряет свою скорость и в итоге она становится нулевой в момент t_2 при достижении горизонтальной оси в виде точки 2. Далее ускорение, торможение и отклонение повторяются на других участках пути частицы подобным образом.

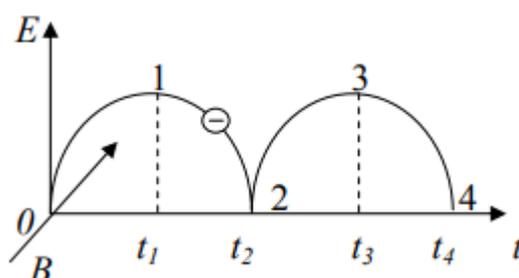


Рисунок 1.1 – Рассмотрение движения электрона в перпендикулярных друг другу магнитном и электрическом полях

Итак, траектория движения рассматриваемой частицы представляет собой периодически повторяющиеся подобные друг другу фазы, напоминающие арку, и называется циклоида. Величина магнитного поля достаточно велика, чтобы электроны оказались в ловушке, но недостаточна, чтобы значительно влиять на траектории движения ионов, поэтому мы можем говорить, что ионы двигаются по траекториям, определяемым их взаимодействиями с материалом мишени и частицами возникающей плазмы [22].

1.5.2. Принцип работы

В предшествующей магнетронной диодной системе поддержание разряда происходит за счёт вторичных электронов, которые эмитируются с поверхности катода в результате его бомбардировки. Испускаемые электроны ускоряются перпендикулярным катоду электрическим полем и, после прохождения положительного столба разряда, попадают на анод и в итоге захватываются им.

Если же перпендикулярно электрическому полю наложить и магнитное поле, параллельное катоду, то траектории испускаемых электронов превратятся в циклоиды. Вылетающие электроны теряют возможность двигаться в чётко перпендикулярном направлении в сторону анода и оказываются в как бы ловушке, являющейся результатом воздействия магнитного поля. После пары ионизационных столкновений электронов с атомами рабочего газа (в результате чего происходит потеря их энергии) подобное движение электронов у поверхности прекращается. Кроме того, потеря большей части энергии данных электронов происходит вблизи поверхности катода (тратится на ионизацию), где появляется повышенная концентрация положительных ионов.

При бомбардировке поверхности катода этими ионами происходит его распыление. Локализация плазмы происходит у катодной поверхности, из-за этого значения плотности для ионного тока довольно высоки и больше таковых у диодных систем на более чем два порядка. Удельная мощность, которая рассеивается на мишени, также велика. Снижения загрязнения покрытий во время процесса распыления происходит по причине роста скорости распыления и падения рабочего давления. Локализация электронов происходит именно у мишени, а не подложки, что позволяет нейтрализовать негативный эффект нагрева подложки и снизить величину возникающих в наносимых покрытиях радиационных дефектов. Нанесение покрытий с помощью магнетрона связано со следующими плюсами - высокая скорость создания покрытий и равномерность этих покрытий по толщине [23].

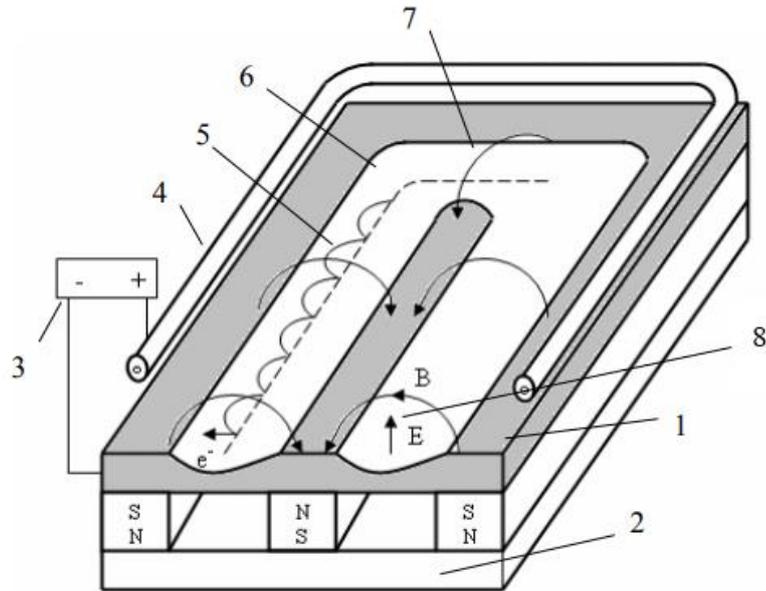


Рисунок 1.2 – Магнетронная распылительная система с катодом плоской формы. Где: 1- катод (мишень), 2 – система магнитов, 3 – система питания установки, 4 – анод, 5 – траектории, по которой происходит движение электронов, 6 – зона, в которой происходит распыление, 7 – обозначение силовой линии магнитного поля, 8 – обозначение силовой линии электрического поля [22]

Распылённые атомы движутся в сторону подложки и в конечном итоге осаждаются на неё.

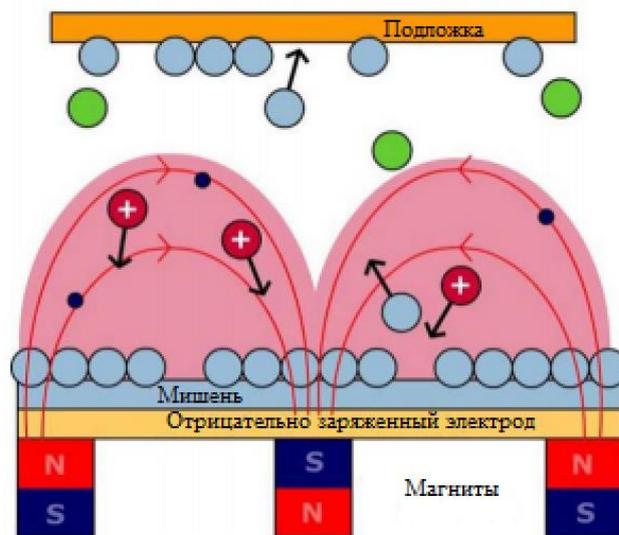


Рисунок 1.3 – Общая схема осаждения распылённых атомов на мишени на подложке [24]

Типичная система магнетронного распыления включает в себя: мишень (являющейся в системе катодом), магнит и магнитопровод (образуют магнитную систему), анод, электростатический экран и систему подачи воды (для обеспечения охлаждения).

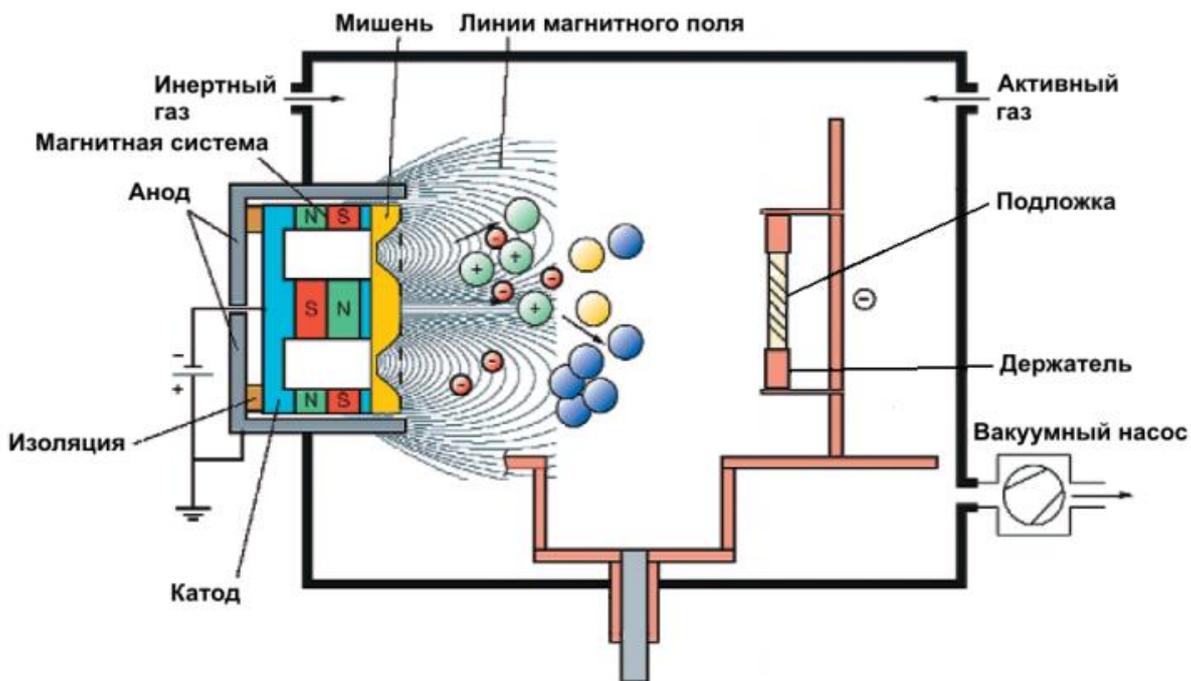


Рисунок 1.4 – Общая схема магнетронной распылительной системы [25]

Как уже было сказано, магнитная система в установках данного типа позволяет формировать магнитное поле над поверхностью катода, которое будет иметь форму арки. Используются как варианты с постоянным магнитом, так и с электромагнитом. Анодом служат стенки вакуумной камеры, а если необходимо – отдельный анод. Защитный экран не даёт зажигаться разряду на боковых поверхностях магнитопровода, а также, если необходимо – катодного узла.

1.6 ВЧ-магнетронное распыление

В отличие от постоянного, для переменного тока присутствие диэлектрика в цепи не препятствие, переменный ток протекает через электроды и при отсутствии разряда. Это позволяет распылять как проводники, так и диэлектрические мишени.

В случае низких частот мы имеем последовательность кратковременных разрядов постоянного тока с чередующейся полярностью напряжения, так как длительности каждого полупериода достаточно для полного установления разряда. Таким образом, разряд на переменном токе низкой частоты не отличается от разряда на постоянном токе в том смысле, что для его поддержания также необходимы вторичные электроны, эмитируемые электродами, и что при уменьшении давления газа он погаснет при том же его значении $p_{мин}$, что и соответствующий ему разряд на постоянном токе.

Начиная с частот 50 кГц и выше, $p_{мин}$ постепенно снижается с ростом частоты. Можно понять, что разряд в этом случае пополняется электронами помимо вторичной электронной эмиссии из электродов. Генерация дополнительных электронов в высокочастотном разряде происходит потому, что электроны, колеблющиеся в ВЧ поле, могут приобрести энергию, достаточную для ионизации объема газа.

Высокочастотным называют диапазон примерно от 1 до 100 МГц. Этот диапазон используется в радиовещании и для радиосвязи. Согласно международному соглашению, чтобы исключить радиопомехи, для мощных лабораторных и промышленных установок выделили несколько узких 35 частотных интервалов. Для магнетронных распылительных систем чаще всего употребляется частота $f = 13,56$ МГц, которой соответствует длина волны $\lambda = 22$ м [26].

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Введение

В настоящее время разработки определяются не только параметром эффективности и наукоёмкости, но также и их финансовой выгодностью, ведь даже самая передовая разработка нежизнеспособна, если не является конкурентной и не способна приносить выгоду.

