

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

Институт: Физико-технический
Направление подготовки: Техническая физика
Кафедра: Экспериментальной физики

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Механические свойства тонкого покрытия гидроксиапатита, сформированного на магниевом сплаве AZ91 методов ВЧ- магнетронного распыления при импульсном смещении

УДК 669.721.5:621.793:60:617-74

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0Д31	Цапков Александр Вячеславович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Начальник Центра Технологий, доцент каф. ЭФ ФТИ	Сурменев Р.А.	к.ф.-м.н		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. МЕН ИСГТ	Верховская М.В.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры ПФ	Гоголева Т.С.	к.ф.-м.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ЭФ ФТИ	Кривобоков В.П.	д.ф.-м.н., профессор		

Томск – 2017 г.

**Результаты обучения бакалавров
направления 16.03.01 «Техническая физика»
(профиль «Пучковые и плазменные технологии»)**

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
Р1	Использовать фундаментальные законы природы и естественнонаучных дисциплин, физико-математический аппарат, методы математического анализа, моделирования, оптимизации и статистики для решения задач в различных отраслях технической физики.	Требования ФГОС (ПК-2, 3). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
Р2	Участвовать в теоретических и экспериментальных исследованиях в различных отраслях технической физики, связанных с современными высокотехнологическими способами обработки материалов, основанными на использовании радиационных и плазменных потоков; самостоятельно осваивать современную физическую аналитическую и технологическую аппаратуру, применять современные методы исследования свойств материалов и различных структур, проводить стандартные и сертификационные испытания технологических процессов, оборудования и изделий, изучать научно-техническую информацию, разрабатывать адекватные физические и математические модели изучаемых объектов.	Требования ФГОС (ПК-4, 10, 11, 12, 13). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
Р3	Владеть основными методами работы с информацией, самостоятельно работать на компьютере в средах современных операционных систем и наиболее распространенных прикладных программ и программ компьютерной графики, применять современные образовательные и информационные технологии.	Требования ФГОС (ПК-5, 6, 7). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
Р4	Знать иностранный язык на уровне, позволяющем работать с научно-технической литературой и участвовать в международном сотрудничестве в области технической физики.	Требования ФГОС (ПК-8). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
Р5	Участвовать в производственно-технологической деятельности, определять основные параметры технологических процессов, анализировать свойства физико-технических объектов, изделий и материалов, применять современные информационные технологии, пакеты прикладных программ для расчета технологических параметров, обосновывать принятие конкретного технического решения при разработке технологических процессов и изделий.	Требования ФГОС (ПК-14, 15, 17). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
Р6	Использовать нормативные документы по качеству, стандартизации и сертификации изделий, элементы экономического анализа производственно-технологических циклов, знать и выполнять правила техники безопасности, производственной санитарии, пожарной безопасности и нормы охраны труда.	Требования ФГОС (ПК-16, 18). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
Р7	Участвовать в проектно-конструкторской деятельности, разрабатывать функциональные и структурные схемы элементов и узлов экспериментальных и промышленных электрофизических установок, реализующих современные пучковые и плазменные технологии, проектировать	Требования ФГОС (ПК-19, 20). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
	технологические процессы и оборудование с использованием современных информационных технологий.	
P8	Участвовать в организационно-управленческой деятельности, уметь работать в команде и организовывать работу исполнителей, находить и принимать управленческие решения.	Требования ФГОС (ОК-3, ПК-21, 22, 23). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P9	Внедрять и коммерциализировать результаты исследований и проектно-конструкторских разработок, уметь оценивать инновационный потенциал новой продукции в области современных технологий, основанных на использовании радиационных и плазменных потоков.	Требования ФГОС (ПК-21, 22, 23, 24). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
<i>Универсальные компетенции</i>		
P10	Осознавать социальную значимость своей профессии, развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень, в течение всей жизни самостоятельно обучаться новым методам исследований, пополнять свои знания в области современной технической физики и смежных наук, расширять и углублять свое научное мировоззрение, повышать свою квалификацию и мастерство, поддерживать здоровый образ жизни	Требования ФГОС (ОК-1, 2, 6, ПК-1). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P11	Свободно и грамотно пользоваться русским и иностранными языками как средством делового и профессионального общения, владеть навыками публичной дискуссии, создавать и редактировать тексты профессионального назначения.	Требования ФГОС (ОК-2). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P12	Уметь критически переосмысливать свой накопленный социальный и профессиональный опыт, изменять при необходимости профиль своей профессиональной деятельности, следовать этическим и правовым нормам и нести ответственность за последствия своей профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ОК-5, 7, ПК-3). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI

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

Институт: Физико-технический
Направление подготовки: Техническая физика
Кафедра: Экспериментальной физики

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой ВЭПТ

(Подпись) _____ (Дата) Кривобоков В.П.
(Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
ОДЗ1	Цапкову Александру Вячеславовичу

Тема работы:

Механические свойства тонкого покрытия гидроксипатита, сформированного на магниевом сплаве AZ91 методов ВЧ- магнетронного распыления при импульсном смещении	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	
Срок сдачи студентом выполненной работы:	

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Модифицированная установка ВЧ-магнетронного напыления с магнетронным источником, нанотвердомер, дифрактометр, сканирующий электронный микроскоп.
---------------------------------	--

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1. Обзор литературных источников 2. Постановка задачи исследования 3. Проведение экспериментов 4. Обсуждение экспериментальных результатов 5. Заключение
---	--

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	доцент кафедры менеджмента ИСГТ, к.э.н. Верховская М.В.
Социальная ответственность	ассистент кафедры ПФ ФТИ, к.ф.-м.н. Гоголева Т.С.

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Начальник Центра Технологий, доцент каф. ЭФ ФТИ	Сурменев Р.А.	к.ф.-м.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0Д31	Цапков Александр Вячеславович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
ОД31	Цапкову Александру Вячеславовичу

Институт	ФТИ	Кафедра	ЭФ
Уровень образования	бакалавр	Направление/специальность	16.03.01 Техническая физика/пучковые и плазменные технологии

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ):	– стоимость расходных материалов; – норматив заработной платы; – стоимость расхода электроэнергии.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	– коэффициенты для расчета заработной платы; – тариф на электроэнергию.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	– отчисления во внебюджетные фонды; – расчёт дополнительной заработной платы

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Планирование и формирование бюджета научных исследований Планирование процесса управления НИИ: структура и график проведения, бюджет, риски.	Определение трудоемкости выполнения работ. Разработка графика проведения научного исследования. Расчет материальных затрат НИИ. Основная заработная плата исполнителей темы. Отчисления на социальные нужды. Формирование бюджета затрат научно – исследовательского проекта.
2. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.	Анализ конкурентных технических решений. Потенциальные потребители результатов исследования. Выполнение SWOT-анализа проекта.
3. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективностей.	Проведение оценки экономической эффективности исследования.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Календарный график проведения исследования в виде диаграммы Ганта
2. Матрица SWOT
3. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)
4. Календарный план-график и бюджет НИИ.
5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИИ

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. МЕН ИСГТ	Верховская Марина Витальевна	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0Д31	Цапков Александр Вячеславович		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
ОД31	Цапкову Александру Вячеславовичу

Институт	ФТИ	Кафедра	ЭФ
Уровень образования	бакалавр	Направление/специальность	16.03.01 Техническая физика/пучковые и плазменные технологии

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. <i>Описание рабочего места (рабочей зоны) на предмет возникновения:</i>	<ul style="list-style-type: none"> – ВЧ- электромагнитные поля – Освещение – Шум – Сильные морозы – Диверсии
2. <i>Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме</i>	<ul style="list-style-type: none"> – электробезопасность; – пожаровзрывобезопасность; – требования охраны труда при работе на ПЭВМ.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</i>	<ul style="list-style-type: none"> – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты (коллективные и индивидуальные).
2. <i>Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</i>	<ul style="list-style-type: none"> – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры ПФ ФТИ ТПУ	Гоголева Татьяна Сергеевна	к.ф.-м.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОД31	Цапков Александр Вячеславович		

Оглавление

Реферат	11
Введение.....	12
1. Литературный обзор	15
1.1 Понятие биоматериалы. Требования, выдвигаемые к биоматериалам... 15	
1.2 Кальций-фосфатные материалы в медицине.....	17
1.3 Магниеые сплавы.....	18
1.4 Методы формирования покрытий ГА	18
2. Материалы и методы исследования КФ покрытий	23
2.1 Метод ВЧ-магнетронного распыления.....	23
2.2 Методы исследования покрытий	24
2.2.1 Рентгенофазовый анализ	24
2.2.2 Наноиндентирование	26
3. Результаты экспериментальных исследований покрытий ГА	28
3.1 Исследование структуры и фазового состава покрытий.....	28
3.2 Характеристика физико-механических свойств покрытий.....	31
3.3 Влияние структуры на механические свойства покрытий.....	34
Заключение	40
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение ...	41
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	41
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....	41
4.1.2 Анализ конкурентных технических решений	42
4.1.3 SWOT – анализ	44
4.2 Планирование научно-исследовательских работ	49
4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования	49
4.2.2 Определение трудоёмкости выполнения работ	50
4.2.3 Разработка графика проведения научного исследования	51
4.2.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ).....	55
4.2.5 Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты (за вычетом отходов).....	55

4.2.6	Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	56
4.2.7	Основная заработная плата	57
4.2.8	Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала	59
4.2.9	Отчисления на социальные нужды.....	59
4.2.10	Накладные расходы.....	60
5.	Социальная ответственность	61
5.1	Требования безопасности перед началом работы.....	62
5.2	Микроклимат в рабочей зоне	62
5.3	Расчет искусственной освещенности помещения.....	64
5.4	Проявление вредных факторов в лаборатории.....	67
5.5	Проявление опасных факторов в лаборатории.....	71
	Список публикаций.....	80
	Список использованной литературы.....	81

Реферат

Выпускная квалификационная работа 85 с., 12 рис., 25 табл., 39 источников.

Ключевые слова: ВЧ-магнетронное напыление, гидроксипатит, нанотвердость, модуль Юнга.

Объектом исследования являются характеристики разряда высокочастотной (ВЧ) магнетронной установки, и анализ их влияния на структуру биосовместимых кальций фосфатных покрытий.

Цель работы – исследование физико-механических свойств покрытия на основе гидроксипатита (ГА), сформированного методом ВЧ-магнетронного распыления на поверхности резорбируемого магниевое сплава AZ91.

В работе проводились экспериментальные исследования механических, структурных и морфологических свойств при различных режимах работы ВЧ-автоматизированной вакуумной ионно-плазменной установки модифицирования поверхности материалов медицинского назначения.

В результате исследования получены следующие основные научно-практические результаты:

- отработаны способы напыления кальций-фосфатных пленок методом ВЧ- магнетронного распыления;
- установлено влияние электрического смещения на подложке на механические свойства и структуру покрытия ГА;

Экономическая эффективность/значимость работы. Предложенный научно-исследовательский проект имеет не только научную новизну, но и заявляет о своей экологичности, энергоэффективности и экономической эффективности.

Введение

Актуальность темы. Проблема травматизма и заболеваний опорно-двигательной системы представляет собой одну из приоритетных областей в здравоохранении вследствие высокого уровня инвалидности и смертности. Ежегодно в Российской Федерации получают травмы свыше 13 миллионов человек, среди которых 30% - потеря трудоспособности. В Российской Федерации последствия травм граждан трудоспособного возраста выходят на первое место, имея при этом в последние годы тенденцию к устойчивому росту. Проблема опорно-двигательного аппарата имеет огромные масштабы: среди детей ежегодно регистрируется 219 случаев с врожденными заболеваниями костно-мышечной системы (КМС) на 10000 новорожденных [1]. Одним из наиболее востребованных способов лечения переломов и посттравматических осложнений является процесс остеосинтеза-соединения костей с помощью накостных и внутрикостных имплантатов, выполненных из металлов, призванных замещать в живом организме утраченные естественные ткани.

В настоящее время металлические имплантаты являются самыми распространенными в области имплантологии. Однако, высокие механические свойства большинства металлов способны вызывать эффект экранирования напряжения (stress shielding), приводящий к гипертрофии костной ткани, что нередко предшествует болям в поврежденной области.

Благодаря близким к человеческой кости механическим свойствам, магний позволяет устранять последствия экранирования напряжения, что способствует улучшенной биосовместимости имплантата с костной тканью [2]. Основным ограничением, препятствующим к его клиническому применению, является быстрая скорость растворения в хлоридсодержащей среде человека.

Одним из путей снижения скорости коррозии магния является формирование на его поверхности антикоррозионных защитных покрытий [3]. Наиболее перспективными является керамические покрытия на основе гидроксиапатита (ГА), вещества, наиболее приближенного по химическому и фазовому составу к минеральной компоненте костной ткани. Данное покрытие

обеспечивает биосовместимость и способность к остеоиндукции и остеокондукции имплантата с костной тканью. В дополнение, анализ литературы показал, что во многих случаях защитные покрытия на основе ГА, осажденные методом высокочастотного (ВЧ) – магнетронного распыления, увеличивали коррозионную стойкость биоматериалов [4].

Применение имплантата с биосовместимым покрытием дает возможность объединить высокие механические свойства материала и биологические особенности покрытия, которые придают поверхности имплантата свойства, максимально приближенные к свойствам костной ткани, что улучшает способность имплантата взаимодействовать с организмом [5].

Биоматериалы, претендующие на роль имплантатов, должны удовлетворять требованиям, диктуемым составом и свойствами костной ткани. Материал имплантата должен также обладать определенными механическими свойствами, из них приоритетными являются твердость и модуль упругости (Юнга).

В связи с этим, *целью* данной работы являлось исследование физико-механических свойств покрытия на основе ГА, сформированного методом ВЧ-магнетронного распыления на поверхности резорбируемого магниевых сплава AZ91.

Достижение цели потребовало решения следующих задач:

1. подготовить поверхности подложек магниевых сплавов перед осаждением покрытий;
2. сформировать покрытия на основе ГА методом ВЧ-магнетронного распыления;
3. исследовать фазовый состав и структуру покрытий, сформированных на поверхности магниевых сплавах;
4. исследовать механические свойства (нанотвердость, модуль Юнга) для полученных покрытий;
5. исследовать механизмы влияния ГА покрытий с определенной структурой и фазовым составом на механические характеристики.

1. Литературный обзор

1.1 Понятие биоматериалы. Требования, выдвигаемые к биоматериалам.

Биоматериалы – это материалы, обладающие небиологической формой возникновения и используемые в медицине с целью достижения взаимодействия с биологической системой. Во время использования данные материалы не вызывают воспаления или некроз окружающих тканей.

Под биоматериалами понимают материалы, постоянно контактирующие с тканями организма. Принято подразделять их на четыре основные группы в соответствии с их воздействием на окружающие ткани:

- токсичные;
- биоинертные;
- биоактивные;
- биodeградируемые (биоразрушаемые.)

Все материалы, за исключением токсичных, относятся к общей категории биосовместимых материалов.

Под *биоинертными* понимают материалы, при использовании которых, не наблюдается воспалительных процессов, благодаря чему они не вызывают отторжения организмом, сохраняя первоначальную структуру. В качестве примеров биоинертных материалов принято считать металлы (титан, магний) или керамику (двуокись циркония). В качестве *биоактивных* принято считать материалы, выполняющие биологические функции, имитируя естественные ткани. *Биоактивные материалы* – полимерные материалы, биостекла и некоторые виды керамики (гидроксиапатит). В то время, *биорезорбируемые* материалы под действием агрессивной физиологической среды человека способны к постепенному растворению и последующему замещению натуральными тканями. Чаще всего биорезорбируемыми материалами являются представители полимерных материалов.

В литературе часто под биоактивными подразумевают материалы, оказывающие направленное (положительное) влияние на окружающие ткани и способствующие активному "вживлению" и улучшенному функционированию имплантата.

Биоинертным можно считать титановый имплантат, но если его модифицировать определенным лекарственным веществом, его можно считать уже биоактивным. Если модифицировать титановый сплав покрытием ГА, это будет способствовать формированию костной ткани, что говорит о биоактивном покрытии. Таким образом, под биоактивными материалами понимается несколько более широкий класс материалов, чем в приведенной выше классификации.

Важной задачей биоимплантологии является исследование поведения биоактивного покрытия в физиологической среде. Целый ряд свойств способен влиять на процессы адаптации имплантата: химический состав, его морфология, шероховатость и поверхностная энергия.

