

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

---

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

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы
Особенности формирования кальций-фосфатных покрытий методом ВЧ-магнетронного распыления в условиях падения паров осаждаемого материала под скользящим углом к подложке

УДК 621.793.1:546.41-021.29:615.47

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОДМ61	Сазонов А.С.		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав.лаб. ФНБ ИФПМ СО РАН	Шаркеев Ю.П.	д.ф-м.н., профессор		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

Научный консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
М.н.с. лаб. ФНБ ИФПМ СО РАН	Просолов К.А.	аспирант НИ ТПУ		

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Меньшикова Е.В.	к.филос.н		

По разделу «Социальная ответственность»

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

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
НОЦ Б.П. Вейнберга	Кривобоков В.П.	д.ф-м.н., профессор		

Томск – 2018 г.

**Результаты обучения магистров  
направления 16.04.01 «Техническая физика»  
(профиль «Пучковые и плазменные технологии»)**

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i><b>Профессиональные компетенции</b></i>		
P1	Демонстрировать и использовать теоретические и практические знания фундаментальных и прикладных наук, составляющих основу современной технической физики, вскрывать физическую сущность проблем, возникающих при проектировании и реализации радиационных и плазменных технологий.	Требования ФГОС (ОПК-2). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P2	Профессионально эксплуатировать современное научное и технологическое оборудование и приборы в процессе создания и реализации радиационных и плазменных технологий	Требования ФГОС (ОПК-1). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P3	Заниматься научно-исследовательской деятельностью в различных отраслях технической физики, связанных с современными радиационными и пучково-плазменными технологиями, критически анализировать современные проблемы, ставить задачи и разрабатывать программу исследований, выбирать адекватные методы решения задач, интерпретировать, представлять и применять полученные результаты	Требования ФГОС (ОПК-5, ПК-5, ПК- 8). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P4	Самостоятельно выполнять физико-технические научные исследования для прогнозирования результатов воздействия различных радиационных и плазменных потоков на вещество, а также оптимизации параметров радиационных и пучково-плазменных технологий, с использованием современных физико-математических методов, стандартных и специально разработанных инструментальных и программных средств.	Требования ФГОС (ПК-6, 7). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P5	Разрабатывать и оптимизировать современные пучковые и плазменные технологии с учетом экономических и экологических требований, проводить наладку и испытания технологических установок и аналитического оборудования, решать прикладные инженерно-технические и технико-экономические задачи с помощью пакетов прикладных программ.	Требования ФГОС (ПК-12,13,14). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P6	Участвовать в проектно-конструкторской деятельности, формулировать технические задания, составлять техническую документацию, разрабатывать и использовать средства автоматизации, анализировать варианты проектных, конструкторских и технологических решений, разрабатывать проекты и проектную документацию для создания оборудования, реализующего пучковые и плазменные технологии.	Требования ФГОС (ПК-15, 16). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P7	Заниматься научно-педагогической деятельностью в области технической физики, участвовать в разработке программ учебных дисциплин, проводить учебные занятия, обеспечивать практическую и научно-исследовательскую работу обучающихся, применять и разрабатывать новые образовательные технологии	Требования ФГОС (ПК-9, 10, 11). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P8	Заниматься организационно-управленческой деятельностью, владеть приемами и методами работы с персоналом, находить оптимальные решения при реализации технологий и создании продукции, управлять программами освоения новой продукции и технологий.	Требования ФГОС (ПК-17, 18, 19). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
		EUR-ACE и FEANI
P9	Осуществлять научно-инновационную деятельность, анализировать и систематизировать научно-техническую информацию, передовой отечественный и зарубежный опыт в области радиационных и пучково-плазменных технологий, внедрять новые наукоемкие технологии, готовить документы по защите интеллектуальной собственности, разрабатывать планы и программы организации инновационной деятельности, осуществлять технико-экономическое обоснование инновационных проектов.	Требования ФГОС (ПК-1, 2, 3, 4). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международными стандартами EUR-ACE и FEANI
<b><i>Универсальные компетенции</i></b>		
P10	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.	Требования ФГОС (ОК-1, 2, 6). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международными стандартами EUR-ACE и FEANI
P11	Активно общаться в научной, производственной и социально-общественной сферах деятельности, свободно и грамотно пользоваться русским и иностранными языками как средством делового общения	Требования ФГОС (ОК-3, ОПК - 4). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международными стандартами EUR-ACE и FEANI
P12	Участвовать в организации научно-исследовательских и научно-производственных работ, проявлять инициативу, брать на себя всю полноту ответственности, уметь находить творческие, нестандартные решения профессиональных и социальных задач.	Требования ФГОС (ОК-4, 5, ОПК-3). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международными стандартами EUR-ACE и FEANI

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

---

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

УТВЕРЖДАЮ:  
Руководитель ООП

\_\_\_\_\_  
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
ОДМ61	Сазонову Александру Сергеевичу

Тема работы:

Особенности формирования кальций-фосфатных покрытий методом ВЧ-магнетронного распыления в условиях падения паров осаждаемого материала под скользящим углом к подложке

Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

**Исходные данные к работе**

*(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).*

Объектом исследования являются тонкие кальций фосфатные покрытия, сформированные методом высокочастотного магнетронного распыления на подложках, расположенных под скользящим углом к мишени из гидроксипатита. Материал подложки: технически чистый крупнокристаллический и ультрамелкозернистый титан марки ВТ1-0, монокристаллический кремний с ориентацией (1 0 0) .