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» задачей ставится проведение проектирования и создание конкурентоспособных решений, соответствующим современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения. Требуется провести анализ конкурентоспособности, составить план работ, а также рассчитать затраты, сопровождающие проведение исследовательских работ.

4.1 Организация и планирование работ

Исследовательские работы производятся группой, сформированной из двух человек, в которую входят студент магистрант в должности инженера (И) и его научный руководитель (НР). Порядок проведения работ и распределения обязанностей приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Проводимые работы и распределение обязанностей

Этапы работ	Вид работ	Должность исполнителя	Загрузка исполнителя
Проработка технического задания	Планирование и оформление технического задания	И, НР	И – 10% НР – 100%
		И, НР	И – 100% НР – 30%
Определение направления исследования и проведение эксперимента	Поиск и изучение материалов по теме	И, НР	И – 100% НР – 30%
	Календарное планирование работ по теме	И, НР	И – 60% НР – 100%
	Согласование схемы эксперимента	И, НР	И – 60% НР – 100%
	Проведение исследования	И, НР	И – 100% НР – 30%
Анализ результатов и подведение итогов	Обработка и анализ полученных данных	И, НР	И – 100% НР – 40%
	Написание пояснительной записки к ВКР	И	И – 100%
	Подготовка к защите	И, НР	И – 100% НР – 30%

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.

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

$$t_{ож} = \frac{t_{min} + 4t_{prob} + t_{max}}{6} \quad (4.2)$$

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 4.1 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:

$$T_{РД} = \frac{t_{ож}}{K_{ВН}} \cdot K_{Д}, \quad (4.3)$$

$t_{ож}$ – 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:

$$T_{КД} = T_{РД} * T_{К} \quad (4.4)$$

$T_{КД}$ – 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

$$T_{К} = \frac{T_{КАЛ}}{T_{КАЛ} - T_{ВД} - T_{ПД}} \quad (4.5)$$

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

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

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

$$T_{\text{К}} = \frac{365}{365 - 52 - 10} = 1,205$$

В таблице 4.2 приведен пример определения продолжительности этапов работ и их трудоемкости по исполнителям, занятым на каждом этапе. В столбцах (3–5) реализован экспертный способ по формуле 4.1, при использовании формулы 4.2 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 $K_{\text{Д}} = 1,2$. Каждое из них в отдельности не может превышать соответствующее значение $t_{\text{ож}} \cdot K_{\text{Д}}$. Столбцы 8 и 9 содержат те же трудоемкости, выраженные в календарных днях путем дополнительного умножения на $T_{\text{К}}$ (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 $T_{\text{КД}}$ (данные столбцов 8 и 9 кроме итогов) позволяют построить линейный график осуществления проекта – см. пример в приложении II Б.

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:

– $TR_{\text{общ}}$ – 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 4.6

$$CG_i = \frac{TP_i^H}{TP_{\text{общ}}} = \frac{\sum_{k=1}^i TP_k}{TP_{\text{общ}}} = \frac{\sum_{k=1}^i \sum_{j=1}^m TP_{km}}{\sum_{k=1}^I \sum_{j=1}^m TP_{km}} \quad (4.6)$$

Применительно к таблице 4.2 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 4.4.

Таблица 4.4 – Нарастание технической готовности работы и удельный вес каждого этапа

Этап	TP_i , %	CG_i , %
Планирование и оформление технического задания	4,466357	4,466357
Поиск и изучение материалов по теме	22,62181	27,08817
Календарное планирование работ по теме	4,176334	31,2645
Согласование схемы эксперимента	13,45708	44,72158
Проведение исследования	6,409513	51,13109
Обработка и анализ полученных данных	14,61717	65,74826
Написание пояснительной записки к ВКР	20,30162	86,04988
Подготовка к защите	13,95012	100

4.4 SWOT-анализ

SWOT-анализ (от английского Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats; на русском соответственно сильные, слабые стороны, возможности и угрозы) применяют для комплексного анализа научного проекта с целью исследовать внешнюю и внутреннюю среду проекта. В таблице 4.5 представлены результаты проведения SWOT-анализа.

Таблица 4.5 – SWOT матрица.

	Сильные стороны проекта Сил1. Изготовление образцов в несколько этапов. Сил2. Малое термическое воздействие на подложки. Сил3. Высокая биосовместимость покрытий.	Слабые стороны проекта Слаб1. Стоимость компонентных материалов. Слаб2. Ограниченность данных по теме исследования. Слаб3. Внедрение технологии требует проведения долгих клинических испытаний.
Возможности: В1. Возможность влиять на свойства покрытий. В2. Возможность промышленного изготовления изделий. В3. Возможность повышать биосовместимость известными методами.	<ul style="list-style-type: none"> – Разработка высококачественных и конкурентноспособных изделий; – Отладка процесса полномасштабного промышленного производства. 	<ul style="list-style-type: none"> – Минимизация лишних расходов; – Поиск более дешёвых аналогов используемым материалам.
Угрозы: У1. Остановка производства из-за причин природного характера. У2. Ошибки персонала при производстве. У3. Нарушение технологии, приводящее к порче изделий. У4. Проблемы с финансированием.	<ul style="list-style-type: none"> – Принятие мер по максимизированию прибыли при начале промышленного производства; – Тщательный отбор персонала и контроль знаний; – Изготовлений изделий в одном хорошо защищённом от воздействия стихии месте. 	<ul style="list-style-type: none"> – Тщательный выбор и учёт используемых материалов; – Повышение технической грамотности персонала; – Отработка технологии в целях исключения отклонения параметров процесса производства от требуемых.

SWOT-анализ показывает, что основные угрозы проекту представляют возможные финансовые проблемы при начале отладки производства, а также возможность порчи изделий при нарушении технологии производства. С целью борьбы с данными угрозами предлагается проводить поиск более дешёвых материалов, которые при этом не привели к значительному снижению качества продукции, кроме того, требуется грамотное управление финансами для минимизирования затрат. Для борьбы с производственным браком возможно применить более тщательную отладку технологии, а также отнестись с повышенным вниманием к степени владения персоналом элементами технического процесса.

4.5 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Благодаря получаемым свойствам покрытий технология является конкурентноспособной и может применяться для изготовления медицинских имплантатов. К преимуществам разработки относится возможность влиять на отношение Ca/P в покрытии, хорошие адгезионные и антикоррозионные свойства.

Для оценки перспективности разработки была составлена оценочная карта, представленная таблицей 4.6.

Таблица 4.6 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений.

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Б _ф	Б _{к1}	К _ф	К _{к1}
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
1. Влияние на отношение Ca/P	0,20	5	4	1	0,8
2. Защита от коррозии	0,10	5	4	0,5	0,4
3. Адгезионные свойства	0,15	5	4	0,75	0,6
4. Хорошие показатели смачиваемости	0,15	5	4	0,75	0,6
Экономические критерии оценки эффективности					
1. Конкурентоспособность	0,10	4	3	0,4	0,3
2. Цена	0,15	4	3	0,6	0,45
3. Срок эксплуатации	0,15	5	4	0,75	0,6
Итого	1	33	26	4,75	3,75

В данной таблице Б_ф – это баллы исследуемого кальций-фосфатного покрытия. Б_{к1} – это баллы конкурирующего покрытия, полученного стандартным методом. К_ф и К_{к1} – конкурентоспособность разработки

исследуемого и обычного покрытия.

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в таблице 4.6, 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:

$$K = \sum V_i \cdot B_i, \quad (4.7)$$

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 НИИ

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

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

- Материальные затраты НИИ;
- 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:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum \Pi_i \cdot N_{расх\ i} \quad (4.8)$$

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.);

Π_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.

Таблица 4.7 – Расчет затрат на материалы

Наименование	Цена за ед., руб.	Количество	Сумма, руб
Офисная бумага, упак. 500 листов	360	1	360
Тетрадь общая, 48 л.	50	2	100
Ручка шариковая	60	3	180
Итого			640
Итого с учётом ТЗР (15%)			736

4.7.2 Расчет амортизационных расходов

Расчёт амортизации используемого оборудования за время выполнения проекта определяется по следующей формуле:

$$C_{AM} = \frac{H_A \cdot t_{OB} \cdot C_{OB} \cdot n}{F_D} \quad (4.9)$$

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_{OB} – фактическое время работы оборудования в ходе выполнения проекта, учитывается исполнителем проекта;

n – число задействованных однотипных единиц оборудования.

Полагается, что для ПК 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:

$$H_A = \frac{1}{\text{СПИ}} = \frac{1}{2,5} = 0,4 \quad (4.10)$$

где СПИ – срок полезного использования в годах.

Для магнетронной установки H_A составляет:

$$H_A = \frac{1}{\text{СПИ}} = \frac{1}{10} = 0,1 \quad (4.11)$$

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.

4.7.3 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:

$$ЗП_{\text{дн-т}} = \frac{МО}{25,083} \quad (4.12)$$

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

Пример расчета затрат на полную заработную плату приведены в таблице 4.8 Затраты времени по каждому исполнителю в рабочих днях с округлением до

целого взяты из таблицы 4.2. Для учета в ее составе премий, дополнительной зарплаты и районной надбавки используется следующий ряд коэффициентов: $k_{пр} = 0,3$; $k_{д} = 0,24$; $k_{р} = 1,3$.

Таблица 4.8 – Затраты на заработную плату

Исполнители	$Z_б$, руб.	$k_{пр}$	$k_{д}$	$k_{р}$	$Z_м$, руб	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	36174	0,3	0,24	1,3	72420,34	2887,22	25	72180,7
Инженер	17752	0,3	0,24	1,3	35539,5	1416,87	59	83595,69
Всего								155776,39

где $Z_б$ – базовый оклад, руб.;

$k_{пр}$ – премиальный коэффициент, (определяется Положением об оплате труда);

$k_{д}$ – коэффициент доплат и надбавок (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: определяется Положением об оплате труда);

$k_{р}$ – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Месячный должностной оклад работника рассчитывается как:

$$Z_м = Z_б \cdot (1 + k_{пр} + k_{д}) \cdot k_{р} \quad (4.13)$$

$$Z_{дн} = \frac{Z_м}{25,083} \quad (4.14)$$

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p \quad (4.15)$$

4.7.4 Расчет дополнительной заработной платы

Расчет дополнительной заработной платы ведется по формуле:

$$Z_{дон} = k_{дон} \cdot Z_{осн} \quad (4.16)$$

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

Результаты расчета приведены в таблице 4.9

Таблица 4.9 - Расчет дополнительной заработной платы исполнителей темы

Заработная плата	Руководитель	Инженер
Основная зарплата	72180,7	83595,69
Дополнительная зарплата	8661,685	10031,48
Зарплата исполнителя	80842,39	93627,17
Итого по статье $C_{зп}$	174469,6	

4.7.5 Отчисления по внебюджетные фонды

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется по формуле:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}) \quad (4.17)$$

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

На 2021 г. размер ставки страховых взносов равен 30% (22% - ПФР, 5,1% - ФОМС, 2,9% - ФСС). Тогда:

$$Z_{внеб} = 0,3 \cdot 174469,6 = 52340,87$$

4.7.6 Контрагентные расходы

Для изучения свойств полученных образцов проводились различного рода исследования, которые проводились на платной основе в других лабораториях.