Шероховатость поверхности имплантата оказывает влияние на пролиферацию клеток и их морфологию [6]. Большое влияние оказывает изменение рельефа поверхности. Например, рифление поверхности имплантата способствует лучшей адгезии клеток. Поскольку в настоящее время предлагается множество различных материалов для имплантации, понимание возможной реакции ткани позволяет специалисту по биоматериалам подобрать тот из них, который будет оптимально функционировать в данном конкретном случае.

Для использования биоматериалов в области имплантологии, должны быть удовлетворены требования, диктуемые свойствами натуральной костной ткани. Под свойствами понимают коррозионная устойчивость, биомеханическая совместимость и механические свойства: твердость, модуль упругости [7].

Имплантаты, обладающие более высокой твердостью, чем кость, удовлетворяют предъявляемым условиям использования. В свою очередь, модуль упругости (Юнга) имплантата должен быть максимально близким к таковому для кости. В зависимости от типа кости, модуль Юнга варьируется от

4 до 30 ГПа. Также имплантат должен иметь значения прочности и трещиностойкости, схожие со значениями для кости. Высокая прочность и трещиностойкость необходимы для надежной эксплуатации имплантата в организме.

Низкие износо- и коррозионная стойкость металлических имплантатов в коррозионной жидкой среде тела человека способствуют выходу ионов металла в организм. Было обнаружено [8], что такие ионы, как Ni^{2+} , Co^{3+} , Al^{3+} , Cr^{3+} , вызывают аллергические и токсические реакции в организме. Поэтому материалы, используемые в качестве имплантатов, не должны обладать токсичностью или должны иметь надежные защитные покрытия на поверхности, препятствующие выходу ионов металла в ткани организма человека.

Исходя из вышесказанного, материал имплантата и поверхность материала должна обеспечивать адсорбцию белков и адгезию клеток органического и минерального компонентов костного матрикса, физико-химическую связь, а также биомеханическую совместимость с поверхностью имплантата.

1.2 Кальций-фосфатные материалы в медицине

Кальций-фосфатный (КФ) материал представляет собой соединения ионов кальция (Ca^{2+}), фосфат ионов (PO_4^{3-}) и пирофосфат ионов ($\text{P}_2\text{O}_7^{4-}$) [9]. Одной с главных областей использования кальций-фосфатов (КФ) считается изготовление материалов, направленных на замену костной ткани. Это обуславливается их химическим однообразием с минеральным компонентом костной и зубной ткани организма. В связи с этим КФ считаются биосовместимыми, т.е. никак не отторгаются организмом. Это приводит к улучшенной остеоинтеграции имплантата с костной тканью. Помимо биосовместимости, КФ гарантируют адгезию и пролиферацию остеобластов.

Структурный состав костной ткани представляют собой сложное строение. В состав кости входит коллаген (25%), фосфаты кальция (65%) и вода

(10%). Коллаген кости необходим для предания тканям механической прочности при деформациях на растяжение и изгиб. Сопротивление при сжатии характеризуется минеральной составляющей – КФ соединением. Для замещения костных дефектов наиболее широко применяют формы КФ: β -трикальцийфосфат (β -ТКФ) и гидроксиапатит (ГА). Эти материалы выступают как самые стабильные, имеющие наименьшую скорость к коррозии и наиболее близкое соотношение элементов.

1.3 Магниевые сплавы

В работах [10-14] рассматривается использование магния и сплавов на его основе в роли биорезорбируемого имплантата. Благодаря их биосовместимости и приемлемым механическим свойствам материалы на основе магния являются перспективными в области медицины. В результате действия хлорсодержащей среды на поверхность материала, происходит резорбция, продукты которой (катионы магния) не токсичны для организма.

Основным фактором, ограничивающим клиническое использование является низкая коррозионная устойчивость к хлоридсодержащей среде. Это приводит к несвоевременному снижению механических характеристик имплантата. Формирование защитного антикоррозионных покрытия способно снизить скорость коррозии магния [15]. Однако, очень важно, не просто сформировать антикоррозионный слой, необходимо получить биоактивное покрытие, способное замедлять процесс коррозии.

В качестве объектов исследований были выбраны магниевые сплавы AZ91 (Al –9 мас. %, Zn –1 мас. %, Mg –90 мас. %), которые являются наиболее перспективными моделями, позволяющими отработать различные способы модифицирования поверхности магниевых сплавов с последующей целью увеличения их коррозионной стойкости.

1.4 Методы формирования покрытий ГА

Особый интерес модифицирования поверхностей различных металлических конструкций, предназначенных для медицинских целей привел к созданию большого количества методик формирования ГА покрытий. Основными методами для получения ГА покрытий являются:

- биомиметический метод;
- золь-гель технология;
- метод лазерной абляции;
- метод плазменного электролитического оксидирования;
- плазменное напыление;
- ВЧ-магнетронное распыление.

Биомиметический метод – способ нанесения кальций фосфатных покрытий, суть которого заключается в том, что на подложке, погруженной в имитирующий по минеральному составу раствор (SBF), формируется слой гидроксиапатита. Формирование покрытия происходит за счет гетерогенной нуклеации ГА из SBF раствора. Весь период процесса длится 14-28 дней при температуре 37 °С и значении pH=7,4.

В последние годы были проведены исследования [16-19], нацеленные на увеличения практической значимости данного метода. В работе (19), разрабатывались покрытия из гидроксиапатита на подложках из титанового сплава, погруженных в концентрированный раствор SBF (5xSBF). В качестве источника образования апатитовой пленки на поверхности подложки выступало стекло CaO-SiO₂.

В итоге покрытие, полученное путем погружения подложки в раствор 5XSBF, оказалось равномерным и имело достаточную толщину (200 мкм). Также было обнаружено, что покрытие плохо кристаллизуется. [20]

Золь-гель технология – метод, позволяющий получать наноструктурированные, аморфные кальций фосфатные покрытия на изделиях со сложной геометрией. На начальных этапах формирования слоя имеется возможность управления физико-механическими и химическими свойствами покрытия. Проведение дополнительного отжига увеличивает степень

кристалличности, но этот процесс приводит к ухудшению адгезии покрытия к подложке.

Также золь-гель метод применяется при производстве неорганических сорбентов, вяжущих неорганических веществ, катализаторов, синтетических цеолитов, керамики со специальными теплофизическими, оптическими, магнитными и электрическими свойствами, стекла и др.

Еще одним способом формирования ГА-покрытий является **метод лазерной абляции** (PLD, pulsed laser deposition) [21]. Данный метод позволяет получать плотные покрытия толщиной 0,5–5 мкм различной степени кристалличности. При этом существует возможность варьирования шероховатости поверхности покрытий изменением режимов процесса. Свойства покрытий зависят от параметров напыления, например, от источника для формирования абляционной плазмы (ArF, KrF или XeF). При использовании лазерной абляции на поверхности покрытия в силу специфики метода возможно образование конгломератов ГА.

Способ, позволяющий решить проблему коррозии является метод **плазменного-электролитического оксидирования** (ПЭО). Результатом ПЭО является формирование равномерных гетероксидных керамикоподобных слоев. Такие слои обладают хорошей коррозионной стойкостью, на образцах разных размеров и форм в электролитических системах. Плазменные разряды, реализуемые в ПЭО, способствуют формированию покрытия, в состав которых входит как элементы материала подложки, так и элементы электролита. Варьированием состава электролита и режимов ПЭО формируют покрытия с заданными свойствами, отвечающие поставленным требованиям.

Принцип **плазменного напыления** заключается в том, что электрическая дуга постоянного тока зажигается между двумя электродами, в то время как поток (смешанных) газов проходит через эту дугу. Происходит ионизация газа высокой температуры до 30000 С, с высокой скоростью, близкой к скорости звука из-за большого расширения в результате этого повышения температуры [22,23].

В результате на поверхности конденсации частицы деформируются, растекаются, кристаллизуются и агломерируют, формируя покрытие.

Величина сцепления покрытия с поверхностью подложки обуславливается многими технологическими факторами, такими как: параметр шероховатости поверхности подложки, температура плазменной струи, дисперсность порошка, температура подложки, дистанция напыления, скоростью частиц и составом плазмообразующего газа. В работе [23] продемонстрировано, что одним из важных параметров является дисперсность порошка, при этом максимальная адгезионная прочность ГА покрытия достигается при использовании порошка ГА с размером частиц 40-70 мкм. Степень развития удельной поверхности покрытия может быть на порядок величины больше, чем у исходного порошка, при этом пористость покрытия может изменяться от 5-10 до 50-60%. В структуре покрытия формируются как макропоры (>350 мкм), так и микропоры (<3 мкм), чем, в свою очередь, способствуют эффективному прорастанию костной ткани в поры имплантата. Но из-за такой развитой структуры плазменное покрытие может терять связь с подложкой, в то время как степень сцепления покрытия с костной тканью остается достаточно устойчивой, что и подтверждают исследования в работе [24].

Недостатками данного метода являются сложность контроля фазового состава и структуры покрытий, низкая адгезия покрытия. Кроме того, высокотемпературный режим нанесения покрытий служит причиной появления оксидных соединений, снижающих физико-механические свойства покрытий.

Метод *высокочастотного магнетронного распыления* позволяет получать однородные покрытия, но имеются трудности при осаждении на подложки сложной геометрической формы, тем не менее метод обладает рядом преимуществ в сравнении с другими методами: отсутствие перегрева подложки; низкая степень загрязнения напыляемых пленок; высокая скорость распыления при низких напряжениях (600–800 В) и при низких давлениях рабочего газа

$(5 \cdot 10^{-1} - 10)$ Па; возможность получения равномерных по толщине пленок не большой площади подложек.

Суть метода заключается в распылении поверхности мишени (распыляемого материала) при бомбардировке ионами рабочего газа (в большинстве случаев аргона), которые образуются в плазме тлеющего разряда. Но так как ГА является диэлектриком, мишень быстро накапливает положительный заряд, и в этом случае распыление мишени быстро прекращается. Для этого между анодом и катодом подается переменное напряжение. В таком случае мишень будет поочередно обрабатываться потоками положительно заряженных ионов и электронов [25]. Эффективность такого метода будет мала, но в принципе позволяет распылять мишени, выполненные из диэлектриков [26-28].

2. Материалы и методы исследования КФ покрытий

2.1 Метод ВЧ-магнетронного распыления

Для напыления покрытий использовалась автоматизированная вакуумная ионно-плазменная установка с генератором ВЧ-разряда (COMDEL, 13,56 МГц), блок-схема которой приведена на рисунке 2.1. Основные составные части технологического модуля: рабочая (вакуумная) камера; ВЧ-магнетрон; вакуумная система; система водяного охлаждения; механизм вращения стола; система напуска газа. Вакуумная камера имеет форму горизонтального цилиндрического сосуда с верхней крышкой. Охлаждение камеры осуществляется путем протекания воды через водяную рубашку крышки вакуумной камеры.

ВЧ-магнетрон расположен снизу и состоит из катодного узла и анода, установленных на едином коаксиальном вводе. Вакуумная система обеспечивает создание в рабочей камере необходимого рабочего давления и состоит из форвакуумного и турбомолекулярных насосов. Для обеспечения возможности контролируемого напуска смеси газов при напылении покрытий на установке предусмотрена 3х канальная система напуска рабочих газов. Система напуска газа состоит из напускных регулируемых клапанов (автоматических натекателей) со встроенными электронными блоками управления. В автоматическом режиме расход газа изменяется автоматически таким образом, чтобы давление в камере поддерживалось на заданном уровне. Датчиком давления служит вакуумметр на основе лампы ПМИ-10.

Режимы напыления покрытий представлены в таблице 2.1. При общих параметрах процесса, таких как давление рабочего газа (0,4 Па), мощность ВЧ-разряда (500 Вт) и расстояние мишень-подложка (43 мм). При постановке эксперимента было установлено, что выбранные условия являются экономически наиболее целесообразными, так как обеспечивает формирование покрытия на основе ГА с наиболее оптимальной скоростью.

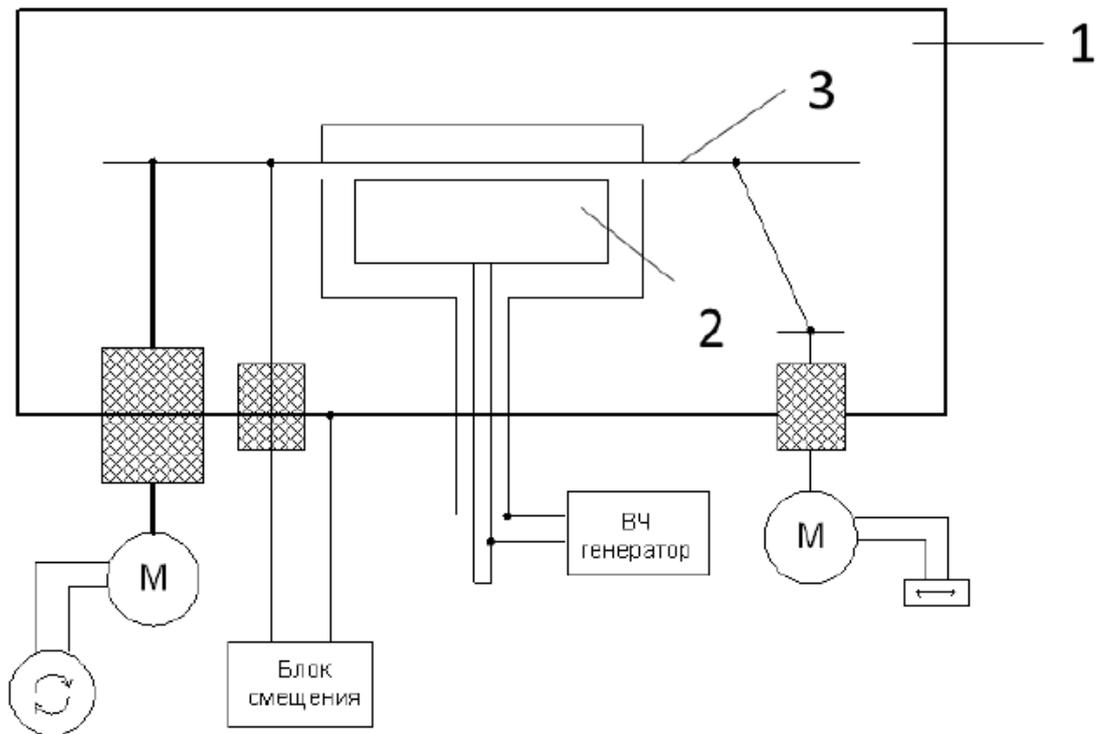


Рисунок 2.1 БЛОК-СХЕМА установки ВЧ-магнетронного распыления: 1 – вакуумная камера; 2 – магнетрон; 3 – подложкодержатель

Таблица 2.1 – Режимы напыления покрытий

Номер эксперимента	1	2	3	4	5	6
Чистка и нагрев	-	60 мин. + 60 мин.				
Напряжение смещения, В	ЗП		- 25		- 100	
Коэффициент заполнения D, %			10	70	10	70
Толщина покрытия d, нм	1463	1337	1384	1396	1516	888

2.2 Методы исследования покрытий

2.2.1 Рентгенофазовый анализ

Исследование структурно-фазового состава и текстуры покрытий проводили методом рентгенофазового анализа (РФА). Метод основан на дифракции волн при взаимодействии рентгеновского излучения с атомами кристаллической решетки изучаемого объекта. РФА позволяет анализировать

качество кристалла, фазовый состав, а также параметры кристаллической решетки.

Метод основан на законе Вульфа – Брэгга, который определяет условие отражения рентгеновских квантов на кристаллах. Необходимым условием для дифракции волн является сравнимость длины волны с межатомными расстояниями. Согласно данному закону, излучение, отраженное от соседних атомных плоскостей, будет усиливаться лишь в том случае, когда разность хода равна целому числу n длин волн λ . Уравнение Вульфа-Брэгга записывается следующим образом:

$$2d \sin\theta = n\lambda, \quad (1)$$

где d – межплоскостное расстояние; θ – брэгговский угол; λ – длина волны рентгеновского излучения; n – порядок дифракционного максимума.