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Анализ литературных источников по получению покрытий методом ВЧ магнетронного распыления в условиях падения паров осаждаемого материала под скользящим углом к подложке и методам их нанесения;</p> <p>экспериментальное исследование свойств полученных покрытий;</p> <p>раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»;</p> <p>раздел «Социальная ответственность»</p>
--	---

**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы**

*(с указанием разделов)*

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Меньшикова Екатерина Валентиновна
Социальная ответственность	Гоголева Татьяна Сергеевна
Приложение А	Кабрышева Оксана Павловна

**Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:**

1.1 Физические основы метода нанесения покрытий в геометрии скользящего угла к подложке

1.2 Высокочастотное магнетронное распыление и эффект самозатенения при осаждении покрытий

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав.лаб. ФНБ ИФПМ СО РАН	Шаркеев Ю.П.	д.ф-м.н., профессор		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОДМ61	Сазонов Александр Сергеевич		

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
ОДМ61	Сазонов Александр Сергеевич

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

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Стоимость сырья и материалов Размер окладов и выплат исполнителям проекта
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Согласно проектной документации
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Отчисления во внебюджетные фонды

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	Разработка анализа конкурентоспособности
2. <i>Разработка устава научно-технического проекта</i>	Планирование работ; построение иерархической структуры ВКР
3. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	Таблица проведения ВКР
4. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	Оценка значений интегральных показателей эффективности

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. *Оценка конкурентоспособности технических решений*
2. *Матрица SWOT*
3. *График проведения и бюджет НТИ*

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент	Меньшикова Е.В.	к.ф.н		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
ОДМ61	Сазонов Александр Сергеевич		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа ОДМ61	ФИО Сазонов Александр Сергеевич
-----------------	------------------------------------

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

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– возможных вредных факторов: вредные вещества, шумы, электромагнитные поля и ионизирующее излучение от ЭВМ;</li> <li>– опасных факторов: вероятность поражения электрическим током, вероятность возникновения пожара и взрыва.</li> </ul>
<p>2. Перечень законодательных и нормативных документов по теме.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– электробезопасность;</li> <li>– пожарная безопасность;</li> <li>– требования охраны труда при работе на ПЭВМ;</li> <li>– требования охраны труда при работе с электромагнитным излучением радиочастотного диапазона.</li> </ul>

### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– действие фактора на организм человека;</li> <li>– приведение допустимых норм с необходимой размерностью;</li> <li>– предлагаемые средства защиты</li> </ul>
<p>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды в следующей последовательности.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, средства защиты);</li> <li>– пожарная безопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).</li> </ul>

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

### Задание выдал консультант:

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

### Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОДМ61	Сазонов Александр Сергеевич		

## Реферат

Выпускная квалификационная работа 104 с., 37 рис., 29 табл., 76 источников, 1 прил.

Цель работы - исследовать особенности формирования кальций-фосфатных покрытий методом ВЧ-магнетронного распыления в условиях падения паров осаждаемого материала под скользящим углом к подложке. Кальцийфосфатные покрытия получены на подложках технически чистого крупнокристаллического и ультрамелкозернистого титана марки ВТ1-0 (99,58 Ti; 0,12 O; 0,18 Fe; 0,07 C; 0,04 N; 0,01 H мас.%), выполненных в форме пластин с размерами  $10 \times 10 \times 1 \text{ мм}^3$  и дисков диаметром 13 мм, а также на подложках монокристаллического кремния с ориентацией (100). В качестве материала мишени применялся чистый синтезированный гидроксиапатит. Покрытия получены при варьировании параметров давления рабочего газа, мощности подаваемой на магнетрон и угла падения паров на подложку. Выполнен литературный поиск по осаждению покрытий в условиях падения паров под скользящим углом к подложке. В ходе работы были использованы следующие методы исследований: растровая электронная микроскопия, эллипсометрия, рентгенофазовый анализ, атомно-силовая микроскопия.

Результаты растровой электронной микроскопии показали влияние изменения параметров напыления на морфологию поверхности кальцийфосфатных покрытий. При мощности до 300 Вт с увеличением угла наклона подложки структурные элементы поверхности покрытия приобретают более вытянутую форму в направлении к мишени – источнику материала. Увеличение мощности до 300 Вт приводит увеличению плотности упаковки зерен покрытия, и изменению формы зерен на глобулярную, из-за более высокой кинетической энергии адатомов.

По результатам эллипсометрии выявлено уменьшение толщины покрытий при увеличении угла наклона подложки. Было обнаружено, что толщина покрытий, нанесенных под углом наклона  $80^\circ$ , неоднородна вдоль образца и различие в толщине между верхней частью, расположенной ближе к

мишени, и нижней частью покрытия, расположенной дальше от мишени, для некоторых образцов может достигать 200 нм.

Уровень мощности на магнетроне влияет на показатель преломления покрытия. Отмечается рост показателя преломления, при угле наклона подложки  $80^\circ$ . С увеличением подачи мощности на магнетрон с 200 Вт до 350 Вт значение показателя преломления возрастает с 1,72 до 2,32.

Методом атомно-силовой микроскопии показана прямо пропорциональная зависимость влияния угла наклона подложки на уровень шероховатости кальцийфосфатных покрытий. Уровень средней шероховатости показал значительный рост с увеличением наклона подложки до  $80^\circ$ . При различной мощности этот показатель увеличивается в среднем в 3 раза.

Рентгенофазовый анализ показал рост интенсивности пика (002) гидроксиапатита при изменении угла наклона подложки с  $0^\circ$  до  $80^\circ$ , что говорит об усилении текстурированности покрытия.

Предложен метод ВЧ-магнетронного распыления кальцийфосфатных покрытий на титановые подложки, расположенные под скользящим углом к источнику частиц, как способ изменения нанощероховатости.

Ключевые слова: кальцийфосфатные покрытия, нанощероховатость, эффект самозатенения, осаждение под скользящим углом, ВЧ магнетрон, растровая электронная микроскопия, эллипсометрия, рентгенофазовый анализ, атомно-силовая микроскопия.