Таблица 4.10 – Перечень проведенных исследований и их стоимость

№	Тип работ	Стоимость, руб.
1	Атомно-силовая микроскопия	10000
2	Профилометрия	10000
3	Фотоэлектронная спектроскопия	10000
4	Инфракрасная спектроскопия	10000
5	Сканирующая электронная микроскопия	20000
6	Тест на смачиваемость	10000
Итого		70000

4.7.7 Накладные расходы

Для обеспечения работы установки во время проведения исследования было израсходовано электричество объёмом 132 кВт (питание установки) и 14 тонн воды (охлаждение).

Установленная стоимость одного киловатта энергии – 5,8 руб. Таким образом, всего было затрачено 765,6 руб. на электричество. Стоимость 1 тонны воды – 26,44 руб. Всего лаборатория потратила на воду 370,16 руб.

Итого потрачено – 1135,75 р.

4.7.8 Расчет общей себестоимости разработки

После расчёта всех видов затрат на проект можно определить суммарные расхода на исследуемых проект.

Таблица 4.11 – Смета затрат на разработку проекта

Вид расходов	Стоимость, руб
Материальные затраты	736
Амортизация	18750
Затраты на персонал	174469,6

Продолжение таблицы 4.11

Страховые отчисления	52340,87
Контрагентные расходы	70000
Накладные расходы	1135,75
Итого	317432,22

Затраты на разработку составили $C = 317432,22$ рублей.

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. Информация по данному разделу сведена в таблицу.

Таблица 4.12 – Реестр рисков

№	Риск	Потенциальное воздействие	Вероятность наступления	Влияние риска	Уровень риска*	Способы смягчения риска	Условия наступления
1	плохая адгезия покрытий	коррозия имплантата, его разрушение и замена	1	4	низкий	правильная подготовка поверхности и следование технологии	нарушение технологии производства, плохая обработка поверхности
2	разрушение металлической части импланта	прекращение выполнения заложенной функции, установка нового имплантата	1	3	средний	соблюдение условий эксплуатации, тщательный выбор материала	нарушение условий эксплуатации, брак материала
3	отторжение имплантата	установка нового имплантата	1	5	средний	улучшение биосовместимости покрытий	недостаточная биосовместимость покрытий

Вышеуказанные риски крайне сильно влияют на процесс использования полученного продукта, тем не менее вероятность их наступления при соблюдении технологии производства и правильном использовании крайне мала.

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

$$I_{\phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\max}} \quad (4.18)$$

где I_{ϕ}^p – интегральный финансовый показатель разработки;

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

Φ_{\max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги). 261698,14

$$I_{\phi}^p = \frac{317432,22}{1000000} = 0,317$$

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:

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a, \quad I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i b_i^p \quad (4.19, 4.20)$$

где I_m – интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов; a_i – весовой коэффициент i -го параметра;

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

n – число параметров сравнения.

Таблица 4.13 – 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. Влияние на отношение Са/Р	0,30	5	1,5	4	1,2
2. Защита от коррозии	0,20	5	1,0	4	0,8
3. Адгезионные свойства	0,25	5	1,25	4	1,0
4. Хорошие показатели смачиваемости	0,25	4	1,0	4	1,0
ИТОГО	1	19	4,75	16	4,00

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

$$I_{финр}^p = \frac{I_m^p}{I_\phi^p}, \quad I_{финр}^a = \frac{I_m^a}{I_\phi^a} \quad (4.21, 4.22)$$

$$I_{финр}^p = \frac{I_m^p}{I_\phi^p} = \frac{4,75}{0,317} = 14,98; \quad I_{финр}^a = \frac{I_m^a}{I_\phi^a} = \frac{4,00}{1} = 4$$

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

Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{финр}^p}{I_{финр}^a} = \frac{14,98}{4} = 3,745 \quad (4.23)$$

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

Таблица 4.14 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

№ п/п	Показатели	Разработка	Аналог
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,317	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,75	4
3	Интегральный показатель эффективности	14,98	4
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	3,745	

Выводы по Главе 4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

При разработке раздела ВКР «финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» были получены результаты, позволяющие заключить целесообразность финансовых и человеческих

ресурсов в разработку проекта.

SWOT-анализ показал, что основными угрозами являются слабая финансовая сила проекта на начальном этапе и требующая особого внимания отладка технологического процесса.

В результате анализа затрат на разработку проекта можно заключить, что наибольшей статьёй расходов является выплата заработной платы работникам (основная - 155776,39 и 18693,16 руб., – дополнительная). Кроме того, большие расходы идут на контрагентные расходы (70000 руб.). Также к расходам относятся страховые взносы (52340,87 руб.). На расходные материальные расходы, амортизацию оборудования и накладные расходы уходит 736, 18750 и 1135,75 рублей соответственно. Общая сумма затрат на разработку - 317432,22. Запланированная продолжительность проекта – 59 дней.

5 Социальная ответственность

Введение

В настоящий момент нанесение биоактивных кальций-фосфатных покрытий является одним из наиболее актуальных направлений медицинского материаловедения. Данные покрытия широко применяются для создания биосовместимых имплантов, которые позволяют заменить потерявшие свою функциональность части организма человека, такие как кости и зубы. Меняя свойства покрытий, мы можем получать импланты, которые будут вести себя при установке в организм по-разному, поэтому поиск наиболее оптимальных видов покрытий представляет практический интерес.

Применяемый в данной работе метод ВЧ-магнетронного распыления для получения биосовместимых покрытий нашёл широкое применение, так как позволяет наносить покрытия с достаточной однородностью, позволяет производить распыление как металлических, так и диэлектрических мишеней, а также позволяет многостороннюю корректировку параметров для получения желаемого режима напыления. Однако процесс формирования покрытий происходит на установке, небрежное обращение с которой может привести к ситуации, представляющей опасность для жизни человека.

Цель данного раздела – рассмотрение безопасности и экологичности процесса получения кальций-фосфатных покрытий на установке УВН-74 методом магнетронного ВЧ напыления, расположенной в лаборатории плазменных гибридных систем НОЦ Б.П. Вейнберга ИЯТШ ТПУ. Рабочее помещение оборудовано искусственным освещением. Место оператора установки состоит из стола и расположенного на нём персонального компьютера, а также стула с регулируемым уровнем высоты и угла наклона спинки. Оператор работает преимущественно в положении сидя, повышенные физические нагрузки отсутствуют.

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Работники, которые допускаются к работе на установке УВН-74, обязаны соблюдать технику безопасности при работе с исследовательским оборудованием. При первом знакомстве с установкой проводится вводный инструктаж, затрагивающий темы безопасности проведения работ и эксплуатационных особенностей использования установки.

Для дальнейшей выдачи допуска к проведению работ ответственным лицом проводится процедура осуществления контроля знаний, по результатам которой решается возможность допуска работника к проведению рабочих операций.

Имя работника, успешно получившего допуск, заносится в общий список лиц, которым доверено проведение работ на исследовательском оборудовании.

Проведение работ согласуется с ответственным лицом, а при непосредственном начале работ производится запись в контрольный журнал, в котором ставится роспись работника и заполняется время пользования установкой и цель работ [29].

В силу специфики проводимых работ, рабочие часы не являются нормированными и могут варьироваться в зависимости от конкретной цели, однако их начало не может быть раньше 10 часов утра, а конец – не позже 5 часов вечера. Во время проведения работ работник имеет возможность воспользоваться перерывом, максимальная длительность которого до одного часа.

Для продуктивной работы требуется проведение рациональной планировки рабочего места, обеспечение чёткого порядка и постоянство размещения предметов, средств труда и документации. То, что требуется для выполнения работ наиболее часто, должно располагаться в зоне легкой досягаемости рабочего пространства, как показано на рисунке 5.1.

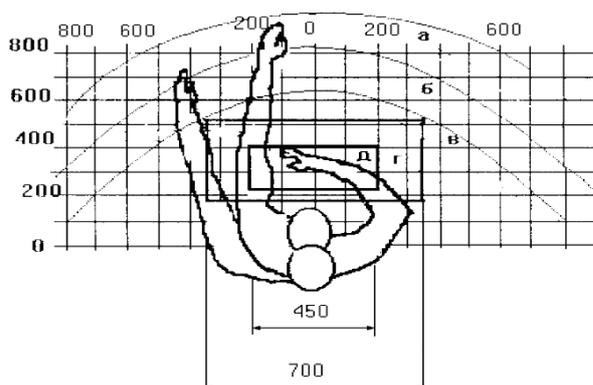


Рисунок 5.1 – Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости: а – зона максимальной досягаемости рук; б – зона досягаемости пальцев при вытянутой руке; в - зона легкой досягаемости ладони; г – оптимальное пространство для грубой ручной работы; д – оптимальное пространство для тонкой ручной работы.

Оптимальное размещение предметов труда и документации в зонах досягаемости рук: дисплей размещается в зоне а (в центре); клавиатура – в зоне г/д; системный блок размещается в зоне б (слева); принтер находится в зоне а (справа); документация – в зоне легкой досягаемости ладони – в (слева) – литература и документация, необходимая при работе; в выдвижных ящиках стола – литература, не используемая постоянно.

Монитор должен быть расположен на уровне глаз оператора на расстоянии 500-600 мм. Согласно нормам, угол наблюдения в горизонтальной плоскости должен быть не более 45 градусов к нормали экрана. Лучше если угол обзора будет составлять 30 градусов. Кроме того, должна быть возможность выбирать уровень контрастности и яркости изображения на экране.

Должна предусматриваться возможность регулирования экрана:

- по высоте +3 см;
- по наклону от 10 до 20 градусов относительно вертикали;
- в левом и правом направлениях [30].

Исполнение описанных выше требований позволяет достигнуть оптимального соотношения нагрузки на работника и продуктивности труда при работе с компьютерным оборудованием.

5.2 Производственная безопасность

Элементы всего производственного процесса, которые формируют вредные и опасные факторы при работе на установке УВН-74, а также регулирующие их нормативные документы [31–44], приведены в таблице 5.1. Полные названия документов приведены в списке литературы.

Таблица 5.1 Вредные и опасные факторы при работе на УВН-74

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Регулирующие факторы нормативные документы
Повышенный уровень шума	ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ СП 51.13330.2011
Наличие электромагнитных полей радиочастотного диапазона	ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ СанПиН 1.2.3685-21
Отсутствие или недостаток необходимого естественного освещения	СанПиН 1.2.3685-21 СП 52.13330.2016 СП 2.4.3648-20
Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения	ГОСТ Р 55710-2013 СанПиН 1.2.3685-21 СП 52.13330.2016 СП 2.4.3648-20
Подвижные части производственного оборудования	ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ
Наличие веществ, обладающих избирательной токсичностью на органы-мишени и (или) системы при многократном или продолжительном воздействии	ГОСТ Р 58477-2019 ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ

Продолжение таблицы 5.1

Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ
---	--

5.2.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

1. Повышенный уровень шума

Перед началом работы на установке производится откачка воздуха из камеры с помощью форвакуумного (предварительная) и высоковакуумного (установление рабочего давления) насосов. Данный процесс сопровождается повышением уровня шума. Кроме того, после установления нужного давления, источником шума становится и сама установка. Работа насосов сопровождается шумом, не превышающем 47 дБ, а в режиме ожидания – не более 42 дБ. Измеренные значения не превышают допустимое значение в 60 дБ, которое устанавливается для лабораторий, в которых проводится научный эксперимент [32].