Дифракционные пики в идеальном случае должны быть бесконечно узкими, однако в реальных условиях съемки наблюдается их смещение и уширение из-за различных эффектов. Смещение рентгенодифракционных пиков относительно эталонных индицирует изменение параметров кристаллической решетки исследуемого материала. Кроме того, данный эффект может быть вызван наличием напряжений в конденсированном слое. К симметричному уширению пика могут приводить ширина линии излучения $\text{CuK}\alpha$, диафрагма прибора, и не точная фокусировка пучка, а к несимметричному – наклон поверхности и прозрачность образца. Также на уширение линий РФА влияют структурные дефекты в образце. Расчет размера кристаллитов или области когерентного рассеяния (ОКР) осуществляется по формуле Шеррера:

$$D = \frac{k\lambda}{V \cos\theta}, \quad (2)$$

где k – постоянная, зависящая от формы кристаллита; λ – длина волны рентгеновского излучения; V – ширина на полувысоте; θ – брэгговский угол.

Для получения рентгенограммы поликристаллических покрытий в эксперименте использовался дифрактометр серии Smartlab diffractometer (Rigaku, Japan). Съемку проводили в геометрии Брэгга – Brentano при напряжении рентгеновской трубки 40 кВ и тока 30 мА. Размер шага 2θ составлял

0,05°, измерения проводили в диапазоне от 10° до 60°. Диффрактограммы анализировались с помощью программ Igor Pro, Origin.

Для интерпретации рентгенограмм использовалась база данных Объединенного комитета порошковых дифракционных стандартов International Center for Diffraction Data (ICDD): номер карточки для синтетического ГА (9-432). Использование основных характеристик дифракционных максимумов позволило рассчитать параметры решетки покрытия.

2.2.2 Наноиндентирование

Наноиндентирование – это испытание различных материалов методом индентирования, т.е. вдавливания в поверхность образца индентора, применяемое к нанобъемам материала (в нашем случае ГА покрытия, имеющие наноструктуры).

Типичная для этого метода экспериментальная кривая в виде графика зависимости нагрузки (P) от глубины вдавливания (h), а также отсканированное изображение отпечатка представлены на рисунке 2.2. Кривая состоит из двух частей, соответствующих процессу нагрузки и разгрузки.

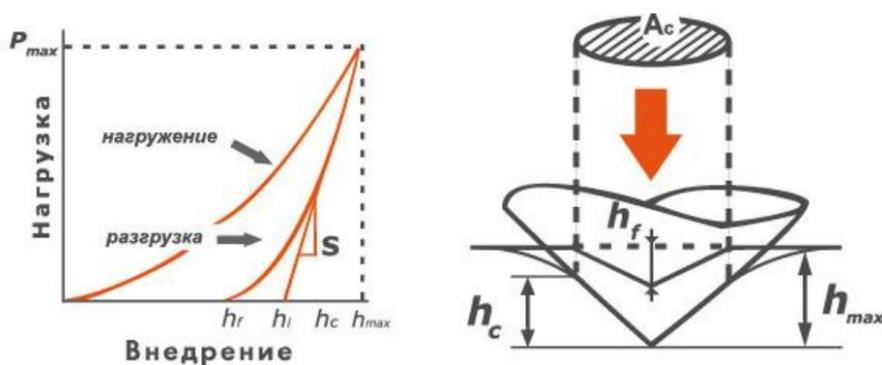


Рисунок 2.2 – Общий вид кривой нагружения и схема контакта с обозначениями величин, используемых в методике расчета модуля упругости и твердости

В рамках данного метода твердость H образца определяется уравнением:

$$H = \frac{P_{max}}{A_c}, \quad (3)$$

здесь A_c – это площадь проекции отпечатка при максимальном значении приложенной нагрузки P_{max} . Значение приведенного модуля упругости рассчитывается следующим образом:

$$E_r = \frac{1}{\beta} \cdot \frac{\sqrt{\pi}}{2} \cdot \frac{S}{\sqrt{A_c}}, \quad (4)$$

здесь константа β зависит от формы индентора, а жесткость контакта S определяется по углу наклона касательной к кривой разгрузки в точке P_{max} .

$$S = \left(\frac{dP}{dh} \right)_{P=P_{max}} \quad (5)$$

Площадь контакта при максимальной нагрузке A_c определяется геометрией индентора и глубиной контакта h_c и описывается так называемой функцией формы иглы. $A_c = f(h_c)$.

Исследование нанотвердости покрытий проводилось с помощью нанотвердомера TI-950 Triboindenter (HysitronInc., США) в ТГУ им. Г.Р. Державина, г. Тамбов. Значения нанотвердости и модуля Юнга определялись с помощью методик Оливера и Фарра [29].

При индентировании был использован индентор Берковича. Твёрдость определялась как отношение максимальной приложенной нагрузки к площади проекции пластического отпечатка и рассчитывалась по формуле $H = P_{max}/A_c$, где P_{max} – значение максимальной нагрузки, приложенной к материалу; A_c – площадь проекции отпечатка с учетом функции формы используемого индентора. A_c -для используемого индентора получают в виде экспериментальной зависимости $A_c = f(hP)$, которую аппроксимируют кривой вида $A_c = C_0 h_c^2 + \sum_{i=1}^n C_i h_c^{1/m}$, где $m = 1, 2, 4, 8, 16, 32$; h_c - глубина пластического отпечатка. Коэффициенты C_i учитывают реальную форму индентора (для индентора Берковича - $C_0=24,5$) - рассчитываются в процессе предварительной калибровки используемого индентора..

3. Результаты экспериментальных исследований покрытий ГА

3.1 Исследование структуры и фазового состава покрытий

Структура и фазовый состав являются важными характеристиками, поскольку оказывают определяющее влияние на функциональные свойства покрытий. На рентгенограммах покрытий, сформированных при распылении мишени ГА, кроме рефлексов материала подложки присутствуют рефлексы, соответствующие гексагональному ГА (Рисунок 3.1). На спектрах присутствуют следующие рефлексы ГА: $25,8^\circ$ (002), $31,7^\circ$ (211), $32,2^\circ$ (112).

Анализа структуры покрытия, осажденного при подаче отрицательного импульсного смещения на подложку, проводился с помощью рентгеновского дифрактометра Smartlab diffractometer (Rigaku, Japan). Параметры решетки ГА определены из базы данных International Center for Diffraction Data (ICDD #9-0432).

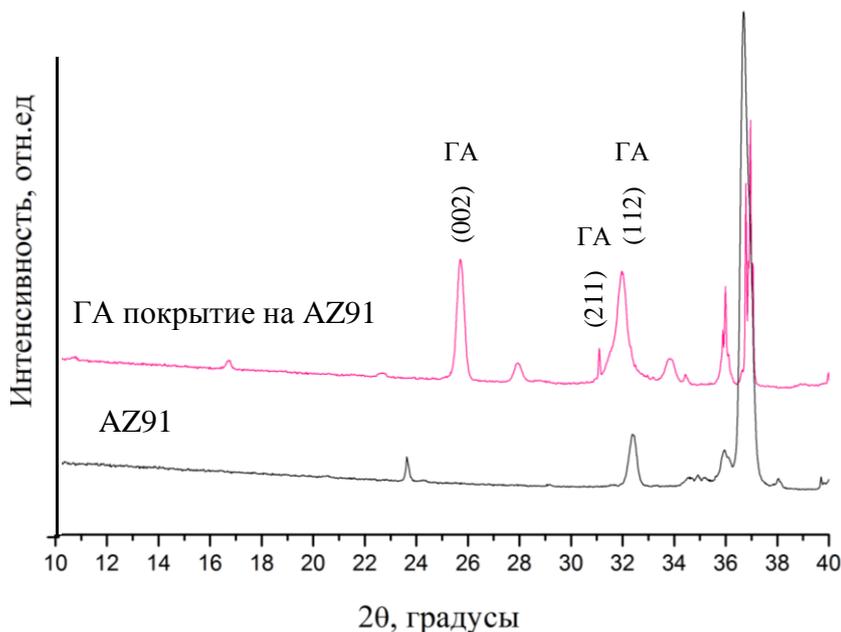


Рисунок 3.1 Типичные дифрактограммы ГА покрытия на подложке магниевого сплава AZ91

Для расчета размера кристаллитов и микроискажения кристаллической решетки ГА производили измерения вдоль кристаллографического направления

(002). Данное кристаллографическое направление было выбрано в связи с наличием наложений рефлексов подложки AZ91 на других углах. В качестве аппроксимации была выбрана функция Фойгта, удовлетворительно соответствующая физически уширенным профилям линии [30]. Данный метод представляет собой линейную комбинацию функций Гаусса и Лоренца [31]. Результаты расчета данных представлен в таблице 3.1.

В идеальном случае дифракционные пики должны быть бесконечно узкими, однако во время съемки наблюдается их смещение и уширения. Причиной смещения пиков является изменение параметров кристаллической решетки и наличие напряжений в конденсированном слое. К симметричному уширению пика могут приводить ширина линии излучения $\text{CuK}\alpha$, диафрагма прибора, и не точная фокусировка пучка, а к несимметричному – наклон поверхности и прозрачность образца. Также на уширение линий РФА влияют структурные дефекты в образце.

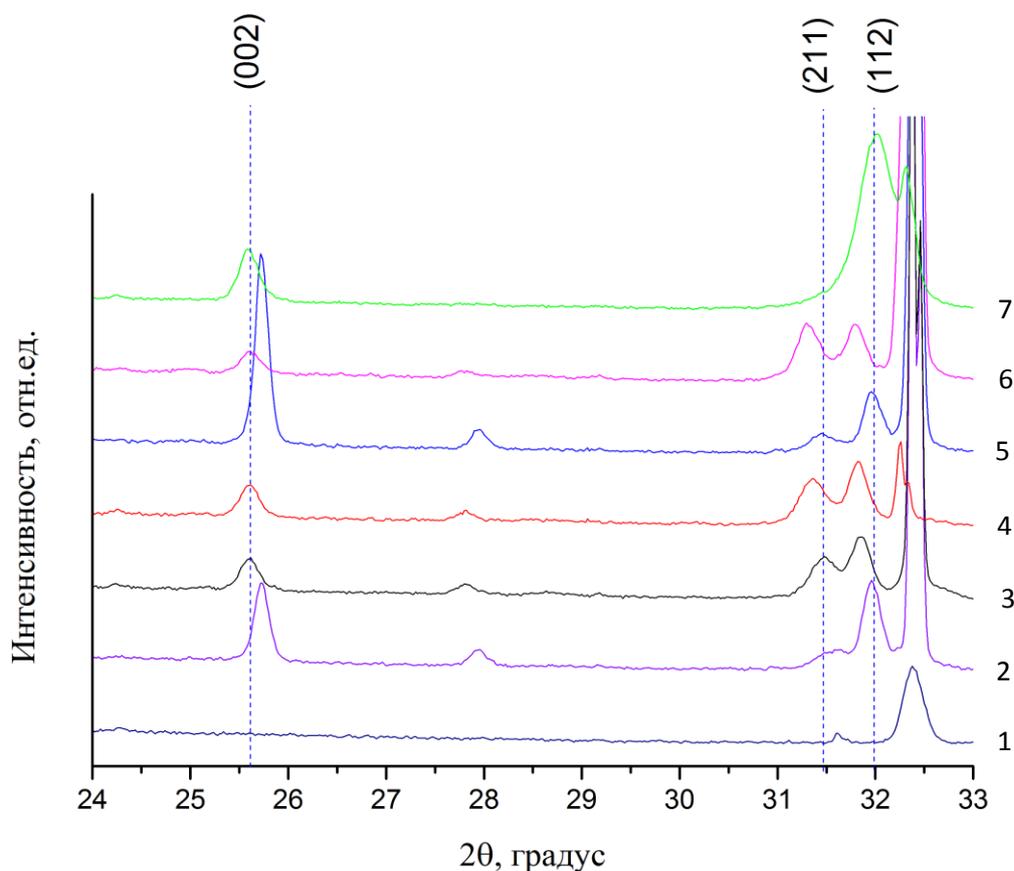


Рисунок 3.2. Рентгенограммы магниевого сплава AZ91 до и после осаждения ГА покрытия.

- 1) AZ91 магниевый сплав без покрытия ГА, 2) Заземленная подложка(ЗП), 3) Нагрев и чистка подложки + ЗП, 4) -25 В (10%), 5) -25 В (70%), 6) -100 В (10%), 7) -100 В (70%).

Таблица 3.1 Результаты расчетов размера кристаллитов и микроискажения кристаллической решетки ГА

Режим напыления покрытия	Размер кристаллитов $\langle D \rangle$, нм	Микроискажение кристаллической решетки $\langle e \rangle \cdot 10^{-4}$
ЗП	64	1,29
(*), ЗП	33	1,26
(*), -25 В (10%)	43	1,54
(*), -25 В (70%)	60	1,06
(*), -100 В (10%)	38	1,61
(*), -100 В (70%)	22	0,50

(*) – Предварительный нагрев и чистка подложки.

Электрическое отрицательное смещение на подложке оказывает влияние на процессы роста покрытий. Амплитуда напряжения смещения определяет кинетическую энергию ионов, ускоряемых в анодном промежутке, а коэффициент заполнения импульса указывает на мощность (количество энергии в единицу периода) ионов [32,33].

Исследование влияния предварительного нагрева и отрицательного смещения на подложку показало, что наличие предварительного нагрева и отрицательного импульсного смещения на подложку снижает размер кристаллитов. В свою очередь, повышение коэффициента заполнения приводит к увеличению размера зерна, это характерно для режимов -25 В (10%) и -25 В (70%), однако не наблюдается для режимов -100 В (10%) и -100 В (70%).

Из экспериментальных данных было установлено, что увеличение амплитуды отрицательного смещение приводит к повышению микронапряжений в кристаллической решетке с 0,000129 до 0,000154 и 0,000161 для режимов ЗП, -25 В (10%) и -100 В (10%), соответственно. В свою очередь, рост коэффициента заполнения приводит к уменьшению микроискажений.

3.2 Характеристика физико-механических свойств покрытий

Физико-механические свойства исследуемых покрытий ГА, в значительной мере определяют многие эксплуатационные характеристики имплантатов. Учитывая данные о характерных размерах толщины исследуемых покрытий, эксплуатационные физико–механические характеристики необходимо измерять при глубинах в несколько сотен нм, т.е. значения твердости и модуля Юнга пленок необходимо определять на наноуровне.

Исследование проводилось в диапазоне глубин отпечатка от 30 нм до 4 мкм и диапазоне нагрузок от 100 мкН до 500 мН. Это позволило проанализировать не только локальные физико–механические свойства покрытия, но также и композита покрытие–подложка, четко определив границу перехода в свойствах от свойств покрытия к свойствам материала, когда определяющую роль начинают играть уже свойства материала подложки.

Анализ полученных данных H и E в зависимости от h_c (рис.3.3) показывает о наличии масштабного фактора (зависимости определяемых величин от глубины отпечатка) практически для всех исследованных образцов, за исключением материала подложки, у которого зависимость H от h_c выражена слабо, а зависимость E от h_c вообще отсутствует (рис.3.4). Это свидетельствует о хорошем качестве подготовки материала подложки перед нанесением на нее покрытия ГА и правильности выбора материала подложки с точки зрения однородности локальных физико–механических свойств.