Оглавление	
Введение .....	12
1 Осаждение покрытий в геометрии скользящего падения паров методом ВЧ магнетронного распыления и перспективы применения в медицине.....	15
1.1 Физические основы метода нанесения покрытий в геометрии скользящего угла к подложке.....	15
1.2 Высокочастотное магнетронное распыление и эффект самозатенения при осаждении покрытий.....	19
1.3 Материал подложки.....	25
1.4 Кальцийфосфатные покрытия .....	27
1.5 Цель и задачи исследования .....	28
2 Объекты и методы исследования.....	30
2.1 Объекты исследования .....	30
2.2 Особенности формирования кальцийфосфатных покрытий на наклонных подложках методом ВЧ-магнетронного распыления .....	30
2.3 Методы исследования .....	33
2.3.1 Эллипсометрия .....	33
2.3.2 Растровая электронная микроскопия .....	34
2.3.3 Атомно-силовая микроскопия .....	36
2.3.4 Рентгенофазовый анализ .....	39
3 Экспериментальные результаты .....	42
3.1 Оптические характеристики и толщина покрытия.....	42
3.2 Морфология поверхности покрытий .....	44
3.3 Топография поверхности и шероховатость.....	51
3.4 Фазовый состав покрытия.....	53
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение .....	56
4.1 Предпроектный анализ.....	56
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....	56
4.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения .....	57
4.1.3 SWOT-анализ.....	59
4.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации .....	63
4.1.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования .....	65
4.2 Инициация проекта.....	66
4.2.1 Цели и результат проекта .....	67
4.2.2 Организационная структура проекта .....	68

4.2.3 Ограничения и допущения проекта.....	69
4.3 План проекта .....	69
4.4 Бюджет научного исследования .....	70
4.4.1 Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты .....	70
4.4.2 Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ.....	71
4.4.3 Основная заработная плата .....	72
4.4.4 Отчисления на социальные нужды.....	74
4.4.5 Накладные расходы.....	74
4.5 Реестр рисков проекта .....	75
4.6 Оценка сравнительной эффективности исследования .....	77
5 Социальная ответственность .....	80
5.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов .....	81
5.2 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния на персонал .....	83
5.2.1 Организационные мероприятия.....	83
5.2.2 Организация рабочего места оператора.....	83
5.2.3 Условия безопасной работы.....	86
5.3 Электробезопасность.....	88
5.4 Пожарная безопасность.....	90
Заключение.....	94
Список литературы.....	96
Список публикаций .....	104

## **Введение**

Задача по управлению наношероховатостью поверхностей имплантатов, применяемых в медицине получила в последнее время широкое распространение. Производители имплантатов, включая стоматологические имплантаты, пытаются повысить уровень остеоинтеграции путем адаптации топографии поверхности и химического состава имплантатов к костной ткани [1]. Были найдены способы увеличения остеокондуктивности и биосовместимости имплантатов для улучшения показателей нагрузки за счет эксплуатации, а также способы повышения скорости остеогенеза даже на участках с низкой костной массой или низким количеством костной ткани [2,3].

Как показывают исследования в лабораторных и естественных условиях, химические характеристики поверхности имплантатов, наряду с характеристиками шероховатости, также могут оказывать влияние на скорость восстановления кости и заживления [4]. В настоящее время большинство имплантатов подвергаются модификации поверхности и зачастую покрыты кристаллами фосфата кальция, и прежде всего гидроксиапатита.

Современные тенденции в клинической имплантации включают использование эндоскопических имплантатов, поверхность которых имеет наноразмерную топографию [5]. Роль наномасштабной топографической модификации титановых подложек с целью улучшения остеоинтеграции остается не до конца изученной [6]. Поверхности с наноразмерной топографией инициируют новые способы взаимодействия с соответствующими биологическими объектами. Более того, технология нанесения такого рода покрытий предоставила средства для понимания и реализации, специфических для клеток функций.

Существующие данные, подтверждающие развитие нанотопографии, свидетельствуют о том, что критические стадии остеоинтеграции могут быть модулированы с помощью модификации поверхности имплантата на наномасштабном уровне. В настоящее время рассматриваются важные

различия между наномасштабным и микронным изменением топографии поверхности имплантата [7]. Активно обсуждаются преимущества и недостатки наномасштабной модификации поверхности имплантата [8]. Наномасштабная модификация поверхностей эндоскопических имплантатов влияет на клеточные и тканевые реакции, которые могут повысить степень остеоинтеграции и продлить срок службы имплантата [2].

Поверхностная нанотопография влияет на взаимодействие клеток на поверхностях и изменяет поведение клеток по сравнению с топографией на микроуровне [9]. Наноструктурированные поверхности обладают уникальными свойствами, которые изменяют клеточную адгезию прямыми взаимодействиями на поверхности клетки и косвенными механизмами, влияющими на взаимодействие белок-поверхность [10].

Модификация поверхности на наномасштабном уровне может изменить степень свободной энергии поверхности [11], химический состав и / или топографию поверхности имплантата. Такие изменения влияют на взаимодействие поверхности имплантата с биологическими жидкостями, ионами и биообъектами. Показано, что наномасштабная модификация поверхности влияет на молекулярную и клеточную активность и изменяет процесс остеоинтеграции [2].

Одним из экспериментальных подходов в области осаждения тонких пленок является использование наклонного угла подложки во время осаждения. Данный метод позволяет получать пористые и / или столбчатые структурированные покрытия [12].

Осаждение покрытий под скользящим углом к подложке возникло как неоценимый инструмент для получения наноструктурированных тонких пленок. Данный метод может найти применение для биомедицинской области, в частности для нанесения биологически активного покрытия с использованием физического осаждения из паровой фазы.

ВЧ магнетронное распыление кальцийфосфатных покрытий на наклонную подложку предложено в качестве метода реализации осаждения

биологически активного покрытия. Этот метод позволяет наносить покрытия с высокой адгезией к подложке. Кроме того, метод ВЧ магнетронного распыления известен как высоко контролируемый способ осаждения. По результатам анализа литературы, метод ВЧ магнетронного осаждения кальцийфосфатных покрытий на наклонную подложку ранее не рассматривался. Данная работа призвана показать основные особенности формирования кальцийфосфатных покрытий в геометрии падения паров осаждаемого материала под скользящим углом к подложке, и оценить влияние параметров осаждения.

В данной работе приведены экспериментальные результаты исследований по нанесению кальцийфосфатных покрытий методом ВЧ-магнетронного распыления в условиях падения паров осаждаемого материала под скользящим углом к подложке и доказаны перспективы данного метода в изменении наношероховатости.