Высокие уровни шума являются одним из агрессивных раздражителей центральной нервной системы, она способна вызвать её перенапряжение, а также постоянное напряжение слухового анализатора. Это вызывает увеличение порога слышимости (10 дБ для большинства людей с нормальным слухом) на 10-25 дБ. Постоянное воздействие сильного шума может не только отрицательно повлиять на слух, но и вызвать другие вредные последствия – звон в ушах, головокружение, головную боль, повышенную усталость [50], оно может стать причиной нервного истощения, психической угнетённости, вегетативного невроза, язвенной болезни, расстройства эндокринной и сердечно-сосудистой систем. Шум мешает рабочему процессу, снижает производительность труда [45].

Благодаря принятию мер по ограничению воздействия на персонал повышенного уровня шума помещение соответствует принятым нормам и может использоваться для проведения исследований. Конструкция установки не допускает возникновения шума, который превышает допустимые пределы, кроме того, для поддержания её работы используются насосы, обладающие пониженной генерацией шума.

2. Наличие электромагнитных полей радиочастотного диапазона

Как показали многочисленные исследования, отрицательное воздействие ЭМП на организм может быть как обратимым, так и необратимым. Среди них можно встретить даже изменения состава крови. Однако, чаще всего встречаются:

- головные боли;
- понижение или повышение общего кровяного давления;
- нарушение зрения;
- разрушение некоторых чувствительных групп клеток (например, нейроны в мозгу);
- утомляемость;
- раздражительность и т.д.

В данной работе для формирования кальций-фосфатных покрытий применяются скрещенные электрические и магнитные поля радиочастотного диапазона (13.56 МГц) [29].

В диапазоне частот 60 кГц-300 МГц интенсивность ЭМП характеризуется напряженностью электрического (E) и магнитного (H) полей, энергетическая нагрузка (ЭН) представляет собой произведение квадрата напряженности поля на время его воздействия. Энергетическая нагрузка, создаваемая электрическим полем, равна $ЭН_E = E^2 \cdot T$, магнитным – $ЭН_H = H^2 \cdot T$ [34].

Предельно допустимые значения E и H в диапазоне частот 60 кГц-300 МГц на рабочих местах персонала следует определять исходя из допустимой энергетической нагрузки и времени воздействия по формулам [34]:

$$E_{\text{ПД}} = \sqrt{\frac{\text{ЭН}_{E_{\text{ПД}}}}{T}} \quad (5.1)$$

$$H_{\text{ПД}} = \sqrt{\frac{\text{ЭН}_{H_{\text{ПД}}}}{T}} \quad (5.2)$$

где $E_{\text{ПД}}$ и $H_{\text{ПД}}$ – предельно допустимые значения напряженности электрического (В/м) и магнитного (А/м) поля;

T – время воздействия, ч;

$\text{ЭН}_{E_{\text{ПД}}}$ и $\text{ЭН}_{H_{\text{ПД}}}$ – предельно допустимые значения энергетической нагрузки в течение рабочего дня, $(\text{В/м})^2 \cdot \text{ч}$ и $(\text{А/м})^2 \cdot \text{ч}$.

Для используемых в установке электрических и магнитных полей радиочастотного диапазона (13.56 МГц) определены следующие максимальные значения: $E_{\text{ПД}} = 300 \text{ В/м}$, $\text{ЭН}_{E_{\text{ПД}}} = 7000 (\text{В/м})^2 \cdot \text{ч}$, $H_{\text{ПД}}$ и $\text{ЭН}_{H_{\text{ПД}}}$ для данного диапазона частот не регулируются [34].

Работник может подвергаться воздействию электромагнитного излучения от установки только во время самого процесса формирования покрытий, который длится не более трёх часов. Проверим предельно допустимые значения напряжённости электрического поля, учитывая это время:

$$E_{\text{ПД}} = \sqrt{\frac{\text{ЭН}_{E_{\text{ПД}}}}{T}} = \sqrt{\frac{7000}{3}} = 48,30 \text{ В/м} \quad (5.3)$$

При этом допустимое значение для данного диапазона частот равно 300 В/м [34].

После выхода на нормальный производственный режим наличие работника в непосредственной близости от установки не требуется. Учитывая это и тот факт, что источник излучений находится внутри самой установки, достаточным средством обеспечения безопасности и нейтрализации вредного воздействия будет защита расстоянием.

3. Отсутствие или недостаток необходимого естественного и искусственного освещения

Недостаточная освещённость помещения оказывает негативное воздействие на психическое состояние человека, вызывая чувство

подавленности, создавая гнетущее настроение и даже доводя до депрессии. Изменяются и физиологические процессы: излишне напрягается зрительный аппарат, ослабляется восприимчивость слухового центра, утомляется нервная система, замедляется работа мозга. Совокупность этих негативных факторов может приводить к возникновению профессиональных заболеваний, понижает производительность труда, повышает вероятность совершения ошибочных действий.

Установка магнетронного напыления находится на цокольном этаже без непосредственного доступа к естественным источникам освещения, работы на ней относятся к разряду зрительной работы VIII а [36]. Для обеспечения искусственного освещения в лаборатории используются люминесцентные лампы. Для данного типа помещения нормой освещённости установлено значение в 200 лк [36]. Замеры показывают, что используемое искусственное освещение позволяет получить на рабочих поверхностях данного помещения значение освещённости в 300 лк, что соответствует указанным нормам.

3.1 Расчет светильников и их размещение

Помещение, в котором находится исследовательская установка, имеет параметры, описанные в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Параметры рабочего помещения 018, 19-й корпус, лаборатория плазменных гибридных систем НОЦ Б.П. Вейнберга ИЯТШ ТПУ

Длина (A), м	Ширина (B), м	Высота (H), м	Высота рабочей поверхности над полом (h_{pn}), м
6,02	5,73	2,79	1,1

В помещении требуется обеспечить показатель освещённости от $E_H = 200$ лк, который соответствует типу помещения и характеру проводимых зрительных работ (грубая, очень малой точности).

Определим площадь помещения S :

$$S = A \cdot B = 6,02 \cdot 5,73 = 34,5 \text{ м}^2 \quad (5.4)$$

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

Проведём расчёт общего люминесцентного освещения, выбрав тип светильника ОД – 2-40 (количество ламп – 2, мощность каждой лампы – 40 Вт). Его длина равна $l_{св} = 1,23$ м, ширина = 0,266 м, а КПД = 75%.

Интегральный критерий оптимальности расположения светильников для люминесцентных ламп без защитной решётки типа ОД, ОДО равен $\lambda = 1,4$. Расстояние светильников от перекрытия (свес) $h_c = 0$ м.

Определим расчётную высоту светильника над рабочей поверхностью:

$$h = H - h_c - h_{pn} = 2,79 - 0 - 1,1 = 1,69 \text{ м} \quad (5.5)$$

Определим расстояние между соседними светильниками или рядами светильников L :

$$L = \lambda \cdot h = 1,4 \cdot 1,69 = 2,37 \text{ м} \quad (5.6)$$

Расстояние от крайнего ряда светильников до стены:

$$\frac{L}{3} = \frac{2,366}{3} \approx 0,79 \text{ м} \quad (5.7)$$

Определим число рядов светильников $n_{ряд}$ в помещении и количество светильников в ряду $n_{св}$:

$$n_{ряд} = \frac{(B - \frac{2}{3}L)}{L} + 1 = \frac{(5,73 - \frac{2}{3} \cdot 2,37)}{2,37} + 1 \approx 2 \quad (5.8)$$

$$n_{св} = \frac{(A - \frac{2}{3}L)}{l_{св} + 0,5} = \frac{(6,02 - \frac{2}{3} \cdot 2,37)}{1,23 + 0,5} \approx 2 \quad (5.9)$$

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 1,98 м. На рисунке 5.2 изображен план помещения и размещения в нём светильников. Учитывая, что в каждом светильнике установлено две лампы, общее число ламп в помещении $N_l = 8$.

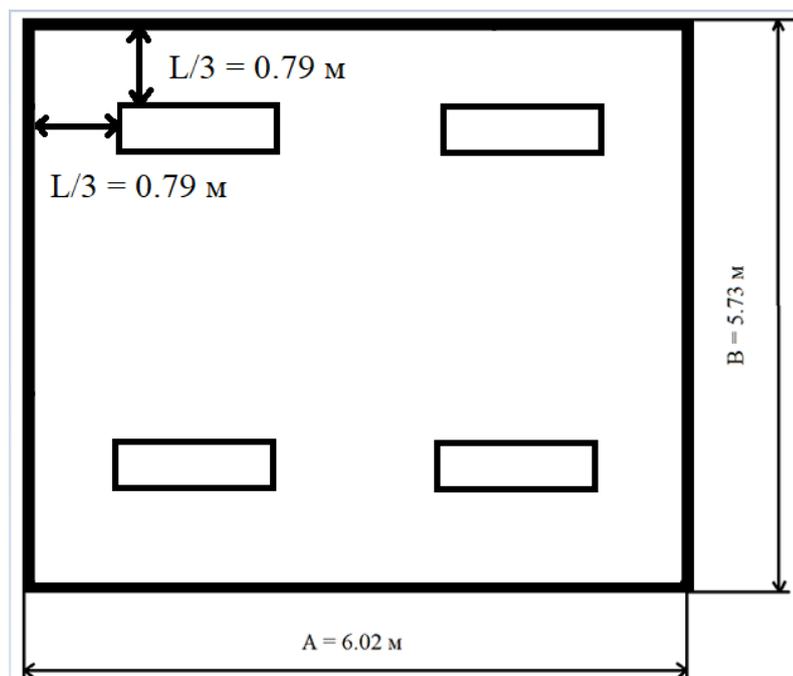


Рисунок 5.2 – План помещения и схема размещения светильников люминесцентными лампами

Индекс помещения i определим по формуле:

$$i = S / h(A+B) = 34,5 / (1,69(6,02+5,73)) \approx 1,7 \quad (5.10)$$

Коэффициент использования светового потока, показывающий какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность, для светильников типа ОД с люминесцентными лампами при $R_c = 30\%$, $R_n = 70\%$ и индексе помещения $i = 1,7$ равен $\eta = 0,6$.

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

$$\Phi_{\Pi} = \frac{E_H \cdot S \cdot k \cdot Z}{N_{\text{л}} \cdot \eta} = \frac{200 \cdot 34,5 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{8 \cdot 0,6} \approx 2372 \text{ лм.} \quad (5.11)$$

Ближайшая по параметрам стандартная лампа – ЛХБ мощностью 40 Вт со световым потоком 2700 лм.

Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{л.станд.}} - \Phi_{\Pi}}{\Phi_{\text{л.станд.}}} \cdot 100\% \leq +20\%. \quad (5.12)$$

$$\frac{\Phi_{\text{л.станд.}} - \Phi_{\Pi}}{\Phi_{\text{л.станд.}}} \cdot 100\% = \frac{2700 - 2372}{2700} \cdot 100\% = 12,15\% \quad (5.13)$$

Получаем: $-10\% \leq 12,15\% \leq +20\%$. Необходимый световой поток светильника не выходит за пределы требуемого диапазона.