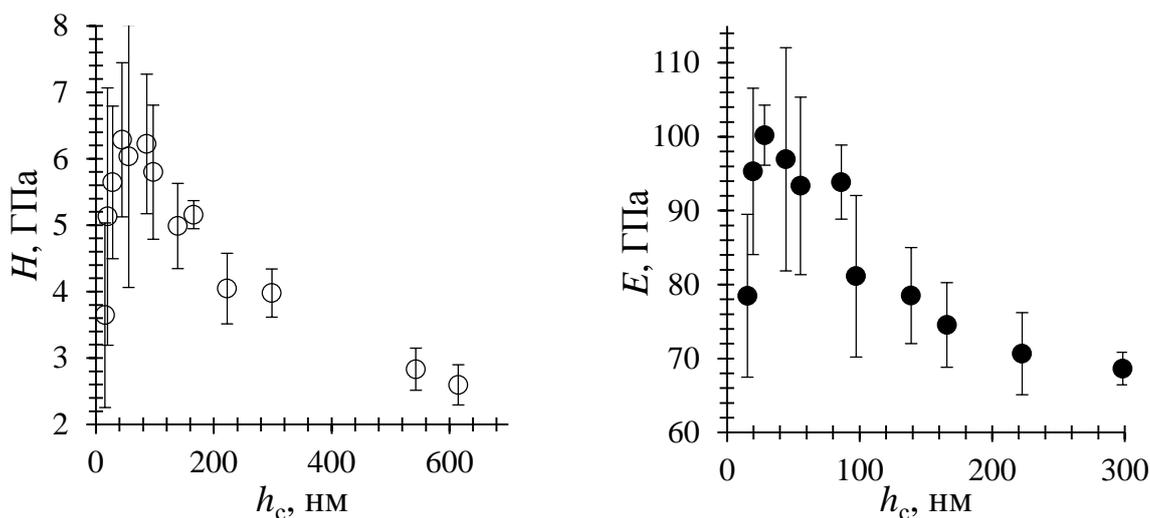


Рисунок 3.3 Зависимость твердости (H) и модуля Юнга (E) от глубины пластического отпечатка – h_c при индентировании образца AZ91 с ГА при заземленной подложке

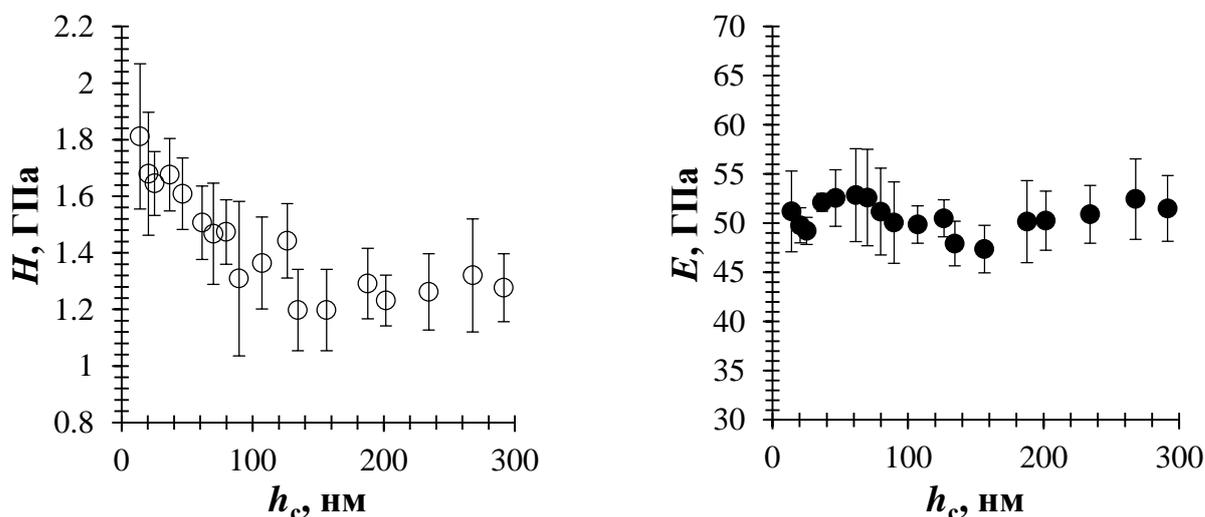


Рисунок 3.4 Зависимость твердости (H) и модуля Юнга (E) от глубины пластического отпечатка – h_c при индентировании материала подложки AZ91

Наличие масштабного фактора значительно усложняет задачу индентирования, поскольку тонкая твердая пленка находится на мягкой и эластичной подложке. Исходя из этого важно правильно выбирать параметр h_c , чтобы максимально уменьшить влияние подложки. Для качественного определения твердости и модуля упругости покрытий, необходимо выполнение условия $d/h_c > 10$, где d – толщина исследуемого покрытия. Помимо масштабного фактора на величину получаемых значений твердости будет оказывать шероховатость исследуемых образцов, которая сопоставима либо незначительно ниже глубины индентирования. Искомые образцы имели параметр $R_a = 70 \pm 10$

нм. Исходя из всего этого, оптимальной для проведения исследований была выбрана глубина индентирования 100 нм, полученные значения представлены в табл.3.2.

Анализ полученных результатов показывает, что наибольшее значение твердости 7,4 ГПа и 6,8 ГПа характерно для режимов -100 В (10%) и -100 В (70%), соответственно. В то время, наименьшее значения твердости 5,2 ГПа наблюдается у образца с напряжением смещения -25 В (70%).

Таблица 3.2. Механические характеристики пленок ГА.

Режим напыления покрытия	Твердость Н, ГПа	Модуль упругости Е, ГПа	Н/Е	Н ³ /Е ² , ГПа
ЗП	5,8 ± 1,7	78,8 ± 12,1	0,073	0,031
(*), ЗП	5,4 ± 1,8	97,7 ± 15,4	0,055	0,016
(*), -25 В (10%)	6,4 ± 0,6	87,3 ± 5,8	0,073	0,035
(*), -25 В (70%)	5,2 ± 0,9	76,9 ± 3,9	0,068	0,024
(*), -100 В (10%)	7,4 ± 0,3	94,5 ± 2,0	0,078	0,045
(*), -100 В (70%)	6,8 ± 0,8	77,6 ± 5,8	0,087	0,052
Подложка AZ91	1,4 ± 0,1	49,9 ± 1,9	0,027	0,001

(*) – Предварительный нагрев и чистка подложки.

Стоит также отметить, что у режимов без смещения (ЗП, нагрев и чистка + ЗП) наблюдается большой разброс значений Н и Е порядка 30% и 15%, соответственно. В свое время у остальных режимов средней разброс значений Н и Е значительно ниже и равняется 10% и 5%, соответственно. Следовательно, можно сделать вывод, что наиболее оптимальными с этой точки зрения являются режимы нанесения покрытия с использованием смещения. Предположительно, в результате подачи напряжения смещения происходит распыление внешних слоев пленки ионами рабочего газа и их последующее переосаждение, что приводит к сглаживанию поверхности. Этот факт может служить еще одним показателем качества наносимого покрытия и однородности его локальных физико-механических свойств.

Для оценки стойкости материала к упругой деформации разрушения используют величину отношения твердости к модулю Юнга H/E , называемую также индексом пластичности материала. Кроме того, для оценки механических свойств материалов используют параметр H^3/E^2 , описывающий сопротивление пластической деформации[34]. Полученные значения у полученного ГА покрытия значительно выше, чем у магниевое сплава AZ91, используемого в качестве материала подложки. Высокие величины параметров H/E и H^3/E^2 являются показателями высоких эксплуатационных свойств абразивного и эрозионного износа. Наилучшими результатами H/E и H^3/E^2 обладает образец со смещением -100 В (70%).

3.3 Влияние структуры на механические свойства покрытий

В случае использования метода ВЧ-магнетронного распыления известно, что условия напыления определяют форму и размер зерен, а также структуру поверхности [35].

На основе результатов, описанных в пунктах 3.1 и 3.2 в таблице 1. представлены экспериментальные данные покрытия ГА: скорость осаждения (v), твердость (H), модуль Юнга (E), индекс пластичности (H/E), сопротивление пластической деформации (H^3/E^2), размер кристаллитов (D) и микроискажение кристаллической решетки (ϵ).

Для исследования морфологии образцов был проведен СЭМ анализ поперечного сечения покрытий ГА, сформированных на магниевой подложке AZ91. Результаты исследования представлены на рисунке 3.5. Микроструктура поперечного сечения покрытий, сформированных при режимах 2-6, имеет схожий вид: наблюдается столбчатая структура (Рис.3.5а, Рис.3.5б), что характерно для метода ВЧ-магнетронного распыления.

Таблица 3.3. Экспериментальные результаты механических свойств и структурного анализа

	Режим напыления покрытия	H, ГПа	E, ГПа	H/E	H ³ /E ² , ГПа	<D>, нм	<e>*10 ⁻⁴	ТС(002)
1	ЗП	5,8 ± 1,7	78,8 ± 12,1	0,073	0,031	64,49	1,29	1,61
2	(*), ЗП	5,4 ± 1,8	97,7 ± 15,4	0,055	0,016	33,54	1,26	1,06
3	(*), -25 В (10%)	6,4 ± 0,6	87,3 ± 5,8	0,073	0,035	42,89	1,54	1,02
4	(*), -25 В (70%)	5,2 ± 0,9	76,9 ± 3,9	0,068	0,024	59,70	1,06	2,40
5	(*), -100 В (10%)	7,4 ± 0,3	94,5 ± 2,0	0,078	0,045	37,79	1,61	0,80
6	(*), -100 В (70%)	6,8 ± 0,8	77,6 ± 5,8	0,087	0,052	21,59	0,50	0,71
7	Подложка AZ91	1,4 ± 0,1	49,9 ± 1,9	0,027	0,001	-1		

(*) – Предварительный нагрев и чистка подложки.

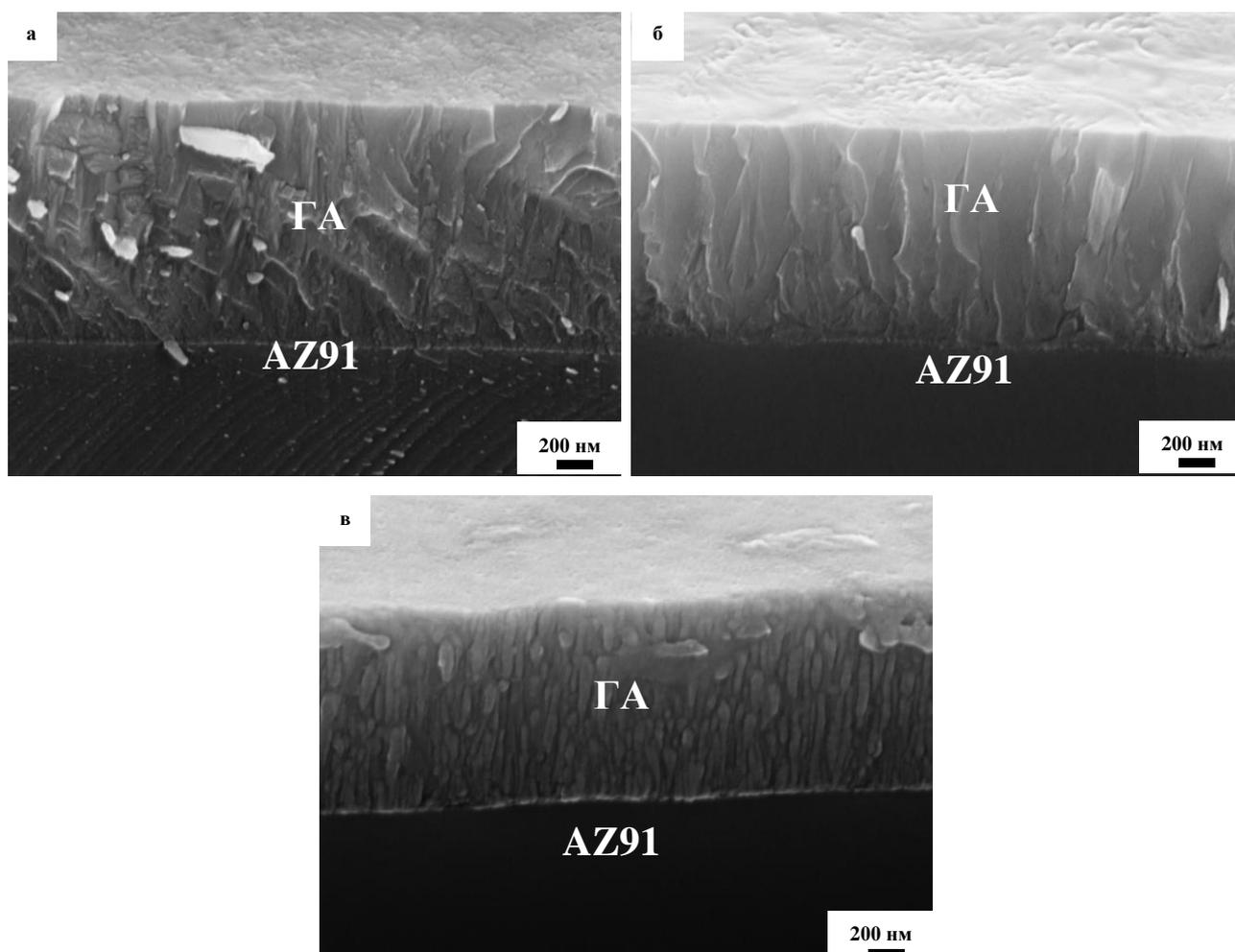


Таблица 3.5 СЭМ изображения поперечного сечения покрытия ГА при режимах: а) ЗП, б) предварительная чистка, нагрев + ЗП, в) предварительная чистка, нагрев и смещения -100 В (70%)

Как видно из снимков СЭМ, наличие предварительного нагрева и чистки значительно меняет поверхностный слой подложки, делая его более однородным. Чистка подложки ионной бомбардировкой позволяет избавиться от оксидного слоя, тем самым повышая адгезионную прочность сцепления покрытия к подложке [36].

Также отмечу, у режима -100 В (70%) (Рис.3.5в) отсутствует столбчатая структура. Вместо этого наблюдается образование равноосных зерен на основе ГА и межзеренных аморфных участков.

Анализ зависимостей твердости (Н) и модуля Юнга (Е) подложки от размера зерен (D) показывает (Рис. 3.6) уменьшение экспериментальных значений с увеличением размера кристаллитов. Величина твердости и модуля Юнга зависит от того, какой процесс является доминирующим в данном интервале размера зерен (рис.3.7) [37]. Максимальные значения твердости наблюдаются при размере кристаллитов (d_{max})= 15 ± 5 нм, что говорит о нанокристаллической фазе.

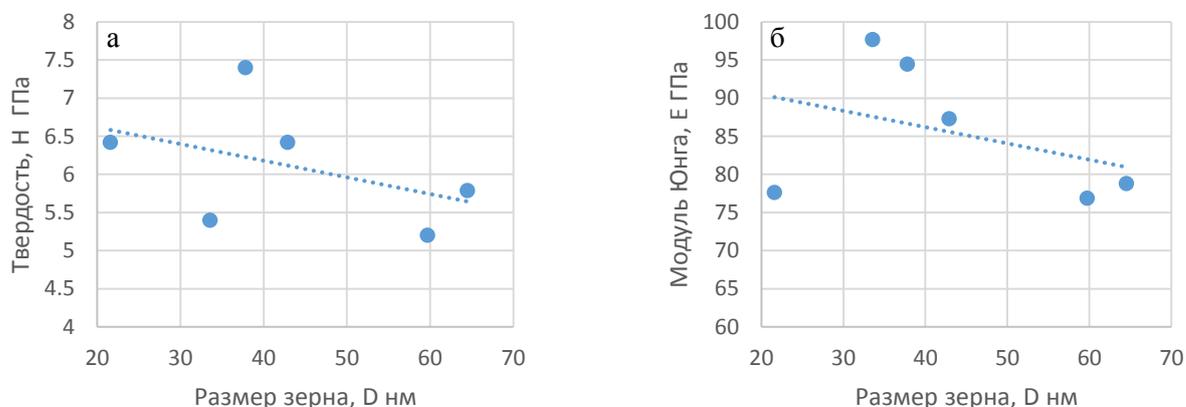


Рисунок.3.6 Экспериментальные зависимости а) твердости (H) и б) модуля Юнга (E) от размера кристаллитов.

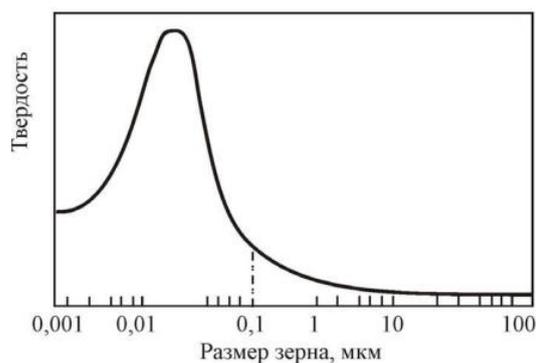


Рисунок 3.7 Схематическое представление твердости материалов в зависимости от размера кристаллитов[37].

Предварительная чистка и нагрев подложки приводят к уменьшению размера кристаллита приблизительно в два раза и незначительному уменьшению твердости. При режимах 25 В (10%) и 100 В (10%) наблюдается как увеличение размера кристаллита, так и увеличение твердости, относительно ЗП. Причиной этому служит уменьшение плотности дислокаций, что служит одним из методов упрочнения материала.