# 1 Осаждение покрытий в геометрии скользящего падения паров методом ВЧ магнетронного распыления и перспективы применения в медицине

## 1.1 Физические основы метода нанесения покрытий в геометрии скользящего угла к подложке

В литературе можно встретить термин OAD (oblique angle deposition) или GLAD (glancing angle deposition) для описания процесса осаждения покрытий на наклонную подложку. В данной работе этот процесс именуется, как осаждение под скользящим углом. Первые упоминания о получении покрытий на наклонную подложку датированы концом 50-х годов 20 века [13].

За последние годы отмечается рост количества цитирований статей посвященных осаждению покрытий на наклонную подложку. Статистика цитирования на тему OAD или GLAD приведена на рисунке 1.

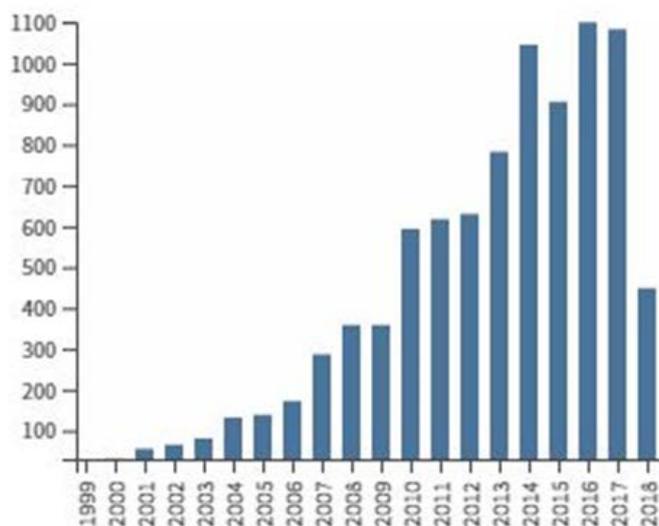


Рисунок 1 – Количество цитирований статей, посвященных исследованиям осаждения покрытий на наклонную подложку на сайте web-of-science.com [14]

Из литературных источников известно, что покрытия, нанесенные на наклонную подложку, чаще всего получают с использованием методов физического осаждения из паровой фазы. Физическое осаждение из паровой

фазы в условиях падения потока частиц под углом к подложке и ограниченной диффузии адатомов приводит к образованию пленки со столбчатой микроструктурой, элементы которой ориентированы к источнику частиц. Поскольку процесс осаждения под углом обеспечивает контроль над структурой пленки, могут быть изменены их механические, магнитные и оптические свойства. Осаждение на наклонную подложку имеет широкий спектр применений в различных областях, таких как сенсорные датчики [15], оптика [16], солнечные батареи [17] и др. Такие покрытия характеризуются наклонными столбчатыми структурами с изменением уровня шероховатости. Также данный тип покрытий привлекателен своей анизотропностью, специфическими механическими свойствами и возможностью контролировать уровень пористости [18] и шероховатость [19].

Моделирование роста тонких пленок в условиях осаждения под углом до сих пор остается не решенным. Существует много вопросов в представлении о механизмах, контролирующих развитие морфологии тонких пленок, осажденных под скользящим углом, в частности их пористость, ориентацию наклона наноструктур и предпочтительную кристаллографическую текстуру.

Одним из основных процессов контролирующей структурную эволюцию пленок является эффект затенения. Этот эффект предотвращает осаждение частиц в областях, расположенных позади первоначально сформированных зародышей [20]. Результатом этого эффекта является образование столбчатой структуры (рисунок 2).

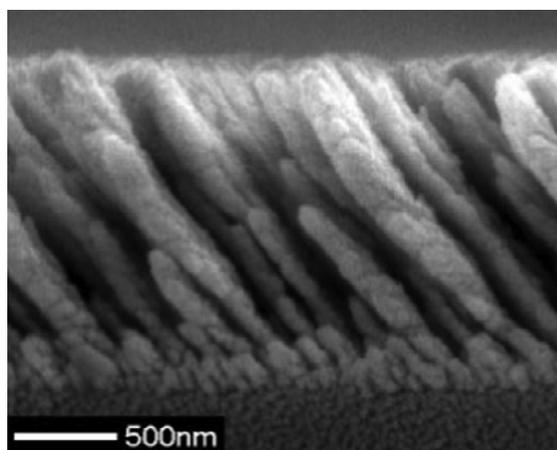


Рисунок 2 – Микроструктура оксида индия олова [21]

Рост столбчатой структуры при осаждении под скользящим углом зависит от эффекта затенения, температуры и скорости осаждения, давления в камере, типа подложки и ее подготовки, предпочтительной кристалличности осаждаемого материала [22].

Известно, что угол наклона структуры  $\beta$  покрытия не всегда соответствует углу падения потока частиц  $\alpha$  (рисунок 3).

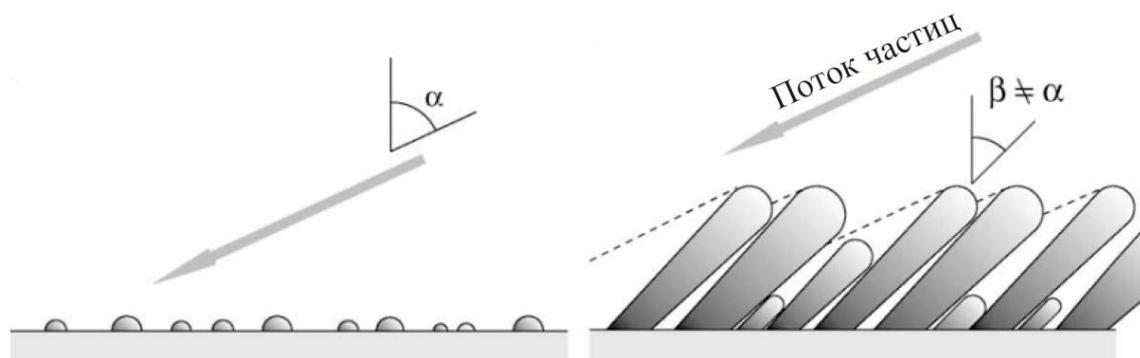


Рисунок 3 – Схематический вид осаждения под скользящим углом [23]