Определяем электрическую мощность осветительной установки P :

$$P = 8 \cdot 40 = 320 \text{ Вт.}$$

В помещении площадью $34,5 \text{ м}^2$, в котором проводятся работы на установке магнетронного напыления УВН-74, в соответствии с характером зрительных работ (грубая, очень малой точности), требуется создать освещённость не ниже $E_H = 200 \text{ лк}$, для чего необходимо 8 светильников типа ОД – 2-40 (две лампы мощностью 40 Вт каждая), при этом электрическая мощность осветительной установки будет равна 320 Вт.

4. Подвижные части производственного оборудования

При работе с установкой УВН-74 возможно попадание работника под действие подвижных частей установки. При небрежном обращении дверца камеры может причинить работнику непосредственный вред здоровью путём механического воздействия и являться причиной переломов конечностей, ушибов, порезов.

Движущиеся части производственного оборудования, являющиеся возможным источником травмоопасности, ограждаются или располагаются так, чтобы исключалась возможность прикасания к ним работающего. Возможно использование других средств, предотвращающих травмирование.

Для защиты от воздействия механических факторов применяются:

- звуковая индикация;
- дистанционное управление;
- средства управления, позволяющие моментально остановить движение;
- знаки безопасности [39].

Функциональное назначение движущихся элементов установки УВН-74 не допускает использование ограждений или других средств, которые позволили бы исключить контакт работника с движущимися частями. С учётом вышеописанного ограничения для снижения вероятности попадания работника

под действие движущихся частей производственного оборудования используются следующие меры:

- управление закрыванием и открыванием дверцы камеры осуществляется дистанционно (имеется возможность мгновенно остановить движение);
- на дверце используются сигнальные цвета и знаки безопасности охраны труда;
- при движении дверцы работает звуковая индикация.

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

Используемые в данной работе при пробоподготовке и при работе с установкой вещества спирт и ацетон относятся к 4-му классу опасности, то есть к малоопасным веществам. Кроме того, для обеспечения процесса магнетронного распыления в установке используются следующие газы – неон, аргон, ксенон и азот, которые также имеют 4-й класс опасности [42]. Их характеристики приведены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Характеристики веществ, используемых при работе на установке магнетронного напыления, их виды воздействия на организм человека и первая помощь при проявлении признаков отравления

Наименование	Класс опасности	Характеристика	Воздействие на человека	Первая помощь при отравлении
Неон	4	Бесцветный газ без вкуса и запаха	Головокружение, тошнота, рвота, потеря сознания, асфиксия.	Свежий воздух, покой. Обратиться за медицинской помощью.
Аргон	4	Бесцветный газ без вкуса и запаха	Головокружение, тошнота, рвота, потеря сознания, асфиксия.	Свежий воздух, покой. Обратиться за медицинской помощью.

Продолжение таблицы 5.3

Ксенон	4	Бесцветный газ без вкуса и запаха	Головокружение, тошнота, рвота, потеря сознания, асфиксия.	Свежий воздух, покой. Обратиться за медицинской помощью
Этиловый спирт	4	Прозрачная бесцветная подвижная летучая жидкость с характерным спиртовым запахом и жгучим вкусом	Эйфория, нарушение координации движений, атаксия.	Свежий воздух, покой. Обратиться за медицинской помощью
Ацетон	4	Бесцветная подвижная летучая жидкость с характерным резким запахом	Заторможенность, возникновение галлюцинаций	Свежий воздух, покой. Обратиться за медицинской помощью
Азот	4	Бесцветный газ без вкуса и запаха	Головокружение, тошнота, рвота, потеря сознания, асфиксия.	Свежий воздух, покой. Обратиться за медицинской помощью

Для обеспечения безопасности процесса работы с вредными веществами в исследовательской лаборатории проводится учёт и контроль выдачи данного рода веществ с занесением в журнал, кроме того, проводятся инструктажи по обращению с используемыми токсичными веществами. При работе с токсичными веществами для защиты органов дыхания применяется полумаска защитная, для защиты кожи рук используются перчатки химические. Баллоны с газом маркируются и проходят контроль исправности и располагаются таким образом, чтобы не быть в непосредственной близости к работнику во время производственного процесса.

б. Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий

Источником опасных значений разницы электрического потенциала во время работы с установкой УВН-74 являются силовые цепи вакуумных насосов (380 В), а также цепи для питания приборов (220 В).

При прикосновении к незащищённым частям электрооборудования, которое находится под напряжением или где протекает ток, человек подвергается опасности. Пороговой чувствительной величиной силы тока у большинства людей является пропускание тока в 1 мА. При токе, превышающем 10–15 мА, человек не может самостоятельно освободиться от токоведущих частей. При токе 20–25 мА (50 Гц) человек начинает испытывать затруднение дыхания. Действие тока 100 мА в течение 2–3 секунд приводит к смерти [46].

Показатели напряжения в силовых цепях вакуумных насосов установки УВН-74 составляет 380 В (50 Гц). Прикосновение к силовым цепям работником в таком случае может привести к травмам, а при тяжёлых случаях – летальному исходу.

Обеспечение безопасности установок при их нормальном режиме работы производится за счет применения следующих защитных мер:

- применением изоляции;
- недоступностью токоведущих элементов;
- применением низких напряжений;
- изоляцией элементов, в которых есть ток от земли [44].

В целях исключения возможности поражения электрическим током при работе с установкой УВН-74 введены следующие правила:

- запрещается проведение работ при неисправности изоляции токоведущих частей;
- не допускается проведение ремонтных работ при включённом питании установки;

- при включенной электрической части запрещается проводить подключения и отключения внутри соответствующих блоков питания;
- запрещено исправление неисправностей или внесение изменений в установку без предварительного отключения;
- запрещается работать с незаземлённым оборудованием.

Персонал осуществляет управление УВН-74 удалённо и не находится в непосредственной близости с работающей установкой. Присутствие посторонних лиц во время работы установки не допускается.

5.2.2 Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов

При работе на установке вакуумного напыления УВН-74 обеспечиваются следующие условия работы [29]:

- численность работающих на установке: 1-3 человека;
- производственный шум: не более 47 дБ;
- уровень вибрации: отсутствует;
- загрязненность и запыленность воздушной среды: отсутствует;
- влажность воздуха: 45%;
- скорость движения воздуха: 0,15 м/с;
- радиоактивные вещества и источники ионизирующих излучений: отсутствуют;
- электромагнитные излучения: магнетрон установки УВН-74;
- классификация помещения по степени опасности поражения электрическим током: повышенной опасности;
- наличие химических веществ (этанол, ацетон) в стеклянной таре 0,5 л. в сейфе;
- наличие веществ, способных вызвать удушающее действие (рабочие газы) в баллонах по 40 (азот) и 5 л (неон, аргон, ксенон).

Площадь помещения, в котором находится установка УВН-74, на одного человека составляет не менее 11 м² при санитарной норме 4,5 м². Объем помещения на одного работника – не менее 32 м³ при норме 15 м³ [35].

Воздух рабочей зоны (микроклимат) производственных помещений определяют следующие параметры: температура, относительная влажность, скорость движения воздуха. Оптимальные и допустимые показатели температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне производственных помещений должны соответствовать величинам, приведенным в соответствующих документах [47].

В помещении, в котором располагается установка УВН-74, соблюдаются требуемые показатели температуры и относительной влажности воздуха. Величина скорости движения воздуха находится на оптимальном уровне. Обновление воздуха в помещении обеспечивается с помощью естественной вентиляции.

Работа не подразумевает постоянного нахождения рядом с установкой, но требует периодической проверки рабочих показателей установки (давление в камере и температура) и осмотра рабочего оборудования. Рекомендуемая периодичность проверок – каждые 30 минут [29].

Работа форвакуумного насоса сопровождается выбросами паров масла, которые вредны для человека. Для нейтрализации этого воздействия на работников в помещении применяют трубопровод, который выводит выхлопы от насосов за пределы используемого помещения.

Защита от высокого напряжения, которое подаётся на некоторые узлы установки, обеспечивается следующими средствами коллективной защиты: информационные таблички, цветовая маркировка опасных конструктивных элементов, автоматические выключатели, защитное заземление. К средствам индивидуальной защиты при работе с токоведущими элементами установки относятся диэлектрические перчатки и коврик, а также штанга для снятия остаточного напряжения [44].

5.3 Экологическая безопасность

Воздействие на атмосферу

Технологический процесс создания тонких покрытий на установке УВН-74 требует использования таких веществ как спирт и ацетон, а также рабочих газов (неон, аргон, ксенон, азот). Их хранение производится в специально отведённом помещении в стеклянных тарах для первых двух веществ и в баллонах высокого давления для указанных выше рабочих газов. Воздействие спирта и ацетона на атмосферу при работе с ними является незначительным, а во время хранения – отсутствует. Рабочие газы не представляют опасности сами по себе, их вредное воздействие может проявиться при попадании в атмосферу с дальнейшим оседанием в низине, создавая угрозу удушения попавшего в неё человека. Это, однако, маловероятно в силу активной циркуляции уличного воздуха. Для недопущения выброса в атмосферу вышеперечисленных газов в лаборатории соблюдаются правила хранения и маркировки данных веществ. При отклонении параметров от нормы регуляторы расхода газа автоматически приостанавливают подачу рабочих газов, предотвращая их неконтролируемый выброс в атмосферу.

Для снижения вредного воздействия на атмосферу от выбрасываемого через трубопровод насосов воздуха используются специальные очищающие фильтры.

Воздействие на гидросферу

Прямого воздействия на гидросферу в процессе работы на УВН-74 не происходит. Используемая для охлаждения камеры вода не контактирует с загрязняющими веществами, а единственная угроза гидросфере – потенциальная халатность работников, которые могут загрязнить её утилизацией в водной среде производственных материалов. Для недопущения этого утилизация отработанных материалов проходит строгую регламентацию и контроль [29].

Воздействие на литосферу

Как и в случае гидросферы, угроза литосфере не носит прямого характера и имеет те же возможные источники. Контроль недопущения загрязнения литосферы осуществляется подобным предыдущему случаю способом.

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

При работе на установке УВН-74 могут возникнуть следующие чрезвычайные ситуации:

- короткое замыкание в силовых цепях питания оборудования;
- пролив химических реактивов при подготовке к эксперименту;
- отключение подачи холодной воды;
- возникновение пожара.

При несчастном случае с наличием пострадавших необходимо:

- принять меры по освобождению пострадавшего от действия травмирующего объекта;
- оказать пострадавшему первую помощь в зависимости от вида травм;
- поставить в известность о случившемся руководство и принять меры к эвакуации пострадавшего в лечебное учреждение или вызвать скорую по номеру 03 (стационарный телефон или таксофон) или 103 (скорая медицинская помощь) и 112 (служба спасения) для мобильных телефонов.

При возникновении короткого замыкания в силовых цепях оборудования требуется:

- перевести в нижнее положение переключатель питания установки;
- перевести в нижнее положение переключатель питания системы охлаждения;
- перевести в нижнее положение переключатель питания управляющего компьютера.

Используемые химические вещества могут воспламеняться и при смешивании с воздухом могут быть взрывоопасны. Они являются органическими растворителями и относятся к четвёртому классу опасности [42]. При проливе химических реагентов требуется собрать их в ёмкость для химических отходов, используя при этом средства индивидуальной защиты (очки и перчатки химические), а затем отправить их на хранение в специально отведённое место.