Варьирование коэффициента заполнения имеет неявную тенденцию. Анализ режимов 25 В (10%), 25 В (70%) показывает, что увеличение коэффициента заполнения с 10% до 70% приводит к увеличению размера кристаллитов с 42 нм до 59 нм, соответственно. В то время как для режимов 100 В (10%), 100 В (70%) характерно уменьшение твердости с уменьшением размеров кристаллитов. Причина связана с изменением структуры покрытия (Рис. 3.5в), за счет бомбардировки ионами с большей энергией. Для зависимости модуля упругости от размера кристаллита наблюдается аналогичная тенденция, как и в случае с твердостью.

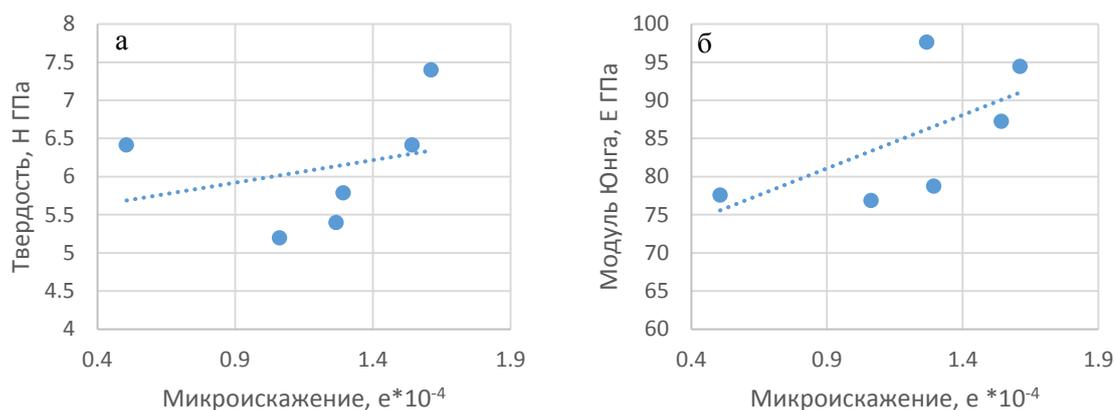


Рисунок 3.8 Экспериментальные зависимости а) твердости (H) и б) модуля Юнга (E) от микроискажения кристаллической решетки

Увеличение амплитуды импульсного смещения приводит к увеличению микроискажений кристаллической решетки при коэффициенте заполнения 10%. Так как при увеличении энергии ионов, достигающих поверхности конденсации, происходит формирование точечных дефектов и дислокаций в структуре покрытия. Однако стоит отметить, что по результатам, приведенным на рисунке 3.8, трудно оценить влияние микроискажений кристаллической решетки на механические свойства покрытиях ГА. Тем не менее объяснением наблюдаемых закономерностей может служить разница в преимущественной ориентации покрытий.

Зависимость нанотвердости и модуля Юнга от текстурного коэффициента представлены на рисунках 3.8. Анализ результатов исследования текстурного коэффициента показывает, что наличие отрицательного смещения приводит к уменьшению как твердости, так и модуля Юнга при увеличении текстурного коэффициента. Нужно отметить, что текстура или кристаллографическая ориентация покрытий наряду со структурно-фазовыми характеристиками во многом определяет функциональные свойства покрытий. Известно, что гексагональная структура ГА характеризуется анизотропией свойств. Ориентация зерен покрытия может иметь существенное значение при их использовании в качестве модифицирующего слоя на поверхности медицинских имплантатов.

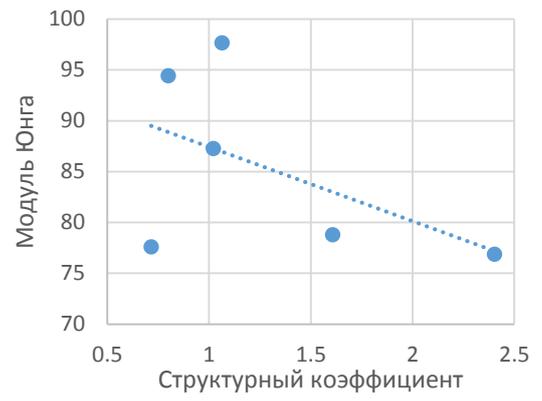
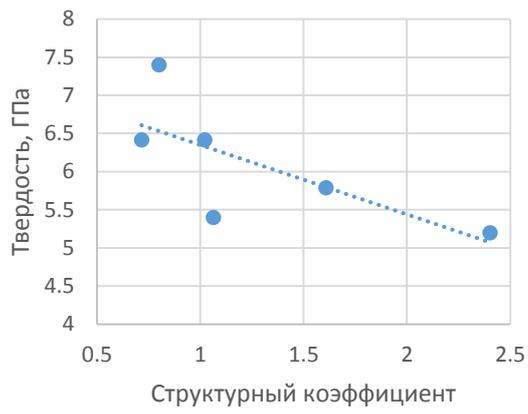


Рисунок 3.8 Экспериментальные зависимости а) твердости (H) и б) модуля Юнга (E) от значения текстурного коэффициента (002)

Заключение

1) Методом ВЧ-магнетронного распыления сформированы ГА покрытия на магниевых подложках AZ91. Исследованы морфология, фазовый состав покрытий ГА и подложек AZ91.

2) Исследование механических свойств подложки свидетельствует о хорошем качестве подготовки материала подложки перед нанесением на нее покрытия ГА и правильности выбора материала с точки зрения однородности локальных физико-механических свойств.

3) Обнаружена прямая зависимость нанотвердости и модуля Юнга покрытий ГА от микроискажений кристаллической решетки и размера кристаллитов в покрытии.

4) При глубине индентирования $h_c = 100$ нм оптимальным, с точки зрения среднего значения и отклонения, является режим со смещением -100 В и $K3 = 10\%$, обладающий, соответственно, $H = 7,4 \pm 0,32$ ГПа, $E = 94,46 \pm 2,03$ ГПа;

5) Значения H/E , H^3/E^2 полученного ГА покрытий значительно выше, чем у магниевых сплавов AZ91, используемого для материала подложки.

Высокие величины параметров H/E , H^3/E^2 являются показателями высокой износостойкости

6) Таким образом, ГА покрытия, сформированные на сплаве магния методом ВЧ-магнетронного осаждения, улучшают механические характеристики сплава и обнаруживают высокие эксплуатационные свойства абразивного и эрозионного износа, полученного биокompозита.

4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

В последние годы значительное внимание уделяется созданию материалов медицинского назначения, предназначенных для использования при реконструкции дефектов костных тканей, образующихся в результате патологических изменений в организме, обширных хирургических вмешательств или травм.

Использование материалов на основе фосфатов кальция, характеризующиеся биологической совместимостью с тканями организма и активностью по отношению к соединению с костной тканью и формированию новой костной ткани, предоставляет уникальные возможности в этом направлении.

В настоящее время лидирующее место среди материалов для получения биосовместимых покрытий на поверхности металлических имплантатов занимает гидроксипатит (ГА) $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ со структурой, близкой к структуре минеральных компонентов костной ткани. Эндопротез (имплантат) – протез, который устанавливается (имплантируется) в организм человека.

Эндопротез моделирует вид и форму нормального сустава и воспроизводит его функцию. Арсенал хирурга-ортопеда на сегодняшний день включает имплантаты для крупных суставов (тазобедренного, коленного, плечевого, локтевого, голеностопного) и мелких суставов стоп и пальцев рук.

Общая потребность в операциях по эндопротезированию суставов в России составляет около 300 тыс. в год (в среднем 27 операций на каждые 10 000 жителей РФ).

Согласно данным Росстата показатель травматизма (переломов) по состоянию на 2010 год достигает 43,87 случаев на 1000 человек в год (6225 тыс. случаев). Сюда включены данные по-взрослому и детскому контингенту. В период 2003-2009 данный показатель изменялся незначительно.

Так в 2003 году было зафиксировано 42 случая на 1000 человек. Максимальное значение было зафиксировано в 2007 году – 43,9 случаев на 1000 человек.

Экономическая и социальная эффективность проекта заключается в уменьшении длительности периода нетрудоспособности пациентов травматологического профиля и снижении процента инвалидности. Базовая часть выплат по инвалидности определяется статьей 15 ФЗ, в зависимости от степени, устанавливаемой МСЭ (медико-социальной экспертизы): так для I степени это 897 руб., для II 1794 руб., а для III – 3588 рублей ежемесячно. МРОТ составляет 4300 руб. в мес. В настоящее время в РФ затраты по оплате листов нетрудоспособности по травме составляют 33 000 000 руб. в год и по содержанию инвалидов 86 112 000 рублей в год. Использование имплантатов позволяет сократить расходы государства на оплату листов нетрудоспособности на 15 000 000 и на содержание инвалидов на 40 000 000 рублей в год (расчёт приведен для региона с численностью населения 1 млн. человек).

4.1.2 Анализ конкурентных технических решений

В настоящее время ортопедические имплантаты, исходя из среднестатистической стоимости УЕИ, по ценовому фактору можно разделить на две группы:

- Низкой стоимости;
- Премиум - класса.

К ортопедическим имплантатам низкой стоимости относится продукция следующих производителей: H.P.I. Medical, ООО «МЕДТЕХНИКА», Kanghui Medical, Konigsee Implantate GmbH, ВНИПИМИ, ЗАО «АРЕТЕ», Onur Medikal, ООО НПП "ЛиМ", BEZNOSKA s.r.o., ООО НПП "Имгтлант", Oitho Select GmbH, ООО «Остеосинтез», ChMSp. z o.o., Paradigm Spine GmbH. На долю данных производителей приходится около 95% от общего объема рынка в натуральном выражении и 98% в стоимостном выражении.

К ортопедическим имплантатам «Премиум-класса» относятся имплантаты следующих производителей: Aescular AG & Co. KG, Ulrich GmbH & Co. KG, ZIMMER GmbH, Synthes, Disc-O-Tech Medical Technologies Ltd., Stryker GmbH & Co KG

Недостаточное финансирование оказывает влияние на закупку отдельных видов эндопротезов: приходится экономить на более дорогостоящих и, вместе с тем, высокотехнологичных моделях. Вместо них закупают модели более низкого качества, но при этом более доступные по цене. При использовании таких моделей срок службы эндопротеза значительно сокращается, что ускоряет необходимость проведения повторной операции (ревизии). Но необходимо понимать, что ревизия может быть проведена, как правило, только один раз. Таким образом, установка «бюджетных» эндопротезов достаточно молодым людям может привести к ранней инвалидности, что усугубит и без того неблагоприятную ситуацию в стране, связанную с постоянным снижением процента трудоспособного населения.

Ценовой диапазон на ортопедические имплантаты весьма широк. Цена ортопедического имплантата определяется материалом, из которого изготовлен имплантат и формой образца (цена на пластины гораздо выше, чем на штифты). Так по состоянию на 2013 год разброс цен на УЕИ у разных производителей между максимальным и минимальным значением превышал в 60 раз. Так максимальное значение стоимости имплантата зафиксировано у Stiyker GmbH & Co KG, оно составляло 1145 \$ за УЕИ. Минимальное значение зафиксировано у H.P.I. Medical - 19 \$ за УЕИ. Данные приведены в таблице 17, диаграмме 16.

Стоимость ортопедических имплантатов определяется следующими факторами:

- материал, из которого изготовлен имплантат (как правило, в 99 % это магний или соединения магния);
- объем капитальных вложений производителем в дальнейшее развитие научной базы (некоторые производители имеют собственные институты: Straumann AG, Nobel Biocare);
- рекламная политика производителя;
- объемы продаж;
- каналы дистрибуции.

Процесс ценообразования ортопедических имплантатов импортного производства происходит по следующей схеме:

Формирование себестоимости производителем – формирование таможенной стоимости – формирование стоимости дистрибьютором – формирование конечной стоимости представителем.

Для ортопедических имплантатов нашего производства процесс ценообразования гораздо проще:

Формирование себестоимости производителем – формирование конечной стоимости представителем производителя в регионах

Упрощенный процесс ценообразования и правильность выбора производителя эндопротезов по критерию «соотношение цена/качество изделия» дает нам возможность производить и реализовывать продукцию по цене гораздо ниже по сравнению с зарубежными производителями для конечного потребителя (пациента, клиники).

4.1.3 SWOT – анализ

SWOT–анализ – применяется в процессе стратегического планирования, заключающийся в исследовании факторов внешней и внутренней среды проекта.

SWOT обозначает Strengths (сильные стороны), Weaknesses (Слабые стороны), Opportunities (возможности), Threats (угрозы).

Проводится в несколько этапов.

Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде. Дадим определение каждому из этих понятий.

Сильные стороны. Сильные стороны – это факторы, характеризующие конкурентоспособную сторону научно-исследовательского проекта. Сильные стороны свидетельствуют о том, что у проекта есть отличительное преимущество или особые ресурсы, являющиеся особенными с точки зрения конкуренции. Другими словами, сильные стороны – это ресурсы или возможности, которыми располагает руководство проекта и которые могут быть эффективно использованы для достижения поставленных целей.

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

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

Угроза представляет собой любую нежелательную ситуацию, тенденцию или изменение в условиях окружающей среды проекта, которые имеют разрушительный или угрожающий характер для его конкурентоспособности в настоящем или будущем. В качестве угрозы может выступать барьер,

ограничение или что-либо еще, что может повлечь за собой проблемы, разрушения, вред или ущерб, наносимый проекту.

Таблица 4.2 - SWOT–анализ

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта:	Слабые стороны научно-исследовательского проекта:
	<p>С1. Улучшение физико-механических свойств покрытий</p> <p>С2. Лучшая биосовместимость изделий</p> <p>С3. Большой срок эксплуатации изделий</p> <p>С4. Низкий расход материала</p> <p>С5. Возможность массового производства</p> <p>С6. Возможность нанесения покрытий на изделия сложной формы</p> <p>С7. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями.</p>	<p>Сл1. Сложность проведения клинических испытаний</p> <p>Сл2. Длительный процесс напыления покрытия на импланты/партию имплантов</p> <p>Сл3. Сложность вывода на рынок</p> <p>Сл4. Недостаток финансовых средств</p> <p>Сл5. Необходимость в длительной послеоперационной дополнительной иммобилизации;</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Быстрорастущая потребность в имплантах биосовместимым покрытием</p> <p>В2. Выгодное соотношение качество/цена</p> <p>В3. Работа высококлассными немецкими специалистами</p>		
Угрозы:		

У1. Присутствие на рынке зарубежных конкурентов		
У3. Слабое и несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства		

После того как сформулированы четыре области SWOT перейдем к выполнению второго этапа.

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

В рамках данного этапа необходимо построить интерактивную матрицу проекта. Ее использование помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей матрицы SWOT. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если нет соответствия сильной или слабой стороне.

Таблица 4.3 - Интерактивная матрица проекта

		Сильные стороны проекта						
		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
Возможности проекта	B1	0	0	+	0	+	+	+
	B2	+	+	+	+	+	+	+
	B3	+	+	-	-	-	0	0

На третьем этапе должна быть составлена итоговая матрица SWOT-анализа.

Используется построение вариантов действий, основанных на пересечении полей. Для этого рассматриваются возможные парные комбинации сочетания факторов внешней и внутренней среды и выбираются те, которые должны быть учтены при разработке стратегии.

Таблица 4.4 SWOT–анализ

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта:	Слабые стороны научно-исследовательского проекта:
	<p>С1. Улучшение физико-механических свойств покрытий</p> <p>С2. Лучшая биосовместимость изделий</p> <p>С3. Большой срок эксплуатации изделий</p> <p>С4. Низкий расход материала</p> <p>С5. Возможность массового производства</p> <p>С6. Возможность нанесения покрытий на изделия сложной формы</p> <p>С7. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями.</p>	<p>Сл1. Сложность проведения клинических испытаний</p> <p>Сл2. Длительный процесс напыления покрытия на импланты/партию имплантов</p> <p>Сл3. Сложность вывода на рынок</p> <p>Сл4. Недостаток финансовых средств</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Быстрорастущая потребность в имплантах биосовместимым покрытием</p> <p>В2. Выгодное соотношение качество/цена</p>	<p>Используя полученные достижения в области разработки биосовместимых покрытий можно создать конкурентоспособную российскую продукцию на мировом рынке.</p>	<p>Импланты будут соответствовать необходимым требованиям для вывода на рынок</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Присутствие на рынке зарубежных конкурентов</p> <p>У3. Слабое и несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства</p>	<p>Большой процент от общего объема рынка приходится на долю зарубежных производителей имплантов.</p>	<p>Сложность реализации проекта</p>

Поле СВ показывает, какие сильные стороны необходимо использовать, чтобы получить отдачу от возможностей во внешней среде.