В случае если угол наклона столбчатой структуры  $\beta$ , который определяется как угол между нормалью подложки и осью наклона колонок, меньше угла падения паров  $\alpha$ , то следует использовать тангенциальное правило для малых углов  $\alpha$  ( $\alpha \leq 50^\circ$ ) [22]:

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{1}{2}\operatorname{tg}\alpha \quad (1)$$

Для больших углов ( $\alpha > 50^\circ$ ) применяется правило косинуса [22]:

$$\beta = \alpha - \operatorname{arssin}\left(\frac{1 - \cos\alpha}{2}\right) \quad (2)$$

На начальном этапе происходит формирование покрытия за счет образования островков и их последующий рост в результате коалесценции (рисунок 4). Первые зародыши, образовавшиеся на самых ранних стадиях осаждения, проецируют за собой тень, что предотвращает осаждение какого-либо дополнительного испаренного материала в этих «затененных» областях (рисунок 5). По мере того, как происходит осаждение, эти зародыши вызывают образование наклонных структур (рисунок 6).

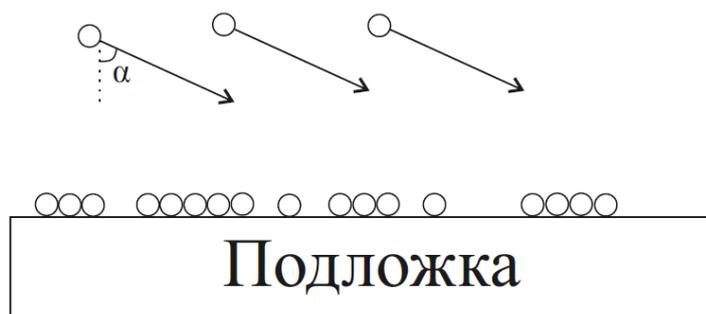


Рисунок 4 – Отдельные частицы пара поступают на поверхности подложки с заданным углом наклона

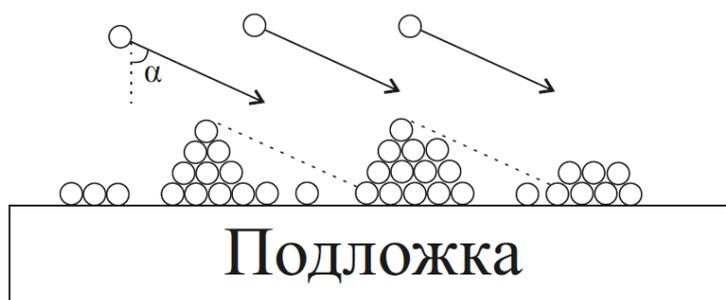


Рисунок 5 – Осажденные частицы накапливаются в определенных областях в виде зерен материала, которые затем отбрасывают тень на другие поверхностными зоны, на которых они не могут быть осаждены

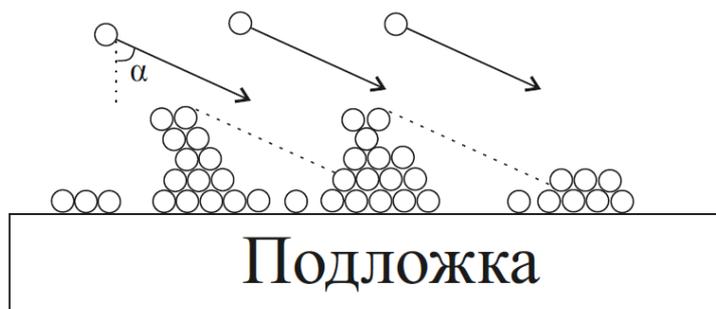


Рисунок 6 – Рост более высоких областей поверхности

Для осаждения пленок под скользящим углом к подложке необходимо устройство с определенными функциональными возможностями. Осаждение под углом может быть осуществлено электронно-лучевым испарением [24], термическим испарением [25], лазерной абляцией [26] и магнетронным распылением [27].

Считается, что электронно-лучевое испарение и термическое испарение являются наиболее широко используемыми методами для осаждения тонких пленок под скользящим углом к подложке [22]. Однако существуют и другие альтернативные методы, которые используют геометрию скользящего пучка для разработки новых микроструктур и свойств в пленках. Эти методы используют некоторые физические механизмы, включая термическую диффузию адатомов, которые могут влиять на процесс осаждения и эффективность механизмов затенения.

В данной работе применяется метод высокочастотного магнетронного распыления для осаждения CaP покрытий на наклонную подложку.

## **1.2 Высокочастотное магнетронное распыление и эффект самозатенения при осаждении покрытий**

При создании поверхности с хорошо контролируемой морфологией наноразмерных поверхностей для применений в исследованиях адсорбции белков и, особенно для анализа клеточной биосовместимости, необходимо использовать методы, которые могут обеспечить покрытие с шероховатостью на наноуровне [12].

Испарение и ионное распыление получили наибольшее распространение в тонкопленочных технологиях получения пленок в вакууме. При использовании методов испарения осаждаемый материал (мишень) нагревается до температуры испарения, и затем его пары конденсируются на подложке. В данном методе наибольшее распространение получили способы термического испарения (разогрев осаждаемого материала в тигеле) и электроннолучевой нагрев. В первом случае происходит прямой нагрев вещества нагревательным элементом. Во втором методе испарения материал переводится в пар с помощью сфокусированного электронного пучка большой мощности. При использовании методики ионного распыления материал распыляемой мишени находящейся при комнатной температуре бомбардируется низкоэнергичными ионами из плазмы газового разряда [28].