Отключение подачи холодной воды приводит к повышенному нагреву камеры установки, что может являться причиной выхода её из строя и возникновения пожара. Для предотвращения этих последствий требуется незамедлительно произвести отключение установки путём перевода выключателей питания установки, системы охлаждения и управляющего компьютера в положение вниз.

Для повышения способности рабочего совершать корректные действия в случае возникновения пожара при обучении работе с установкой проводится пожарный инструктаж, который затрагивает сигналы оповещения о пожаре, действия при возникновении пожара, а также принципы локализации очага возгорания пожарным оборудованием и расположение этого оборудования. Ответственность за обеспечение мер пожарной безопасности при проведении пожароопасных работ возлагается на руководителя подразделения, на территории которого проводятся работы. Соблюдение правил пожарной безопасности является обязательным, а лица, виновные в их нарушении, несут дисциплинарную, административную или уголовную ответственность в соответствии с действующим законодательством.

Обеспечение пожарной безопасности перед началом эксплуатации обеспечивается следующими мерами:

- уборка помещения от легко воспламеняемых материалов;
- хранение горючих химических веществ в специально отведённом месте;
- проверка работоспособности системы охлаждения камеры;

- проверка правильности подключения силовых разъёмов питающих проводов;

- проверка исправности заземления.

Используемые средства пожаротушения:

- углекислотный огнетушитель - 1 шт.;

- пенный огнетушитель - 1 шт.;

- ящик с песком и совком - 1 шт.

При работе на установке запрещается:

- курить на рабочих местах и в местах хранения термопластов;

- оставлять без присмотра включенное оборудование на производственном участке;

- использовать неисправное электрооборудование и приборы;

- хранить в помещениях производственных участков промасленную ветошь, легковоспламеняющиеся вещества и горючие жидкости [48].

Возможными причинами пожара на установке УВН-74 могут стать:

- неисправность электропроводки;

- перегрузка;

- плохие контакты;

- отсутствие воды в трубопроводе.

При возникновении пожара работником лаборатории выполняются следующие шаги:

- вызов пожарного расчёта по номерам 101 или 112 (для городского или мобильного телефона соответственно);

- произвести отключение электропитания;

- воспользоваться средствами пожаротушения (в зависимости от источника возгорания требуется применять соответствующий тип огнетушителя) или песком, а при невозможности локализации пожара провести эвакуацию из помещения [49];

- проверить помещение на наличие других людей и после этого закрыть в него двери, чтобы предотвратить подачу кислорода;
- сообщить о пожаре администрации лаборатории и института.

При эвакуации из помещения требуется соблюдать установленный в ТПУ план эвакуации, знать расположения эвакуационных и аварийных выходов, а также следовать установленным правилам поведения, соблюдать порядок и последовательность действий в условиях чрезвычайной ситуации. При возникновении пожара автоматически подаётся звуковой сигнал тревоги и включаются указатели, показывающие направление к выходу.

Выводы по Главе 5 Социальная ответственность

В данном разделе были рассмотрены возможные вредные и опасные факторы, которые могут возникнуть при эксплуатации установки УВН-74, а именно:

- повышенный уровень шума;
- наличие электромагнитных полей радиочастотного диапазона;
- отсутствие или недостаток необходимого естественного и искусственного освещения;
- подвижные части производственного оборудования;
- 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.

Для противодействия возникающим во время эксплуатации УВН-74 опасным и вредным факторам, а также предотвращения вызванных ими опасных ситуаций, был произведён комплексный анализ потенциальных угроз нормальной работе установки и составлен перечень действий, которому необходимо следовать при возникновении чрезвычайной ситуации.

Заключение

В данной работе проводилось формирование кальций-фосфатных покрытий методом ВЧ-магнетронного распыления гидроксиапатита в среде различных инертных газов и азота в соотношении 1:1 по объему.

Увеличение атомной массы используемого инертного рабочего газа способствует уменьшению размера зерна и соотношения Ca/P, кроме того, при этом происходит рост средней шероховатости. Рентгеноструктурный анализ показал лишь пики, которые соответствуют используемым подложкам из титана. Предполагается, что при использовании азота для формирования покрытий их структура склонна становиться аморфной. Значения СЭП и её полярной составляющей выше для смеси газов $\text{Xe} + \text{N}_2$ и $\text{Ne} + \text{N}_2$, чем для $\text{Ar} + \text{N}_2$.

Таким образом, было показано, что, меняя тип используемой газовой смеси, мы можем изменять характеристики, которыми будут обладать получаемые покрытия.

Благодарности

Хочется выразить особую благодарность Федоткину Александру за чуткое руководство на протяжении всего научного исследования, за предоставление актуальной научной информации, позволяющей глубже погрузиться в изучаемую тему, и содействие при проведении лабораторных исследований.

Также хочется поблагодарить НОЦ Б.П. Вейнберга и в частности лабораторию плазменных гибридных систем ИЯТШ ТПУ за предоставление материалов и оборудования для проведения исследования.

Список использованной литературы

1. Curran A.R., Kuo K.N., Lubicky J.P. Simultaneous ipsilateral femoral and tibial lengthening with the Ilizarov method // *J. Pediatr. Orthop.* 1999. Т. 19, № 3. С. 386–390.
2. Launay F. и др. Progressive forearm lengthening in children: 14 cases // *Rev. Chir. Orthop. Reparatrice Appar. Mot.* 2001. Т. 87, № 8. С. 786–795.
3. Song H. и др. Femoral lengthening over an intramedullary nail using the external fixator Femoral lengthening over an intramedullary nail using the external fixator. 2009. Т. 3674.
4. Борзунов Д.Ю. Замещение дефектов полилокальным удлинением отломков (клинико-экспериментальное исследование). Курган, 2004.
5. Caton J. и др. Non-Human Primate Models for Testing the Efficacy and Safety of Periodontal Regeneration Procedures // *J. Periodontol.* 1994. С. 1143–1150.
6. Caton J.G. и др. Treatment With Subantimicrobial Dose Doxycycline Improves the Efficacy of Scaling and Root Planing in Patients With Adult Periodontitis // *J. Pediatr. Surg.* 2000. Т. 71, № 4. С. 521–532.
7. Kozelskaya A. и др. Porous CaP Coatings Formed by Combination of Plasma Electrolytic Oxidation and RF-Magnetron Sputtering // *Coatings.* 2020. Т. 10, № 11. С. 1113.
8. Behera R.R. и др. Effect of TiO₂ addition on adhesion and biological behaviour behavior of BCP-TiO₂ composite films deposited by magnetron sputtering // *Mater. Sci. Eng. C.* 2020.
9. Lenis J.A., Toro L.J., Bolívar F.J. Multi-layer bactericidal silver - calcium phosphate coatings obtained by RF magnetron sputtering // *Surf. Coatings Technol.* 2019.
10. Bolat-Ool A.A. и др. Calcium phosphate targets for RF magnetron sputtering of biocoatings // *AIP Conference Proceedings.* 2019.
11. Robinson L. и др. The deposition of strontium and zinc Co-substituted hydroxyapatite coatings // *J. Mater. Sci. Mater. Med.* 2017. Т. 28, № 3. С. 51.
12. Graziani G., Boi M., Bianchi M. A review on ionic substitutions in

hydroxyapatite thin films: Towards complete biomimetism // *Coatings*. 2018.

13. Федоткин А. и др. Изготовление NO-содержащих кальций-фосфатных покрытий реактивным ВЧ-магнетронным напылением в смеси аргона и азота // *Пленки и покрытия-2021: Труды 15-й Международной конференции / под ред. Кузнецов В.* Санкт-Петербург: Изд-во ООО "РПК «АМИГО-ПРИНТ», 2021. С. 423–427.

14. Kozelskaya A. и др. Effect of working gas on physicochemical and biological properties of CaP coatings deposited by RFMS // *Biomed. Mater.* 2021. Т. 16, № 3. С. 035012.

15. Schmidt S. и др. Influence of inert gases on the reactive high power pulsed magnetron sputtering process of carbon-nitride thin films // *J. Vac. Sci. Technol. A Vacuum, Surfaces, Film.* 2013. Т. 31, № 1. С. 011503.

16. Попков А. Biocompatible implants in traumatology and orthopaedics (A review of literature) // *Genij Ortopedii*. 2014.

17. Путляев, В.И. Современные биокерамические материалы / В. И. Путляев // *Соросовский образовательный журнал*. – 2004. – № 1. – С. 44– 50.

18. Гурин, А.Н. Октакальций фосфат – прекурсорбиологической минерализации, перспективный остеопластический материал / А.Н. Гурин, В.С. Комлев, И.В. Фадеева, С.М. Баринов // *М.: Стоматология*. – 2010. – С.65-72.

19. Ginebra, M.P. Calcium phosphate cement as bone drug delivery systems / M.P. Ginebra, T. Traykova, J. Planell // *J. Control Rel.* – 2006. –Vol.113. – P.102-110.

20. Pan, Y. Composition of the apatite group minerals: substitution mechanism and controlling factors / Y.Pan, M.Fleet // *Phosphates: geochemical, geobiological and materials importance. Reviews in mineralogy and geochemistry*. – 2002. – Vol.48.– P.13 –49.

21. Şahin Ö. и др. Penning transfer in argon-based gas mixtures// *JINST*. 2010.

22. Плазменные покрытия (методы и оборудование): учебное пособие / В.П. Кривобоков, Н.С. Сочугов, А.А. Соловьёв. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 104 с.
23. Лучкин, Г.С. Аномальный тлеющий разряд в скрещенных электрическом и магнитном полях в процессах нанесения оптических покрытий: дис. ... канд. техн. наук / Г. С. Лучкин. – Казань: Казан. гос. тех. университет, 2005. – 137 с.
24. Миланский политехнический университет: сайт. – URL: <http://www.polifab.polimi.it> (дата обращения: 20.05.21). – Текст: электронный.
25. Студопедия – поиск обучающей информации: сайт. – URL: <http://studopedia.info> (дата обращения: 20.05.21). – Текст: электронный.
26. Петухов В.Ю., Гумаров Г.Г. ИОННО-ЛУЧЕВЫЕ МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ ТОНКИХ ПЛЕНОК. Учебно-методическое пособие для студентов физического факультета // Казань, 2010.- 87 с. Издание 2-е, исправленное и дополненное.
27. Fedotkin A.Y. и др. Calcium phosphate coating deposition by radio frequency magnetron sputtering in the various inert gases: The pilot study // Mater. Chem. Phys. Elsevier B.V., 2019. Т. 235, № March. С. 121735.
28. Chrzanowski W. и др. Effect of surface treatment on the bioactivity of nickel-titanium // Acta Biomater. 2008.
29. Инструкция к УВН-74. Лаборатория №018 комната 012 корпуса 19, ТПУ, Томск, 2014.
30. ГОСТ Р 50923-96 Дисплеи. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения.
31. ГОСТ 12.1.029-80 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства и методы защиты от шума. Классификация.
32. ГОСТ 12.1.003-2014 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности (Переиздание).

33. СП 51.13330.2011 Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003 (с Изменением N 1).

34. ГОСТ 12.1.006-84 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля (с Изменением N 1, с Поправкой).

35. 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".

36. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95* (с Изменением N 1).