Поле СлВ показывает, за счет каких возможностей внешней среды организация сможет преодолеть имеющиеся слабости.

Поле СУ показывает, какие силы необходимо использовать организации для устранения угроз.

Поле СлУ показывает, от каких слабостей необходимо избавиться, чтобы попытаться предотвратить нависшую угрозу.

4.2 Планирование научно-исследовательских работ

4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Научно-исследовательские работы и опытно-конструкторские разработки разбиваются на этапы в соответствии с ГОСТ 15.101-98, (для НИР) ГОСТ Р 15.201-2000 (для ОКР). В зависимости от характера и сложности НИОКР ГОСТ допускает разделение этапов на отдельные виды работ [25].

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты, численность групп может варьироваться. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

Примерный порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 4.3.

Таблица 4.3 - Перечень этапов, работ и распределение исполнителей.

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель темы
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Студент
	3	Выбор направления исследований	Руководитель, студент
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель
Теоретические исследования	5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Студент
	6	Выбор оптимальных параметров для расчёта	Руководитель, студент
	7	Определение масс-зарядового состояния плазмы	Руководитель, студент
	8	Оценка правильности полученных результатов	Руководитель, студент
	9	Построение графиков	Студент
Обобщение и оценка результатов	10	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, студент
	11	Определение целесообразности проведения ВКР	
Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ВКР)	12	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	студент
	13	Проверка правильности выполнения ГОСТа пояснительной записки	Руководитель, студент
	14	Поиск путей оптимизации разработки	Руководитель, студент

4.2.2 Определение трудоёмкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаях образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение

трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожі}$ используется следующая формула (4.1):

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5}, \quad (4.1)$$

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

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p (6), учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{p_i} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (4.2)$$

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

4.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ [24].

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой (4.3):

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}},$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях; T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях; $k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле (4.4):

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

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году; $T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году; $T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе T_{ki} необходимо округлить до целого числа.

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 118 - 14} = 1,56$$

Все рассчитанные значения необходимо свести в таблицу (табл. 4.4).

Таблица 4.4 — Временные показатели проведения научного исследования (Р – научный руководитель; С – студент)

Название работы	Трудоёмкость работ			Исполнители	Длительность в раб. днях, T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}
	t_{min} , чел-дни	t_{max} , чел-дни	$t_{\text{ож}}$, чел-дни			
1. Составление и утверждение технического задания	1	3	1,8	Р	0,9	1
2. Выбор направления исследования проводимых в рамках ВКР	1	2	1,4	С,Р	0,7	1
3. Подбор и изучение материалов по теме	7	10	8,2	С,Р	8,2	12

4. Календарное планирование работ по теме	1	6	3	P	1,5	2
5. Проведение теоретических расчетов и обоснований	2	5	3,2	C	1,6	2
6. Выбор оптимальных параметров для расчёта	1	3	1,8	C,P	0,9	1
7. Разработка методик для расчёта различных ионов с разными Z/M	5	10	7	C,P	7	10
8. Оценка правильности полученных результатов	2	7	4	C	4	6
9. Построение графиков	4	5	4,4	C	4,4	7
10. Составление пояснительной записки	4	5	4,4	C,P	2,2	3
11. Проверка правильности выполнения ГОСТа пояснительной записки	4	7	5,2	C,P	5,2	8
12. Поиск путей оптимизации разработки	4	5	4,4	C,P	4,4	7

На основе табл. 4.4 выше строится календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работы в рамках научно-исследовательского проекта и представлен в таблице 4.5 с разбивкой по месяцам и неделям за период времени дипломирования.

Диаграмма Ганта – это тип столбчатых диаграмм (гистограмм), который используется для иллюстрации календарного плана проекта, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

График строится в виде табл. 4.7 с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени выполнения научного проекта. При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Таблица 4.5 — Календарный план-график проведения НИР по теме

№ работ	Вид работ	Исполнители	T_{ki} кал. · дн.	Продолжительность выполнения работ															
				март.				апрель				май				июнь			
				1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Составление и утверждение технического задания	Р	1	■															
2	Выбор направления исследований проводимых в рамках ВКР	С, Р	1,1	■															
3	Подбор и изучение материалов по теме	С	10		■														
4	Календарное планирование работ по теме	Р	1			■													
5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	С	10			■	■	■											
6	Выбор оптимальных параметров для расчёта	С, Р	4,1								■	■							
7	Разработка методик для определения разных ионов с Z/M	С, Р	4,1								■								
8	Оценка правильности полученных результатов	С	10								■	■	■						

затрат производится по действующим прейскурантам или договорным ценам. В стоимость материальных затрат включают транспортно-заготовительные расходы (3 – 5 % от цены). В эту же статью включаются затраты на оформление документации (канцелярские принадлежности, тиражирование материалов). Результаты по данной статье заносятся в табл. 4.8:

Таблица 4.8 – Сырье, материалы, комплектующие изделия и покупные полуфабрикаты

№	Материал	Единица материала	Цена, руб/ед.	Количество материала	Затраты, руб.
1	Магний AZ91	кг	450	1	450
2	Мишень из гидроксиапатита	шт	30 тыс.	1	30 тыс.
3	Аргон	л	212	40	8,5 тыс.
4	Ацетон	мл	106,6	500	106,6
5	Плавиковая кислота (HF)	кг	250	1	250
6	Азотная кислота (HNO ₃)	л	950	1	950
7	Дистиллированная вода	л	55	1	55
ИТОГО					40311,6

4.2.6 Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме. Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене.

Таблица 4.9 – Спецоборудование для научной работы

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования
1	Вакуумная электронно-пусковая установка «СОЛО»	1
2	Установка «Comdel» с ВЧ магнетронным источником	1

3	Нанотвердомер TI-950 Triboindenter	1
4	Дифрактометр фирмы Smartlab diffractometer	1
5	Компьютер	1

Вышеуказанное спецоборудование для научных работ были в лаборатории. Для оборудования не было финансовых расходов.

4.2.7 Основная заработная плата

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы оплаты труда. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы (размер определяется Положением об оплате труда). Расчет основной заработной платы сводится в табл. 4.10:

Таблица 4.10– Расчет основной заработной платы

№ п/п	Исполнители по категориям	Трудоемкость, чел.-дн.	Зарплата, приходящаяся на один чел.-дн., руб.	Всего заработная плата по тарифу (окладам), руб.
1	Руководитель	69	337	23250
2	Студент	126		-
Итого:				23250

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением проекта, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату.

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп} = 96590,34 \quad (1)$$

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

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата руководителя рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{раб}} = 87809,4 \quad (2)$$

где $T_{\text{раб}}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб.дн. (Таблица 4.11);

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = (Z_{\text{м}} \cdot M) / F_{\text{д}} = 1272,6 \quad (3)$$

где $Z_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб (в качестве месячного оклада студента выступает стипендия, которая составляет 2600руб);

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

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

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала (в рабочих днях).

Баланс рабочего времени представлен в таблице 4.11

Таблица 4.11 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
-выходные дни	56	104
-праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
-отпуск	48	24
-невыходы по болезни	–	–
Действительный годовой фонд рабочего времени	247	223

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{б}} \cdot k_{\text{р}} = 30225 \text{ руб}, \quad (4)$$

где $Z_{\text{б}}$ – базовый оклад, руб; $k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, равный 1,3.

Результаты расчета основной заработной платы представлены в таблице 4.12:

Таблица 4.12 – Расчёт основной заработной платы.

Исполнители	$Z_{\text{б}}$, руб.	$k_{\text{р}}$	$Z_{\text{м}}$, руб	$Z_{\text{дн}}$, руб.	$T_{\text{раб}}$ раб.дн.	$Z_{\text{осн}}$, руб.
-------------	-----------------------	----------------	----------------------	------------------------	--------------------------	-------------------------

Руководитель	23250	1.3	30225	1272,6	69	87809,4
Студент	-	-	2600	-	-	-

4.2.8 Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала

Дополнительная заработная плата включает оплату за непроработанное время (очередной и учебный отпуск, выполнение государственных обязанностей, выплата вознаграждений за выслугу лет и т.п.) и рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}, \quad (5)$$

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

$k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной зарплаты ($k_{\text{доп}} = 0,1$);

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

В таблице 4.13 приведен расчёт основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 4.13 – Заработная плата исполнителей НИР

Заработная плата	Руководитель	Студент
Основная зарплата	87809,4	2600
Дополнительная зарплата	8780,94	–
Зарплата исполнителя	96590,34	2600
Итого по статье Сзп, руб	99190,34	

4.2.9 Отчисления на социальные нужды

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,3 \cdot 96590,34 = 28977,102 \text{ руб.} \quad (6)$$

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

4.2.10 Накладные расходы

В эту статью включаются затраты на управление и хозяйственное обслуживание, которые могут быть отнесены непосредственно на конкретную тему. Кроме того, сюда относятся расходы по содержанию, эксплуатации и ремонту оборудования, производственного инструмента и инвентаря, зданий, сооружений и др. В расчетах эти расходы принимаются в размере 70 - 90 % от суммы основной заработной платы научно-производственного персонала данной научно-технической организации.

Накладные расходы составляют 80-100 % от суммы основной и дополнительной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,8 \cdot 96590,34 = 77272,27 \text{ руб.} \quad (7)$$

где $k_{\text{накл}}$ – коэффициент накладных расходов.

Таблица 4.14 – Группировка затрат по статьям

№	Статьи затрат	Сумма, руб.
1	Материальные затраты	40317,6
3	Затраты на интернет	1400
4	Затраты на оплату труда	99190,34
5	Отчисления на социальные нужды	28977,102
6	Накладные расходы	77272,27
7	Прочие расходы (2% от полной зарплаты)	19318,068
Полная себестоимость НИР		266475,4

5. Социальная ответственность

Целью работы является исследование энергетических характеристик ВЧ-магнетронной плазмы – температуры и концентрации электронов, изучение влияния на них различных режимов мощности и отрицательного импульсного потенциала смещения с различными коэффициентами заполнения. А также исследование влияния параметров плазмы на структуру биосовместимого кальций фосфатного покрытия.

Общая организация работы по охране труда в лаборатории возложена на ответственного за лабораторию. Ответственный за лабораторию организывает и проводит инструктаж работников лаборатории по технике безопасности.

К работе в лаборатории допускаются лица не моложе 18 лет, прошедшие медицинскую комиссию, обучение и аттестованные по правилам техники безопасности при работе с оборудованием.

Лаборанты допускаются до работы при наличии следующих средств индивидуальной защиты: халат хлопчатобумажный, перчатки резиновые.

Помещение лаборатории оборудовано противопожарным инвентарем (пожарный рукав со стволом, огнетушители марки ОП-4).

В помещении лаборатории разработана и утверждена схема эвакуации персонала на случай пожара или других чрезвычайных ситуаций. Двери эвакуационных выходов открываются наружу.

Лаборатория оборудована приточно-вытяжной вентиляцией, имеет водопровод, канализацию, подводку электроэнергии и центральное отопление.

5.1 Требования безопасности перед началом работы

Работники лаборатории обязаны:

- знать расположение первичных средств пожаротушения и уметь ими пользоваться;
- пользоваться средствами индивидуальной защиты;
- уметь оказывать доврачебную медицинскую помощь при несчастных случаях;
- содержать в порядке помещение лаборатории и ее оснащение;
- пользоваться исправными приборами и оборудованием;
- не допускать в помещение лаборатории посторонних лиц;
- все работники лаборатории обязаны работать в спецодежде [7].

5.2 Микроклимат в рабочей зоне

Микроклимат в рабочем помещении оказывает непосредственное влияние на самочувствие работников [7]. В соответствии с СанПиН 2.2.4.548-96 и ГОСТ 12.1.005-88 (2001):

Таблица 1. Показатели микроклимата в рабочей зоне.

Контролируемые показатели	Оптимальные нормы для рабочего места		Допустимые нормы для рабочего места	
	В холодный и переходный периоды года	В теплый период года	В холодный и переходный периоды года	В теплый период года
Температура, °С	20-23	22-25	19-25	23-28
Относительная влажность, %	40-60	40-60	не более 75	не более 55 (при 28°С)

Скорость движения воздуха, м/с	не более 0,2	не более 0,2	не более 0,2	не более 0,5
--------------------------------	--------------	--------------	--------------	--------------

Отклонение от указанных норм создает дискомфорт, вызывает быструю утомляемость человека.

Основные средства, поддерживающие микроклимат – отопительная система и система вентиляции. Отопительная система компенсирует потерю теплоты через строительные ограждения, а так же нагрев воздуха, поступающего в помещение в холодное время года.

Вентиляционные системы соответствуют нормам, оговоренным в ГОСТ 12.1.005-88 (2001) "Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны". По имеющимся данным, кондиционирование воздуха может повысить производительность труда на 4-10%. Другой путь обеспечения воздухообмена достигнут установлением в оконных рамах автономных кондиционеров. Режим работы кондиционера обеспечивает максимально возможное поступление наружного воздуха, но не менее 50% от производительности кондиционера.

В целях исключения влияния на микроклимат солнечной радиации и создания равномерного естественного освещения для окон предусмотрены солнцезащитные регулируемые устройства, типа жалюзи, расположенные снаружи.

Также крайне важным фактором является качественный состав воздуха, концентрации загрязняющих и вредных веществ соответствуют ГН 2.2.5.1313-03 и ГН 2.2.5.1314-03. Это концентрации, которые при ежедневном 8-ми часовом рабочем дне и в течение всего рабочего стажа не вызывают заболеваний и отклонений состояния здоровья.

В производственных помещениях, в которых работа с использованием ПЭВМ является вспомогательной, температура, относительная влажность и

скорость движения воздуха на рабочих местах соответствует действующим санитарным нормам микроклимата производственных помещений.

В производственных помещениях, в которых работа с использованием ПЭВМ является основной (диспетчерские, операторские, расчетные, кабины и посты управления, залы вычислительной техники и др.) и связана с нервно-эмоциональным напряжением, обеспечены оптимальные параметры микроклимата для категории работ 1а и 1б в соответствии с действующими санитарно-эпидемиологическими нормативами микроклимата производственных помещений. На других рабочих местах поддерживаются параметры микроклимата на допустимом уровне, соответствующем требованиям указанных в СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 нормативов.

Выводы: помещение, в котором проводилась данная работа, оборудована системой приточно-вытяжной вентиляции и окна оборудованы солнцезащитными регулируемыми устройствами - жалюзи. Качественный состав воздуха соответствует санитарным нормам и правилам. Таким образом, микроклимат в рабочей зоне подходит для нормальной работоспособности сотрудников.

5.3 Расчет искусственной освещенности помещения

Верный расчет искусственного освещения один из факторов создания уютной атмосферы в помещении [1]. Следовательно, расчет искусственного освещения влияет на:

- работоспособность и утомляемость сотрудников, а значит, на производительность труда;
- условия труда;
- качество выполняемых работ;
- психологическое состояние человека;
- безопасность жизнедеятельности;
- энергозатраты;

- подбор оборудования для осветительной установки.

Для создания нормальных условий, на рабочем месте провели нормирование освещенности в зависимости от размеров объекта различения, контраста объекта с фоном. Определение нормированной освещенности проводилось по разрядам и подразрядам выполняемых работ. Для работ, выполняемых операторам, отвели четвертый разряд и подразряд «Б». Минимальное значение нормированной освещенности согласно СНиП 23-05-95 $E_{\min}=200\text{Лк}$ для общей системы освещения.

Для расчета общего освещения воспользовались методом коэффициента использования светового потока. Расчетная формула для вычисления светового потока для создания нужного освещения:

$$\Phi = E_{\text{нор}} \cdot S \cdot K_z \cdot Z / q \cdot f,$$

где $E_{\text{нор}}$ – нормируемая минимальная освещенность 200Лк;

K_z – коэффициент запаса, учитывающий запыленность светильников и износ источников света в процессе эксплуатации;

S – освещаемая площадь;

Z – коэффициент неравномерности освещенности (отношение средней освещенности к минимальной) = 1,1;

q – коэффициент использования потока;

f – коэффициент затемнения, принимается равным 0,9.

$K_z = 1,5$ при условии чистки светильников не реже четырех раз в год
длина помещения $A=5$ м.

ширина помещения $B=3$ м.