Магнетронное распыление рассматривается как один из наиболее распространенных способов ионного распыления и осаждения широкого спектра тонкопленочных материалов [29]. Растущий спрос на высококачественные функциональные тонкие пленки в различных секторах рынка является основной движущей силой этого развития. Метод магнетронного распыления позволяет создавать металлические, в том числе сверхпроводящие, диэлектрические (как из диэлектрических материалов, так и в атмосфере реактивных газов) и ферромагнитные пленки. По некоторым свойствам пленки, полученные методом магнетронного распыления в настоящее время превосходят пленки, нанесенные другими физическими процессами осаждения из паровой фазы. Также они могут обладать такой же функциональностью, как и более толстые пленки, полученные другими методами [30].

Системы магнетронного распыления генерируют сильное магнитное поле вблизи области мишени, что заставляет электроны двигаться по циклоиде вдоль линий магнитного поля вблизи мишени. В связи с тем, что магнитная система ограничивает плазму вблизи области мишени, не наблюдается повреждение пленок, образующихся на подложке, и поддерживается стехиометрия и однородность толщин осажденной тонкой пленки.

В зависимости от конфигурации магнитного поля, магнетроны бывают сбалансированные и несбалансированные (рисунок 7). Магнитная система, с физической точки зрения, определяет особенности горения плазмы. Замыкание силовых линий магнитного поля происходит между полюсами системы.

Несбалансированный магнетрон обладает более сильными магнитами снаружи, что приводит к расширению плазмы от поверхности мишени к подложке. Эффект неуравновешенного магнитного поля заключается в улавливании быстро движущихся вторичных электронов, выходящих с поверхности мишени. Электроны подвергаются ионизирующим столкновениям с атомами нейтрального газа, что приводит к возрастанию количества ионов и электронов в области подложки, значительно увеличивая ионную

бомбардировку. Эффективно в области подложки образуется вторичная плазма. Когда к подложке применяется отрицательное смещение, ионы этой вторичной плазмы ускоряются к ней, и затем происходит ее бомбардировка.

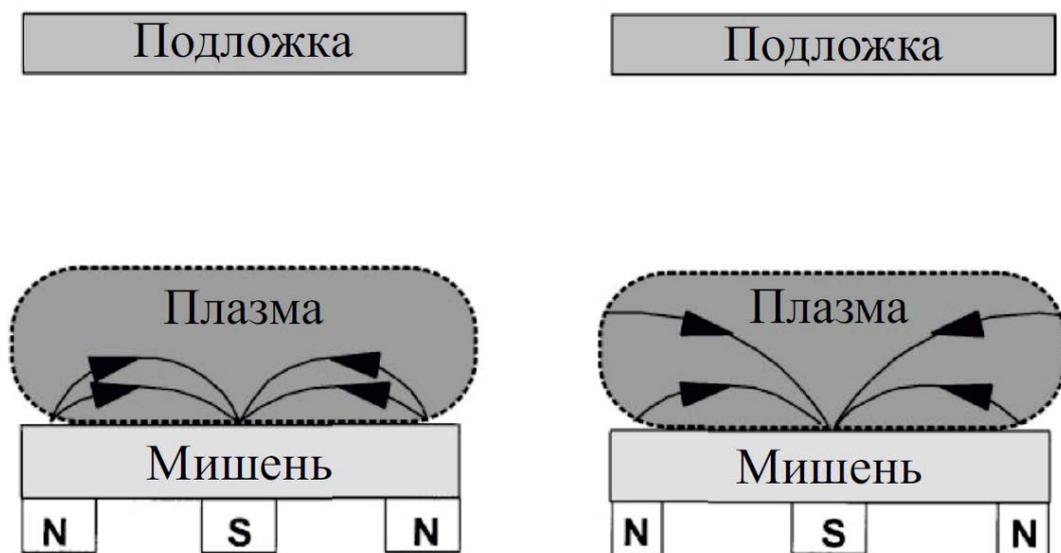


Рисунок 7 – Схематическое изображение сбалансированного (слева) и несбалансированного (справа) магнетрона [31]

Несбалансированный магнетрон имеет внешние северные полюса магнитного поля сильнее, чем внутренние южные полюса, поэтому магнитные линии простираются дальше в вакуумную камеру.

В ВЧ магнетронной системе, генерируемые электроны движутся на большие расстояния, что увеличивает вероятность дальнейшей ионизации атомов инертного газа ( $Ar^+$ ) и создает стабильную плазму с высокой плотностью, что улучшает эффективность процесса распыления. На рисунке 8 показаны основные компоненты ВЧ магнетронной распылительной системы. В процессе распыления материал, подлежащий осаждению на подложку, бомбардируется энергетическими ионами (обычно инертными), такими как аргон ( $Ar^+$ ). Силовое столкновение ионов инертного газа с мишенью приводит к распылению атомов мишени, которые затем конденсируются на подложке в виде тонкой пленки.

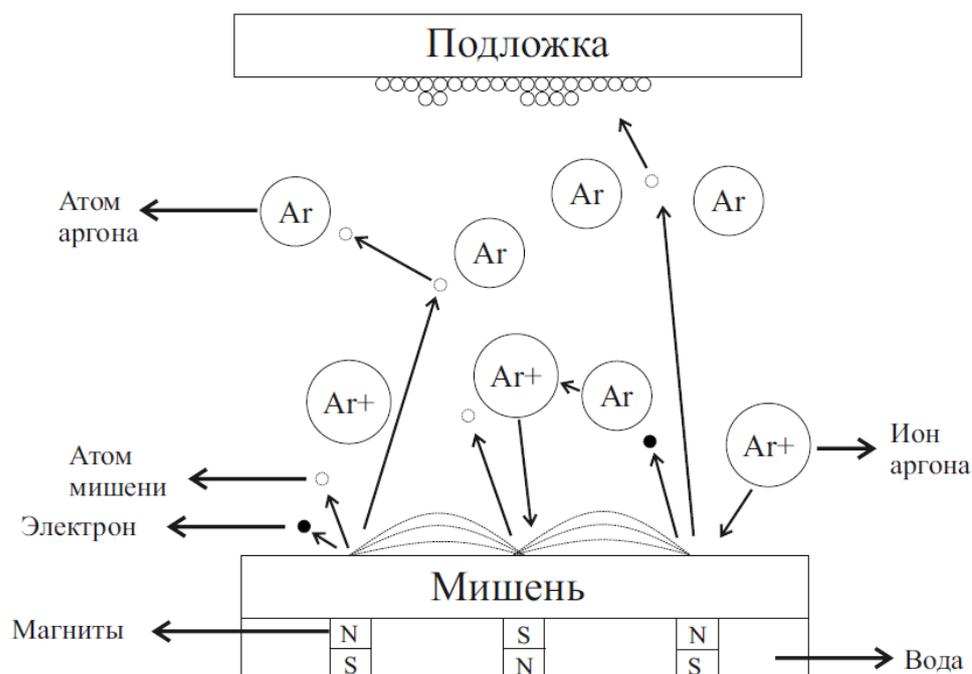


Рисунок 8 – Схематическое изображение основных компонентов магнетронной распылительной системы