37. СП 2.4.3648-20 "Санитарно-эпидемиологические требования к организациям воспитания и обучения, отдыха и оздоровления детей и молодежи".

38. ГОСТ Р 55710-2013 Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений.

39. ГОСТ 12.4.011-89 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства защиты работающих. Общие требования и классификация.

40. ГОСТ 12.2.003-91 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное. Общие требования безопасности.

41. ГОСТ Р 58477-2019 Руководство по применению критериев классификации опасности химической продукции по воздействию на организм. Избирательная токсичность на органы-мишени и/или системы при многократном/продолжительном воздействии.

42. ГОСТ 12.1.007-76 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности (с Изменениями N 1, 2).

43. ГОСТ 12.1.038-82 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов (с Изменением N 1).

44. ГОСТ 12.1.030-81 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление (с Изменением N 1).
45. Суворов, Г.А. Шум и здоровье (эколого-гигиенические проблемы) / Г.А. Суворов, Л.В. Прокопенко, Л. Д. Якимова - М: Союз, 1996. - 150 с.
46. Ажибаев К.А. Физиологические и патофизиологические механизмы поражения организма электрическим током. Изд. «Илим», Фрунзе, 1978, 267 с.
47. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
48. Правила устройства и безопасности эксплуатации сосудов, работающих под давлением (ПБ 10–115–96). – ПИООБТ, 1996.
49. ГОСТ 22.0.01-94. Безопасность в ЧС. Основные положения.
50. Погоньшева И.А. Влияние шума на психофизиологические параметры и работоспособность организма человека / И.А. Погоньшева, Д.А. Погоньшев, А.А. Крылова // Вестник Нижневартковского государственного университета. – 2015. – №1. – С.87-93

Приложение I
(справочное)

Formation of bioactive coatings by reactive RF magnetron sputtering of hydroxyapatite in a mixture of various working gases

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОДМ91	Букал В. Р.		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Твердохлебов С. И.	к. ф.-м. н.		

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Зеремская Ю. А.	к. фил. н.		

1 Literary review

1.1 Biocompatible implants

During the last century, the field of treatment of various kinds of bone diseases and fractures has been actively developing. For the treatment of fractures, the technique of internal and external fixation of the bone has long been used, which makes it possible to achieve good indicators of osteogenesis of the broken bone. The timing of this treatment, however, is completely inadequate. For this reason, the search for techniques that could provide good osteogenesis and would allow the treatment process to be carried out as soon as possible is constantly ongoing. For this reason, active research is being carried out on autografts of bone tissue, as well as various types of products with increased bioactivity (biocomposite matrices, decalcified bone, ceramics). In addition, active research is being carried out in the field of cell technology.

Currently, more and more study are being carried out with the main focus of creation of materials that can replace the tissues of the human body (bone and muscle tissue, blood vessels, nerve fibers, skin). These materials were named "biomaterials". They create a border with biological systems, which allows treatment, augmentation or replacement of human tissues and organs. The development of endoprosthetics of large joints contributes to good results in the treatment of the musculoskeletal system.

The biomaterials must exhibit certain chemical properties, they must not react with interstitial fluid and the tissues themselves, and must not corrode. In addition, they must have good mechanical properties, which include strength, wear resistance, resistance to cracking, and fracture resistance. They should facilitate osteogenesis and consolidation of bone tissue, but at the same time not cause a negative reaction in the immune system.

Existing bioactive materials that are used as fixators for broken bones and implants replacing bone sites are classified according to their effect on the regenerative capacity of the body:

- biotolerant materials (for example, cobalt chromium alloys and stainless steel) – the implant is separated from the bone by a layer of fibrous tissue, the restoration of bone tissue occurs at the usual rate and at some distance from the implant (distant osteogenesis occurs);

- bioinert materials (aluminum and titanium oxides) – fibrous tissue is not formed, the process of osteogenesis occurs in direct contact with the surface of the implant, consolidation is characterized by the usual terms;

- bioactive materials (calcium phosphate ceramics, silicon-based bioglass) - a chemical bond is formed with the bone (bonding osteogenesis occurs), the reaction of bone tissue formation is enhanced with the beginning at the implant surface, a continuous bond is formed from the tissue to the implant surface.

Metal implants have earned a special place in biomedicine. For example, alloy steels are often used to replace damaged bone areas or to provide conditions for the restoration of broken bones, since they are able to maintain their mechanical and functional properties for a long time.

The material used in implantation must retain its biocompatibility over time, as well as its chemical and physical properties. Metals used in medicine are subdivided into the following groups according to the degree of their effect on the body:

- toxic (such as chromium, nickel, cobalt, vanadium);
- intermediate (such as gold, iron, aluminum);
- inert (such as zirconium, titanium).

Analysis of electrochemical reactions showed that noble metals (the surface is purely metallic), or metals coated with a protective layer of oxides (such as Ti , Ta , Nb , Cr , Zr) can be used for implants .

According to the degree of influence on the osteogenesis process, all existing metals can be classified as biotolerant (for example, stainless steel and cobalt-chromium alloys) and bioinert (such as titanium and aluminum oxides). There are no metals that would be bioactive by themselves, having a positive effect on osteogenesis [16].

1.2 Calcium phosphate materials

One of the common applications of calcium phosphate is the formation of bioactive ceramics. The ceramic structure of these materials allows us to satisfy almost all the requirements for their use in the creation of implants. Bioceramics has a composite structure, which includes substances of natural origin. It has found active application as a filler, allows us to retain medicinal substances in human living systems and is widely used in conjunction with bone implants.

Imparting improved osteoinductive properties to bioceramic materials is a promising area of research in modern medical materials science. Most of bioceramics are based on the following substances: calcium sulphate and tricalcium phosphate, octocalcium phosphate and hydroxyapatite as one of most interest to us. These materials have become the basis for the creation of many types of composite biomaterials.

The calcium phosphate materials used in biomedicine, hydroxyapatite and tricalcium phosphate, have properties that are similar to those of the mineral components of human bone, which led to their widespread use in this field and reduced the need in autografts for medical applications [17].

With prolonged presence in the biological system, the decomposition of synthetic hydroxyapatite and tricalcium phosphate occurs. The reason for this is the metabolism of the body's cells. As a result of this decay, calcium and phosphorus ions are formed, which are subsequently included in the structure of the forming bone tissue.

1.3 Hydroxyapatite

Hydroxyapatite is the main inorganic component of bone tissue and tooth enamel. Its good biocompatibility with the human body has led to its widespread use in such areas of medicine as orthopedics, traumatology, dentistry. This material is widely used to replace bone defects and form bioactive coatings on a wide variety of medical materials.

By its structure, hydroxyapatite is a powder, the dissolution ability of which is

inversely dependent on temperature [18-19]. In addition, it is electrically neutral, stable, and has a stable ionic lattice.

Hydroxyapatite is characterized by non-stoichiometric composition, which is one of its distinctive properties. This non-stoichiometry is expressed in the fact that the Ca/P ratio in its composition can vary from 1.5 to 1.67, it allows to form cationic and ionic substitutions in the hydroxyapatite lattice [20].

To create substitutions, cations of magnesium, sodium, and also some types of anions are used. The result of the inclusion of ionic substitutions into the structure of hydroxyapatite is the distortion of its crystal lattice, which affects its properties, increasing its bioresorbability and solubility. When using fluorine, an increase in thermodynamic stability occurs, which leads to a decrease in the resorbability of such hydroxyapatite in the body.

1.4 Penning Effect

The multiplication of electrons in gas detectors sometimes far exceeds the gain calculated using Townsend coefficients alone. This is especially the case when a gas with a low ionization potential is added to a gas with higher energy excited states.

Additional enhancement explained by transformation of excitation energy to ionization. Although the ionization cross section often exceeds the excitation cross section, excitations occur in large numbers due to their lower energy threshold. The increase in amplification is called the "Penning effect" in honor of Frans Michel Penning, who since 1924 worked in the Philips research laboratories (Eindhoven) on gas discharges and noted that the discharge potential in mixtures of neon, argon and mercury is lower than in pure noble gases. He attributed the effect to metastability. Penning transfers have significant effects: the effect Jesse, low work function in a Penning mixture are the result of energy transfer, and the Penning effect also modifies the Fano factor in such mixtures [21].

1.5 Magnetron spray systems

Magnetron spray systems are a product of the development of diode spray

systems and are an improved version of them. The difference is that in this system, in the near-cathode region, magnetic and electric fields directed perpendicular to each other are applied.

1.5.1. The movement of charged particles in crossed electric and magnetic fields

We have magnetic B and electric E fields that are homogeneous and perpendicular to each other, the first is directed from the viewer, the second is vertical, as well as the time t , directed horizontally.

At the initial moment of time, a charged particle (in this case, an electron) is at point 0. The electric field accelerates this particle along the E axis, as a result of which its speed will increase and a magnetic field will begin to act on it, since the force of its action is proportional to the speed of the particle, therefore the particle begins to deviate from the E axis.

As a result (the description is given in Figure 1), at the moment t_1 , being at point 1, the electron will begin to move towards the horizontal axis. Decelerating in the section $1 \rightarrow 2$ in an electric field, the electron loses its speed and, as a result, it becomes zero at the moment t_2 upon reaching the horizontal axis in the form of point 2. Further, acceleration, deceleration and deflection are repeated in other sections of the particle's path in a similar manner.

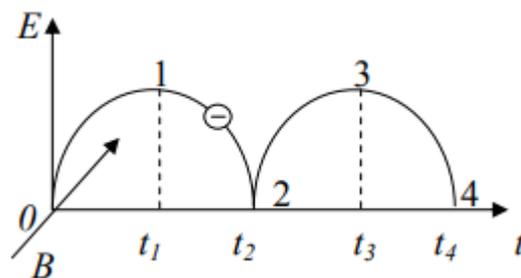


Figure 1.1 – Scheme of electron motion in perpendicular to each other magnetic and electric fields

So, the trajectory of the particle under consideration is periodically repeating phases similar to each other, reminiscent of an arch, and is called a cycloid. The magnitude of the magnetic field is large enough for electrons to be trapped, but not

sufficient to significantly influence the trajectories of ions, so we can say that ions move along trajectories determined by their interactions with the target material and particles of the forming plasma [22].

1.5.2. Principle of operation

In the previous magnetron diode system, the discharge is sustained by secondary electrons that are emitted from the cathode surface as a result of its bombardment. The emitted electrons are accelerated by an electric field perpendicular to the cathode and, after passing through the positive discharge column, enter the anode and are eventually captured by it.

If, however, a magnetic field parallel to the cathode is applied perpendicular to the electric field, then the trajectories of the emitted electrons will turn into cycloids. Escaping electrons lose the ability to move in a clearly perpendicular direction towards the anode and find themselves in a kind of trap resulting from the action of a magnetic field. After a couple of ionization collisions of electrons with atoms of the working gas (as a result of which their energy is lost), such movement of electrons near the surface stops. In addition, the loss of most of the energy of these electrons occurs near the cathode surface (spent on ionization), where an increased concentration of positive ions appears.