высота $H_{\text{пом}}=3$ м.

$$i = S / h(A+B)$$

Коэффициенты отражения стен и потолка примем равными $R_{\text{ст}}=30$, $R_{\text{п}}=50$.

Для индекса $i=1$, коэффициентов $R_{\text{ст}}=30$, $R_{\text{п}}=50$, коэффициент использования $q=0,28$.

Следовательно, получили:

$$\Phi = 200 * 1,5 * 15 * 1,1 / 0,28 * 0,9 = 19642,857 \text{ люм};$$

Выбирали в качестве источника света люминесцентную лампу ЛБ – 65, которая имеет номинальное значение светового потока 4800 Лм. Тогда для создания необходимого светового потока (уровня освещенности) потребовалось.

$$N = 19642,857 / 4800 = 4,09 \approx 4 \text{ люм}$$

Так как в светильнике стоит по две лампы, то необходимо 2 светильника.

Эффективность осветительной установки определяли также и качественные показатели освещенности: цветопередача, пульсация освещенности, показатель ослепляемости, равномерность распределения яркости. Индексом цветопередачи 50–55 и цветовой температурой 3500–3600 К (невысокие требования к цветоразличению). Таким характеристикам соответствуют лампы типа ЛБ.

Допустимая пульсация освещенности регламентируется в СНиП 23-05-95 коэффициентом пульсации. Для 4-го разряда зрительной работы его значение не превысило 20 %. Поэтому лампы типа ЛБ необходимо включать по схеме с искусственным сдвигом фаз для снижения коэффициента пульсации с 24 % до 10,5 %.

Слепящее действие светильников регламентируется в СНиП 23-05-95 максимально допустимым значением показателем ослеплённости. Для 4-го разряда зрительной работы его значение не превысило 40.

Равномерность распределения яркости характеризовалось отношением максимальной освещенности к минимальной. Это отношение не превысило 3 согласно СНиП 23-05-95 для 4-го разряда зрительной работы.

Цветопередача определила влияние спектрального состава излучения искусственного источника света на воспринимаемый цвет объектов по сравнению с цветом этих объектов, при освещении этих объектов стандартным источником света. Оценка цветопередачи источника производилась по цветовой температуре и индексу цветопередачи. Согласно СНиП 23-05-95 при освещенности 300Лк и более рекомендуется источник света с индексом цветопередачи 50–55 и цветовой температурой 3500–3600 К (невысокие

требования к цветоразличению). Таким характеристикам соответствуют лампы типа ЛБ.

5.4 Проявление вредных факторов в лаборатории

Вредный производственный фактор - производственный фактор, воздействие которого на работника может привести к его заболеванию.

Опасный производственный фактор - производственный фактор, воздействие которого на работника может привести к его травме [1].

При рассмотрении основного рабочего места к вредным факторам можно отнести следующее:

Шум - беспорядочное сочетание различных по силе и частоте звуков; способен оказывать неблагоприятное воздействие на организм. Источником шума является любой процесс, вызывающий местное изменение давления или механические колебания в твердых, жидких или газообразных средах.

Для снижения шума применены следующие методы:

- 1) уменьшение шума в источнике;
- 2) изменение направленности излучения;
- 3) рациональная планировка предприятий и цехов, акустическая обработка помещений;
- 4) уменьшение шума на пути его распространения. Уменьшение шума в источнике. Борьба с шумом посредством уменьшения его в источнике является наиболее рациональной.

Шум механизмов возникает вследствие упругих колебаний как всей машины в целом, так и отдельных ее деталей. Причины возникновения этих колебаний — механические, аэродинамические и электрические явления, определяемые конструкцией и характером работы механизма, а также

технологические неточности, допущенные при его изготовлении и, наконец, условиями эксплуатации [3].

Таблица 2. Допустимые уровни звукового давления и эквивалентного уровня звука

Рабочие места	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Помещения лабораторий для проведения экспериментов	103	91	83	77	73	70	68	66	64	75

Вибрация представляет собой сложный колебательный процесс в широком диапазоне частот, возникающий в результате передачи колебательной энергии от какого-то источника в твердом теле.

Механические вибрации возникают практически во всех механизмах с разными амплитудами и присутствующими частотами, поэтому они могут быть моно-, би-, и полигармонические, случайные с широким диапазоном частот.

Все используемые методы и средства снижения вибрации на производстве можно разделить на методы уменьшения вибраций в источнике, методы организации условий труда, направленных на снижение вредного воздействия вибраций на работающих, средства индивидуальной защиты и лечебно-профилактические мероприятия [4].

В лаборатории источником шума и вибрации являются приточно-вытяжная вентиляция. Нормы шума и вибрации нормируется по ГОСТ 12.1.003-99 ССБТ «Шум. Общие требования эксплуатации» и ГОСТ 12.1.012-90 «Вибрационная безопасность. Общие требования в помещениях, где работают инженерно-технические работники, осуществляющие контрольный или измерительный процесс».

Электромагнитное поле. Известно, что около проводника, по которому протекает ток, возникают одновременно и электрическое, и магнитное поля. Если ток не меняется во времени, то эти поля не зависят друг от друга. При переменном токе магнитное и электрическое поля взаимосвязаны и представляют собой единое электромагнитное поле.

Воздействие электромагнитных полей на человека зависит от напряжённостей электрического и магнитного полей, потока энергии, размера облучаемой поверхности тела и индивидуальных особенностей организма.

В постоянном электрическом поле ткани живого организма в той или иной мере поляризуются. В переменном электромагнитном поле электрические свойства тканей организма оказываются зависящими от частоты, причём с возрастанием частоты они всё более теряют свойства диэлектриков и приобретают свойства проводников. Поглощаемая тканями энергия электромагнитного поля превращается в тепловую.

Наиболее интенсивно электромагнитные поля воздействуют на органы с большим содержанием воды. Перегрев же особенно вреден для тканей со слабо развитой системой или с недостаточным кровообращением, таких как глаза, мозг, почки и др. Воздействие электромагнитных полей вызывает морфологические изменения в тканях – ожоги, омертвления, кровоизлияния, изменение структуры клеток, нарушение питания тканей и органов [3].

Электромагнитные поля оказывают специфическое воздействие на ткани человека при интенсивности излучения значительно меньше теплового порога. Они изменяют ориентацию клеток и цепей молекул, в соответствии с направлением силовых линий электрического поля, ослабляют биохимическую активность белковых молекул, нарушают функции сердечнососудистой системы и обмен веществ. Однако, эти изменения носят обратимый характер: достаточно прекратить облучение и болезненные явления исчезают.

Длительное систематическое воздействие электромагнитных полей на организм человека приводит к функциональным изменениям, в первую очередь нервной системы. Появляются головная боль, нарушение сна, утомляемость, изменение состава крови и т.д.

В качестве предельно допустимых норм интенсивности излучения на рабочих местах приняты следующие значения:

- при облучении в течение всего рабочего дня $I=10$ мкВт/см²;
- при облучении до 2 часов за рабочий день $I = 100$ мкВт/см²;
- при облучении в течение 15 – 20 мин за рабочий день, при обязательном использовании защитных очков, $I = 1000$ мкВт/см², в остальное время не более 10 мкВт/см².

Защита необходима для обеспечения безопасности персонала, обслуживающего оборудование. Она осуществляется специальными защитными экранами, расстоянием до источника излучения и регламентацией времени пребывания в зоне облучения.

Защита расстоянием является наиболее простым методом. Он применим для персонала, которому нет необходимости находиться вблизи источников электромагнитного излучения, а также в случаях возможности дистанционного управления установкой.

Для защиты от электромагнитных излучений применяют заземлённые экраны.

К средствам индивидуальной защиты от электромагнитного излучения относятся комбинезоны и халаты из металлизированной ткани, осуществляющие защиту организма человека по принципу сетчатого экрана.

Для защиты глаз применяют очки марки ЗП5-90, вмонтированные в капюшон или применяемые отдельно [5].

5.5 Проявление опасных факторов в лаборатории

5.5.1 Вредные вещества

Вредное вещество – это вещество, которое в случае нарушения требований безопасности может вызвать производственные травмы, профессиональные заболевания или отклонения в состоянии здоровья, обнаруживаемые как в процессе работы, так и в отдаленные сроки жизни настоящих последующих поколений. Вредные вещества, выделяющиеся в воздух рабочей зоны, изменяют его состав, в результате чего он существенно может отличаться от состава атмосферного воздуха.

Проникновение вредных веществ в организм человека происходит через дыхательные пути (основной путь), а также через кожу и с пищей, если человек принимает ее находясь на рабочем месте. Действие этих веществ, следует принимать как действие опасных или вредных производственных факторов, так как они оказывают негативное (токсическое) действие. Токсичность – ядовитость, способность некоторых химических и биологических веществ оказывать вредное воздействие на живые организмы. В результате действия этих веществ у человека возникает отравление – болезненное состояние, тяжесть которого зависит от продолжительности воздействия, концентрации и вида вредного вещества.

Для соблюдения мер безопасности при работе в лаборатории, во время выделения вредных газообразных веществ, предусмотрены следующие мероприятия:

- соблюдение мер личной гигиены;
- система вентиляционных сооружений;
- применение средств индивидуальной защиты (респираторы, резиновые перчатки, спецодежда);

- применение специальных систем по направленному отводу газов окисления;

- ежедневная уборка рабочей зоны.

Для воздуха рабочей зоны в производственных помещениях в соответствии с ГОСТ 12.1.005 – 88 установили предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ. ПДК выражаются в миллиграммах (мг) вредного вещества, приходящегося на 1 кубический метр воздуха, т. е. мг/м³.

Оздоровление воздушной среды достигается снижением содержания в ней вредных веществ до безопасных значений (не превышающих величины ПДК на данное вещество), а так же поддержанием требуемых параметров микроклимата в производственном помещении. Снизить содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны можно, используя технологические процессы и оборудование, при которых вредные вещества либо не образуются, либо не попадают в воздух рабочей зоны. Герметизированное оборудование должно исключать попадание различных вредных веществ в воздух рабочей зоны или значительно снижать в нем концентрацию их. Для поддержания в воздухе безопасной концентрации вредных веществ используют системы вентиляции.

Для выполнения экспериментальной части дипломной работы использовались растворы для электрополировки, травления, содержащие плавиковую, азотную и серную кислоты. А также изготавливались шлифы. Для всех металлографических исследований изготавливались шлифы, которые могут быть использованы для микроскопического исследования с помощью светового и электронного микроскопов, для определения микротвердости, а также количественного измерения структурных составляющих и электронно-зондового микроанализа. По степени воздействия на организм плавиковая кислота относится к первому классу (чрезвычайно опасные вещества), остальные принадлежат ко второму классу, т.е. высоко опасные вещества.

Плавиковая кислота (фтороводородная кислота) – водный раствор фтороводорода. Плавиковая кислота сильно ядовита. Обладает слабым наркотическим действием. Возможны острые и хронические отравления с изменением крови и кроветворных органов, органов пищеварительной системы, отёк легких. Обладает выраженным ингаляционным действием, раздражающим действием на кожу и слизистые оболочки глаз (вызывает болезненные ожоги и изъязвления); кожно-резорбтивным, эмбриотропным, мутагенным и кумулятивным действием. Ей присвоен первый класс опасности для окружающей среды. При попадании на кожу в первый момент не вызывает сильной боли, легко и незаметно всасывается, но через короткое время вызывает отёк, боль, химический ожог и общетоксическое действие. Симптомы от воздействия слабо концентрированных растворов могут появиться через сутки и даже более после попадания их на кожу. Токсичность плавиковой кислоты и её растворимых солей предположительно объясняется способностью свободных ионов фтора связывать биологически важные ионы кальция и магния в нерастворимые соли. Специфические antidotes практически отсутствуют, поэтому при сорбции кожей смертельной дозы фтороводорода человек может жить несколько суток (на наркотиках), но без надежды на спасение. ПДК в воздухе рабочей зоны максимально разовая $0,5 \text{ мг/м}^3$, среднесуточная $0,1 \text{ мг/м}^3$.

Азотная кислота и её пары очень вредны: пары вызывают раздражение дыхательных путей, а сама кислота оставляет на коже долгозаживающие язвы. ПДК м.р. = $0,4 \text{ мг/м}^3$, ПДК с.с. = $0,15 \text{ мг/м}^3$.

Для проведения исследовательской работы были использованы пылеобразные наполнители. В процессе работы с ними малые частички пыли выделялись в окружающую среду.

5.5.2 Электробезопасность

Согласно ПУЭ 7.4 «Правила устройства электроустановок» помещение, в котором находится ВЧ-магнетронная установка предназначенная для

нанесения кальций фосфатных покрытий относится к помещениям с повышенной опасностью поражения людей электрическим током. В лаборатории находятся и применяются электрические установки с классами напряжения до 10 кВ [5].

Для снижения опасности поражения электрическим током, рабочие соблюдают все правила техники безопасности согласно представленным нормативным документам. Применение только одних организационных и технических мероприятий по предупреждению поражения электрическим током не может в полной мере обеспечить необходимую электробезопасность при эксплуатации электроустановок. Это возможно, если наряду с выполнением предписанных ПТЭ и ПТБ потребителей организационных защитных мер использовать технические средства защиты, к которым относят: электрическую изоляцию токоведущих частей, защитное заземление, зануление ГОСТ 12.1.038-82, выравнивание потенциалов, защитное отключение, электрическое разделение сети, малое напряжение, двойную изоляцию. Использование этих средств в различных сочетаниях позволяет обеспечить защиту людей от прикосновения к токоведущим частям, от опасности перехода напряжения на металлические нетоковедущие части.

5.5.3 Пожарная безопасность

Пожарная безопасность объекта - состояние объекта, при котором с регламентируемой вероятностью исключается возможность возникновения и развития пожара и воздействия на людей опасных факторов пожара, а также обеспечивается защита материальных ценностей [7].

Правила пожарной безопасности - комплекс положений, устанавливающих порядок соблюдения требований и норм пожарной безопасности при строительстве и эксплуатации объекта (ГОСТ 12.1.033-81 (2001))

Классификация зданий, сооружений и помещений по пожарной и взрывопожарной опасности применяется для установления требований

пожарной безопасности, направленных на предотвращение возможности возникновения пожара и обеспечение противопожарной защиты людей и имущества в случае возникновения пожара в зданиях, сооружениях и помещениях.

По пожарной и взрывопожарной опасности помещения производственного и складского назначения независимо от их функционального назначения подразделяются на следующие категории:

- 1) повышенная взрывопожароопасность (А);
- 2) взрывопожароопасность (Б);
- 3) пожароопасность (В1 - В4);
- 4) умеренная пожароопасность (Г);
- 5) пониженная пожароопасность (Д).

К категориям В1 - В4 относятся помещения, в которых находятся (обращаются) горючие и трудногорючие жидкости, твердые горючие и трудногорючие вещества и материалы (в том числе пыли и волокна), вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом только гореть, при условии, что помещения, в которых они находятся (обращаются), не относятся к категории А или Б.

Отнесение помещения к категории В1, В2, В3 или В4 осуществляется в зависимости от количества и способа размещения пожарной нагрузки в указанном помещении и его объемно-планировочных характеристик, а также от пожароопасных свойств веществ и материалов, составляющих пожарную нагрузку.