Термическое испарение кальцийфосфатных покрытий на металлические имплантаты обычно используется для биомедицинских применений, несмотря на проблемы в управлении толщиной и морфологией поверхности [32]. Однако среди преимуществ ВЧ магнетронного распыления над термическим испарением кальцийфосфатных покрытий является осаждение плотных, однородных покрытий с высокой адгезией к подложке, равномерных по толщине и составу [33].

Высокая адгезия покрытия к подложке достигается в частности за счет ионной бомбардировки. Часть высокоэнергетичных атомов материала мишени внедряется в подложку, глубина проникновения которых зависит от энергии бомбардирующих ионов. Далее энергия и интенсивность ионов плавно уменьшаются, и постепенно начинается процесс осаждения. Таким образом, создается переходный слой, с плавно изменяющимся по толщине химическим составом, на поверхности которого преобладает материал мишени.

За счет интенсивной ионной бомбардировки подложки на начальной стадии процесса нанесения пленки и последующего плавного снижения

интенсивности бомбардировки на межфазной границе формируется протяженный переходной слой комбинированного состава с градиентом концентраций контактирующих материалов. Наличие этого слоя и высокая энергия осаждения частиц способствует достижению высокой адгезии покрытия к подложке. Преимуществом данного способа является также то, что атомные процессы перемешивания происходят в приповерхностной области подложки, что предотвращает высокий нагрев [34].

ВЧ магнетронное распыление является хорошо контролируемым методом. Варьируя параметры напыления можно добиваться изменения свойств, получаемых пленок в широком диапазоне.

Таблица 1 – Параметры, которые могут быть изменены при ВЧ магнетронном распылении

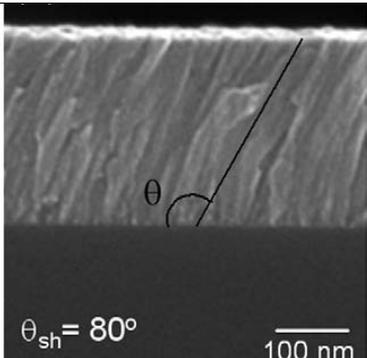
<b>Параметры</b>	<b>Свойства</b>
Мощность	Мощность может оказывать влияние на скорость роста пленки, вследствие увеличения кинетической энергии электронов
Давление	Изменение давления может повлиять на такие микроструктурные параметры, как шероховатость и размер зерна
Смещение на подложке	Изменение данного параметра может привести к ионной или электронной бомбардировке мишени во время осаждения
Состав мишени	Компоненты, входящие в состав мишени, имеют разную скорость распыления
Вращение и расстояние мишень-подложка	При уменьшении расстояния возможно увеличение температуры

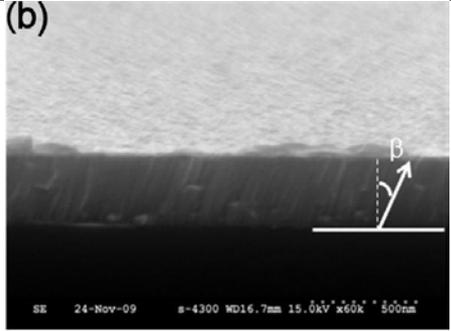
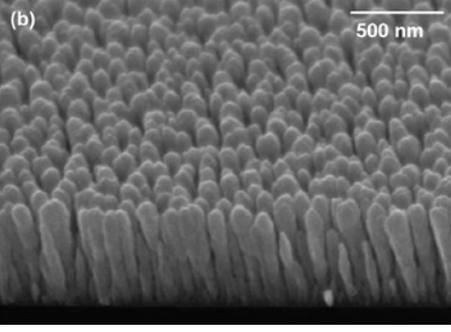
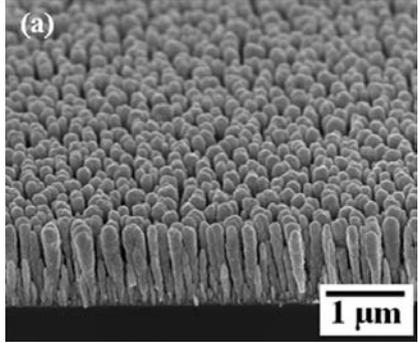
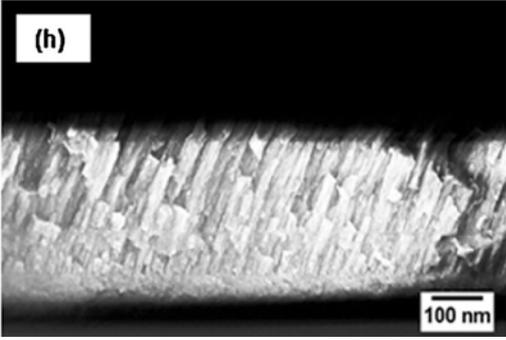
	на подложке
Конфигурация магнитов	Условие сохранения стабильности плазмы при осаждении и влияние на скорость осаждения сильно зависит от магнитной силы катода
Температура подложки	Более высокая температура на подложке дает большую мобильность адатомам на поверхности. Вследствие этого зерна приобретают большие размеры

Достоинства технологии ВЧ магнетронного распыления:

- высокая скорость осаждения покрытия;
- образование малого количества радиационного тепла, за счёт водяного охлаждения;
- высокая однородность покрытий по толщине;
- низкая степень загрязнения пленок, т. к. процесс нанесения покрытия протекает при достаточно низком давлении  $10^{-2}$  Па.