When the cathode surface is bombarded with these ions, it is sputtered. Plasma localization occurs at the cathode surface, because of this, the density values for the ion current are quite high and are more than those of diode systems by more than two orders of magnitude. The power dissipated on the target is also high. The reduction in coating fouling during the spraying process is due to an increase in spraying speed and a drop in operating pressure. Localization of electrons occurs precisely at the target, not the substrate, which makes it possible to neutralize the negative effect of heating the substrate and to reduce the amount of radiation defects arising in the formed coatings. The deposition of coatings using a magnetron is associated with the following advantages – a high rate of coating formation and uniformity of these coatings in thickness [23].

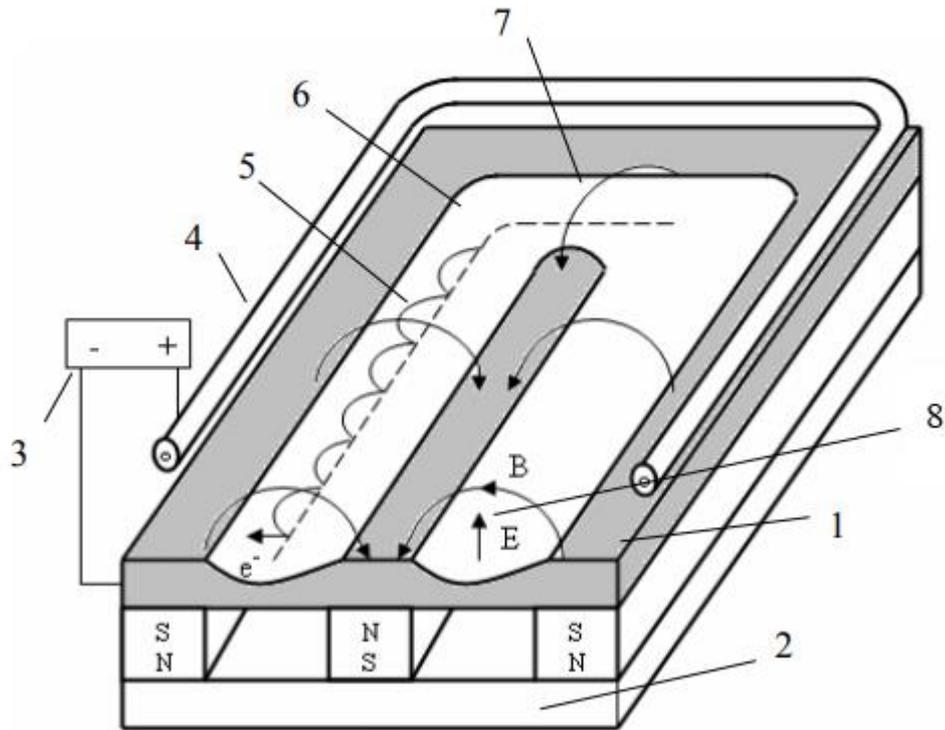


Figure 1.2 - Magnetron sputtering system with a flat cathode. Where: 1 - cathode (target), 2 - system of magnets, 3 - power supply system of the installation, 4 - anode, 5 - trajectory along which electrons move, 6 - zone in which sputtering occurs, 7 - designation of the magnetic field line, 8 - designation of the line of force of the electric field [22]

The sputtered atoms move towards the substrate and are eventually deposited on it.

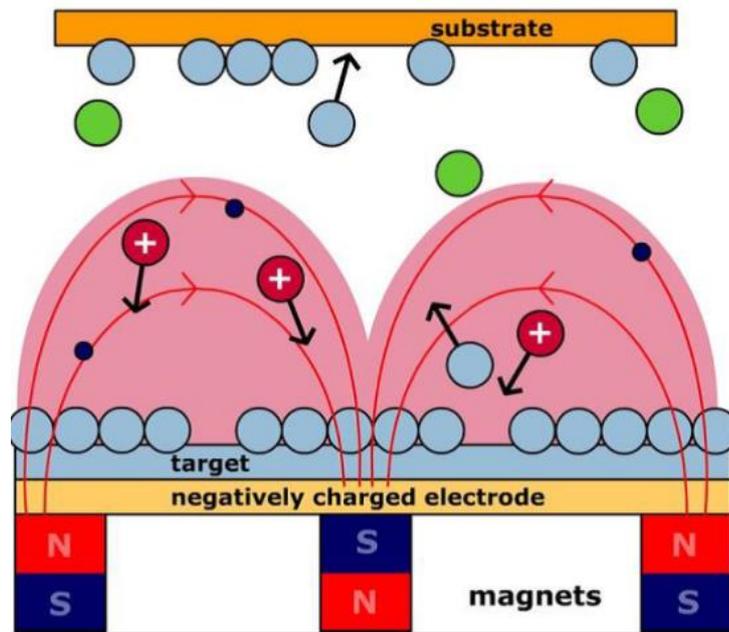


Figure 1.3 – General scheme of deposition of sputtered atoms on a target on a substrate [24]

A typical magnetron sputtering system includes: a target (which is a cathode in the system), a magnet and a magnetic circuit (which form a magnetic system), an anode, an electrostatic shield, and a water supply system (to provide cooling).

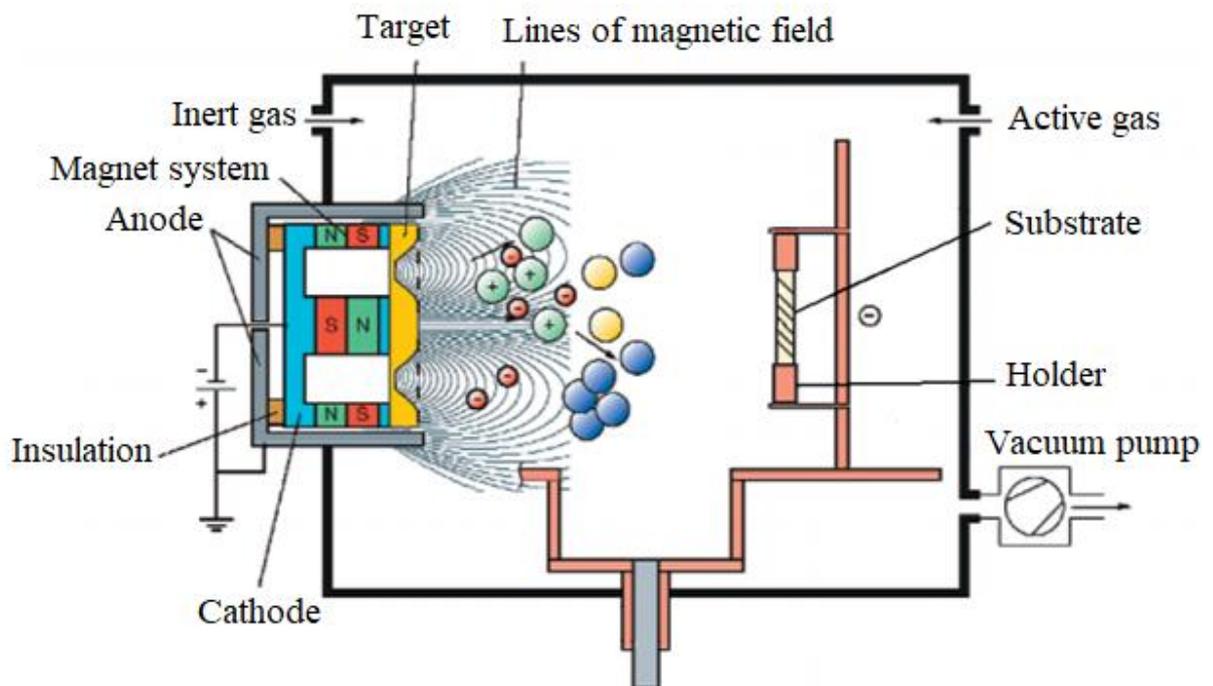


Figure 1.4 – General diagram of the magnetron sputtering system [25]

As already mentioned, the magnetic system in installations of this type allows the formation of a magnetic field above the cathode surface, which will have the shape

of an arch. Both versions with a permanent magnet and an electromagnet are used. The walls of the vacuum chamber serve as the anode, and, if necessary, a separate anode. The protective shield prevents the discharge from igniting on the lateral surfaces of the magnetic circuit, and also, if necessary, of the cathode assembly.

1.6 RF-magnetron sputtering

Unlike direct current, for alternating current the presence of a dielectric in the circuit is not an obstacle. alternating current flows through the electrodes even in the absence of a discharge. This allows both conductors and dielectric targets to be sputtered.

In the case of low frequencies, we have a sequence of short-term DC discharges with alternating voltage polarity, since the duration of each half-cycle is sufficient for the complete establishment of the discharge. Thus, a low-frequency alternating current discharge does not differ from a direct current discharge in the sense that secondary electrons emitted by the electrodes are also required to maintain it, and that when the gas pressure decreases, it will go out at the same value of p_{min} as the corresponding DC discharge.

Starting from frequencies of 50 kHz and above, p_{min} gradually decreases with increasing frequency. It can be understood that the discharge in this case is replenished with electrons in addition to the secondary electron emission from the electrodes. The generation of additional electrons in a high-frequency discharge occurs because electrons vibrating in the high-frequency field can acquire energy sufficient to ionize the gas.

The high-frequency range is called the range from about 1 to 100 MHz. This range is used in broadcasting and radio communications. According to an international agreement, in order to eliminate radio interference, several narrow 35 frequency intervals were allocated for powerful laboratories and industrial installations. For magnetron sputtering systems, the frequency $f=13.56$ MHz is most often used, which corresponds to the wavelength $\lambda = 22$ m [26].

Приложение II

Таблица А – Трудозатраты на выполнение проекта

Этап	Исполнители	Продолжительность работ, дни			Трудоемкость работ по исполнителям чел.- дн.			
		t_{min}	t_{max}	$t_{ож}$	$T_{РД}$		$T_{КД}$	
					И	НР	И	НР
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Планирование и оформление технического задания	И, НР	2	4	2,8	0,336	3,36	0,40488	4,0488
Поиск и изучение материалов по теме	И, НР	10	15	12	14,4	4,32	17,352	5,2056
Календарное планирование работ по теме	И, НР	1	3	1,8	1,296	2,16	1,56168	2,6028
Согласование схемы эксперимента	И, НР	5	7	5,8	4,176	6,96	5,03208	8,3868
Проведение исследования	И, НР	3	4	3,4	4,08	1,224	4,9164	1,47492
Обработка и анализ полученных данных	И, НР	6	9	7,2	8,64	3,456	10,4112	4,16488
Написание пояснительной записки к ВКР	И, НР	12	17	14	16,8	-	20,244	-
Подготовка к защите	И, НР	7	8	7,4	8,88	2,664	10,7004	3,21012
Итого:				54,4	58,608	24,144	70,62264	29,09352

Таблица Б – Линейный график работы

Этап	И	НР	Март			Апрель			Май		
			10	20	30	40	50	60	70	80	90
Планирование и оформление технического задания	0,336	3,36	■								
Поиск и изучение материалов по теме	14,4	4,32	■	■							
Календарное планирование работ по теме	1,296	2,16			■						
Согласование схемы эксперимента	4,176	6,96			■	■					
Проведение исследования	4,08	1,224				■	■				
Обработка и анализ полученных данных	8,64	3,456					■	■			
Написание пояснительной записки к ВКР	16,8	-						■	■		
Планирование и оформление технического задания	8,88	2,664							■	■	

И – ■; НР – ■