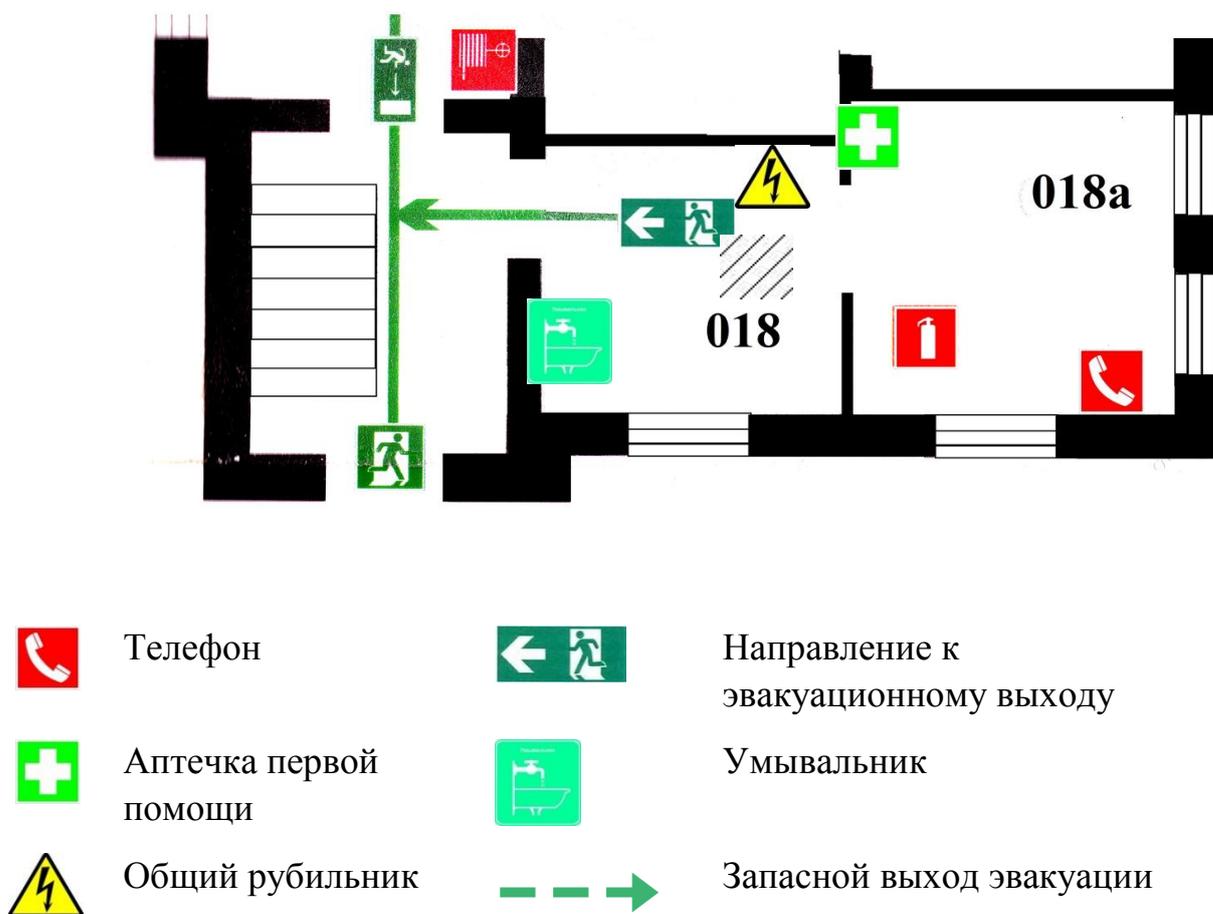
В лаборатории разработаны инструкции о мерах пожарной безопасности для каждого взрывопожароопасного и пожароопасного участка (мастерской, цеха и т. п.) в соответствии с приложением № 1 ППБ 01-03

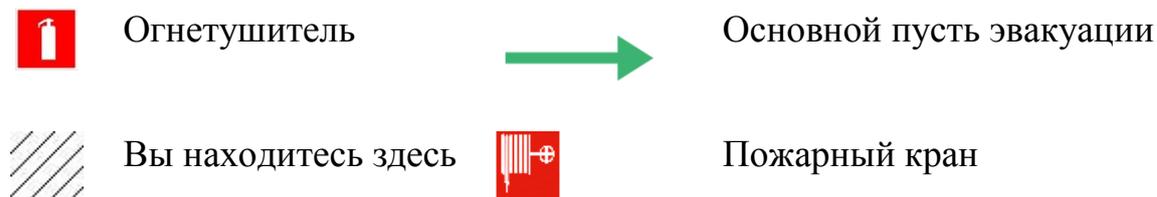
Все работники лаборатории допускаться к работе только после прохождения противопожарного инструктажа, а при изменении специфики работы проходят дополнительное обучение по предупреждению и тушению возможных пожаров в порядке, установленном ответственным за лабораторию.

Пожарные краны, огнетушители и другая пожарная техника для защиты объектов соответствует (ГОСТ 12.1.004-91 с измен. 21.10.1993 г). Так, огнетушители размещены в легкодоступных и заметных местах, где исключено попадание на них прямых солнечных лучей и непосредственное (без заградительных щитков) воздействие отопительных и нагревательных приборов.

Выводы: помещение, в котором производились исследования по данной работе, относится к классу В3, помещение оборудовано переносными огнетушителями марки ОП-4 и отвечает всем требованиям пожарной безопасности.

Рисунок 1 План эвакуации при пожаре





5.5.4 Меры безопасности при обращении с газовыми баллонами

К работе с газовыми баллонами допущены лица, прошедшие обучение и имеющие соответствующее удостоверение. Не допускается работа с неисправными баллонами, а также с баллонами, имеющими истёкший срок хранения, за исключением слива баллонов при негерметичности газового арматурного блока или других фитингов (ГОСТ 12.1.010-76 Группа Т58).

Установка баллонов не допускается вблизи открытого огня, работающих электроприборов, а также запрещается курение. Баллоны при заправке и сливе устанавливаются на заземлённую поверхность. Обязательно наличие исправного огнетушителя.

Обслуживающий персонал имеет одежду из неоплавляемой ткани, на руках перчатки или рукавицы.

Заправка газовых баллонов производится вне помещений на специально оборудованных станциях.

Совместное хранение исправных и неисправных баллонов, а также баллонов с истекшим сроком технического освидетельствования не допускается.

При хранении на баллонах закрыты все вентили и установлены заглушки.

[6]

5.6 Защита в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайная ситуация представляет собой обстановку на определенной территории, сложившуюся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного бедствия или иного действия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей природной среде, значительные материальные потери или нарушения условий жизнедеятельности людей [7].

Чрезвычайные ситуации социального характера имеют свою классификацию по определенным признакам, например, по причинам возникновения – непреднамеренные, вызванные случайными обстоятельствами, не зависящими от действий конкретных людей или общественных сил (чаще всего связаны со стихийными бедствиями, неурожаями, эпидемиями и проч.), и преднамеренные, спровоцированные действиями людей и общественными группировками (межнациональные и политические конфликты, войны и т. п.). По продолжительности действия – кратковременные (террористический акт, покушение, бандитский налет и т. д.) и долговременные (инфляция, безработица, межэтнический конфликт, война и т. п.).

В нашем случае возможно возникновение чрезвычайной ситуации двух видов: сильные морозы и диверсия.

Для предотвращения чрезвычайных ситуаций в лаборатории разработаны ряд мер по борьбе с ними. В случае если температура воздуха снизится ниже критической и это приведет к ЧС, в лаборатории имеется генератор аварийного освещения, дополнительные обогреватели, работающие на электричестве и необходимый запас горячего в соседнем помещении, количество которого хватит до прибытия МЧС. На случай диверсии в корпусе, в котором находится лаборатория, имеется вахта, на которой круглосуточно дежурит дежурный. Также в корпусе имеются камеры видеонаблюдения записи, с

которых поступают на вахту, и сигнализация, которая оповестит персонал в случае проникновения посторонних.

Список публикаций

1. Цапков, А. В. Оценка прочности адгезии покрытия гидросиапатита на сплаве AZ91, полученного с помощью ВЧ-магнетронного распыления / А. В. Цапков, Т. М. Мухаметкалиев, М. А. Сурменова; науч. рук. Р. А. Сурменев // Перспективы развития фундаментальных наук : сборник научных трудов XIII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, г. Томск, 26-29 апреля 2016 г. в 7 т. — Т. 1 : Физика. — С. 301-303.
2. Tsapkov A.V., Mukhametkaliye T.M., Shagabuddinov K.A., Surmeneva M.A., Surmenev R.A., Shulepov I.A., Korneva O.S. Adhesion Strength of the Hydroxyapatite Coating Prepared by Rf-Magnetron Sputtering on Az91 Magnesium Alloy // The 11th International Forum on Strategic Technology (IFOST-2016), Russia, Novosibirsk, July 1-3, 2016.

Список использованной литературы

1. С.П. Миронов, В.В. Троценко, Т.М. Андреева, М.М. Попова, “Состояние травматолого-ортопедической службы в Российской Федерации,” Центральный научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова, 2015.
2. Q. Zhanga, A. Cosseya, J. Tonga, “Stress shielding in bone of a bone-cement interface,” *Medical Engineering & Physics*, p.4, in press.
3. Hiromoto S., Shishido T., Yamamoto A., Maruyama N., et al. Precipitation control of calcium phosphate on pure magnesium by anodization // *Corrosion Science*. 2008. V. 50. P. 2906–2913.
4. Марченко Ю.А., Перун Н.В., Воеводин В.Н., Ванжа А.Ф., Александров В.А., Адгезионные свойства тонких металлических покрытий, нанесённых на стекло методом ионно-стимулированного осаждения// *Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение* -2009,- №4-2, с. 298-301.
5. Franz, S., Rammelt, S., Scharnweber, D., Simon, J. C., Immune responses to implants-a review of the implications for the design of immunomodulatory biomaterials. *Biomaterials*, 2011. 32(28): p. 6692-6709.
6. А.В. Пузь, многофункциональные покрытия для сплавов медицинского назначения, Владивосток, с.4-6, 2014 г.
7. Hench L.L. Bioceramics // *Journal of the American Ceramic Society*. 1998. V. 81. P. 1705–28.
8. Cardaioli P., Giordan M., Rigatelli G. et al. Nickel allergy in interatrial shunt device-based closure patients // *Congenital Heart Disease*. 2007. V. 2. № 6. P. 416–420
9. Phase and elemental composition of silicon-containing hydroxyapatite-based coatings fabricated by RF-magnetron sputtering for medical implants / M. Surmeneva, R. Surmenev, M. Chaikina, A. Kachaev, V. Pichugin, M. Epple // *Inorganic Materials: Applied Research*. – 2013. – Т. 4. – С. 227–235.

10. Witte F, Hort N., Vogt C., Cohen S., Kainer K.U., et al. Degradable biomaterials based on magnesium corrosion // *Current Opinion in Solid State and Materials Science*. 2008. V. 12. №. 5–6. P. 63–72.

11. Staigera M.P., Pietaka A.M., Huadmaia J., Dias G. Magnesium and its alloys as orthopedic biomaterials: A review // *Biomaterials*. 2006. V. 27. №. 9. P. 1728–1734.

12. Zeng R., Dietzel W., Witte F., Hort N., Blawert C. Progress and Challenge for Magnesium Alloys as Biomaterials // *Advanced Engineering Materials*. 2008. V. 10. №. 8. P. B3–B14.

13. Witte F. The history of biodegradable magnesium implants: A review // *Acta Biomaterialia*. 2010. V. 6. №.5. P. 1680–1692.

14. Carboneras M., Garcia-Alonso M.C., Escudero M.L. Biodegradation kinetics of modified magnesium-based materials in cell culture medium // *Corrosion Science*. 2011. V. 53. №.4. P. 1433–1439.

15. Hiromoto S., Shishido T., Yamamoto A., Maruyama N., et al. Precipitation control of calcium phosphate on pure magnesium by anodization // *Corrosion Science*. 2008. V. 50. P. 2906–2913.

16. Pamela Habibovic, Florence Barrère, Clemens A. Van Blitterswijk, Klaas de Groot, Pierre Layrolle, Biomimetic Hydroxyapatite Coating on Metal Implants, *J. of the American Ceramic Society*, Volume 85, Issue 3, March 2002 , P. 517–522. Geesink R. G. T., de Groot K., KLEIN C. P. A. T.

17. Hong-Wu Ma and An-Ping Zeng, The connectivity structure, giant strong component and centrality of metabolic networks, *Bioinformatics* (2003) 19 (11):1423-1430.

18. Florence Barrere, Margot M.E. Snel, Clemens A. van Blitterswijk, Klaas de Groot, Pierre Layrolle, Nano-scale study of the nucleation and growth of calcium phosphate coating on titanium implants, *Biomaterials*, Volume 25, Issue 14, June 2004, P. 2901–2910.

19. Henning Müller, Nicolas Michoux, David Bandon, Antoine Geissbuhler, *International Journal of Medical Informatics*, Volume 73, Issue 1, February 2004, P. 1–23
20. Wei Shanga, b, , Baizhen Chena, Xichang Shia, Ya Chena, Xiang Xiaoa, *Electrochemical corrosion behavior of composite MAO/sol–gel coatings on magnesium alloy AZ91D using combined micro-arc oxidation and sol–gel technique*, *Journal of Alloys and Compounds*, Volume 474, Issues 1–2, 17 April 2009, P. 541–545
21. *Mechanical properties of calcium phosphate coatings deposited by laser ablation* / L. Clèries, E. Martinez, J.M. Fernández-Pradas, G. Sardin, J. Esteve, J.L. Morenza // *Biomaterials*. – 2000. – Т. 21. – № 9. – С. 967–971.
22. *Material fundamentals and clinical performance of plasma-sprayed hydroxyapatite coatings: a review* / L. Sun, C.C. Berndt, K.A. Gross, A. Kucuk // *Journal of biomedical materials research*. – 2001. – Т. 58. – № 5. – С. 570–592.
23. Geesink, R.G.T. *Chemical Implant Fixation Using Hydroxyl-Apatite Coatings: The Development of a Human Total Hip Prosthesis for Chemical Fixation to Bone Using Hydroxyl-Apatite Coatings on Titanium Substrates* / R.G.T. Geesink, K. de Groot, C.P.A.T. Klein // *Clinical orthopaedics and related research*. – 1987. – Т. 225. – С. 147–170.
24. Баринов С.М., Комлев В.С. *Биокерамика на основе фосфатов кальция*. М.: Наука, 2005. – 225 с.
25. Ткачук Б.В., Колотыркин В.М. *Получение тонких полимерных пленок из газовой фазы* / - М.: Химия, - 1977. - С. - 216.
26. И. Смирнов. *Физико-химические основы технологии электронных средств*. Учебное пособие. Ульяновск 2005. - С.-112.
27. Сущенцов Н.И. *Основы технологии микроэлектроники** Лабораторный практикум. Йошкар-Ола. 2005.
28. Смирнов СВ. *Методы и оборудование контроля параметров технологических процессов производства наногетероструктур и наногетероструктурх монолитных интегральных схем*. Томск. 2010.С. - 40.

29. Oliver W.C., Pharr G.M. An improved technique for determining hardness and elastic modulus using load and displacement sensing indentation experiments // *J. Mater. Res.* – 1992. – V. 7. – I. 6. – P. 1564 – 1583.
30. Balzar D. Voigt-function model in diffraction line-broadening analysis // *National Institute of Standards and Technology* – 1992. P.44.
31. Шаров М.К. Метод поиска оптимальных параметров функции псевдо-фойгта для аппроксимации профилей рентгеновских рефлексов. Воронеж. 2014. С. –54-59.
32. Hijo'n N., Manzano M., Salinas A.J., Vallet-Regi M. Bioactive CaO-SiO₂-PDMS coatings on Ti6AL4V substrates // *Chemistry Of Materials*. 2005. V. 17. №. 6. P. 1591–1596.
33. Берченко Г.Н. Биология заживления переломов кости и влияние биокомпозиционного наноструктурированного материала коллапан на активизацию репаративного остеогенеза // *Медицинский алфавит*. 2011. Т. 1. №. 2. С. 14–19.
34. Штанский, Д.В., Петржик, М.И., Башкова И.А., Кирюханцев-Корнеев Ф.В., Шевейко, А.Н., Левашов Е.А., Адгезионные, фрикционные и деформационные характеристики покрытий Ti-(Ca, Zr)-(C,N,O,P) для ортопедических и зубных имплантатов. *Ж. Физика твердого тела*, 2006. 48(7): P. 1231-1238.
35. Y.W. Song, D.Y. Shan, E.H. Han, Electrodeposition of hydroxyapatite coating on AZ91D magnesium alloy for biomaterial application, *Mater Lett*, 62 (17–18) (2008), P. 3276–3279.
36. Зимон А.Д. Адгезия пленок и покрытий. М., Химия, 1977, 352 с.
37. Погребняк А Д, Шпак А П, Азаренков Н А, Береснев В М "Структура и свойства твёрдых и сверхтвёрдых нанокompозитных покрытий. *Успехи физических наук*, 2009. 179(1):С.29.
38. Behavior regulation of adsorbed proteins via hydroxyapatite surface texture control / X.L. Dong [et al.] // *The Journal of Physical Chemistry B.* – 2008. – Т. 112. – № 15. – С. 4751–4759.

39. In vitro dissolution and mechanical behavior of c-axis preferentially oriented hydroxyapatite thin films fabricated by pulsed laser deposition / H. Kim [et al.] // Acta biomaterialia. – 2010. – T. 6. – № 8. – С. 3234–3241.