В таблице 2 приведены примеры исследований покрытий осажденных на наклонную подложку с применением метода ВЧ магнетронного распыления. Таблица 2 – Исследования, посвященные ВЧ магнетронному распылению покрытий на наклонную подложку

Лит.	Цель исследования	Мишень-подложка	Параметры осаждения	Результат
[35]	Изучить структурные, оптические и электрические свойства пленок	AZO (Оксид цинка легированный алюминием)-Si (100)	L=15 см P=0,67 Па W=50-150 Вт	

[36]	Изучить оптические и структурные свойства	ZnO-Si (100)	L=10 см P=0,67 Па W=80 Вт	(b) 
[37]	Изучить оптические свойства	WO <sub>3</sub> -кварц	L=7 см t=240 мин P=0,5 Па W=200 Вт	(b) 
[38]	Изучить структурные, оптические и электрические свойства пленок	ZrO <sub>2</sub> -Si (111)	L=7 см P=0,3 Па W=250 Вт	(a) 
[39]	Изучить оптические свойства и смачиваемость	Si (100)-стекло	L=15 см P=0,27 Па W=150 Вт	(h) 

L–расстояние мишень-подложка, t–время осаждения, P–давление, W–мощность.

Анализ литературы показывает, что данный метод применяется для получения различных видов пленок, которые характеризуются различными свойствами и областью применения.

### 1.3 Материал подложки

Материал, используемый для имплантации, должен сохранять биосовместимость и не изменять своих физических и химических свойств. Все металлы, используемые в медицине, по влиянию на живые ткани делят на три основные группы: 1) токсические металлы (ванадий, никель, хром, кобальт); 2) промежуточные металлы (железо, золото, алюминий); 3) инертные металлы (титан, цирконий) [40].

Важным фактором при выборе материала имплантата являются как модуль упругости, так и прочность. Имплантат должен обладать достаточной прочностью, чтобы выдерживать силы без постоянной деформации [41].

Биоинертные металлы не влияют на процесс костеобразования и имеют диэлектрические свойства. Они практически не взаимодействуют с окружающими их тканями организма, вследствие чего присутствие имплантата не нарушает статических и динамических электропотенциалов костной ткани и не вызывают реакции организма на инородное тело. Однако на поверхности изготовленных из биоинертных материалов медицинских изделий происходит формирование фиброзной ткани, препятствующей образованию связи имплантата с костью. Поэтому существует риск отторжения таких изделий организмом из-за воспалительных реакций. Основные задачи, которые решаются при проектировании биоинертных имплантатов – приближение упругих характеристик изделий к характеристикам кости и придание им антикоррозионных свойств. Биоинертные металлы применяются в ортопедических устройствах, эндопротезах тазобедренного и коленного суставов [42].

Титан является широко используемым металлом в медицине на основе своей биосовместимости, нетоксичности, хороших механических свойств и отличной коррозионной стойкости [43]. Его очень хорошая биосовместимость обусловлена образованием на поверхности оксидной пленки ( $TiO_2$ ). Этот оксид является сильным и стабильным слоем, который растет при контакте с воздухом и предотвращает диффузию кислорода из окружающей среды, обеспечивая коррозионную стойкость [44].

## 1.4 Кальцийфосфатные покрытия

Увеличить биосовместимость имплантируемых металлических изделий можно путём создания промежуточного слоя между металлом и костной тканью, имеющего оптимальную структуру и свойства, подобные таковым для костной ткани. Для этих целей на поверхность имплантатов различными способами наносят кальцийфосфатное покрытие (СаР) [45]. Фосфат кальция является общим названием семейства минералов, содержащих катионы кальция ( $\text{Ca}_2^+$ ) вместе с ортофосфатными ( $\text{PO}_{3-4}$ ), метафосфатными ( $\text{PO}^{-3}$ ) или пирофосфатными ( $\text{P}_2\text{O}_{4-7}$ ) анионами, а иногда и водородом ( $\text{H}^+$ ) или гидроксидом ( $\text{OH}^-$ ). Это основная неорганическая составляющая кости (~ 60 мас.%) и основная составляющая зубной эмали (около 90%). Фосфаты кальция с атомным соотношением Са / Р между 1,5 и 1,67 называются апатитами (например, гидроксиапатитом или фторапатитом) [46].

Биосовместимость СаР покрытий позволяет поддерживать адгезию и пролиферацию остеобластов, и гарантирует, что имплантат с данным покрытием не будет считаться в качестве инородного материала в организме [47]. Однако низкая хрупкость СаР материала ограничивает его развитие в качестве несущего материала имплантата [48]. Таким образом, СаР покрытия предпочтительнее использовать в качестве материала покрытия для биомедицинских применений [49]. Эти покрытия были предложены в качестве осаждаемого материала на поверхности металлических имплантатов, чтобы объединить механическую прочность металлов с превосходными биологическими функциями СаР [50].

Гидроксиапатит ( $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ , ГА) считается одним из наиболее подходящих кальцийфосфатных материалов для формирования покрытий. ГА представляет собой биосовместимый материал, который является минеральной компонентой костной ткани и зубов, и находит применение при формировании функциональных покрытий для биомедицинских имплантатов [51,52]. Являясь основной составляющей минеральной компоненты костной ткани, этот фосфат кальция имеет довольно низкую растворимость, а, следовательно, и низкую

биорезорбируемость, что приводит к низкой скорости деградации покрытия при нахождении имплантата в организме [45].

ГА является представителем большой группы химически различных, но структурно идентичных соединений с гексагональной пространственной группой  $R\bar{6}_3/m$  (рисунок 9).

На поверхности имплантата гидроксиапатит способен увеличить степень биосовместимости, вызвать ускоренный рост костной ткани, продемонстрировать благоприятную биологическую активность и остеоинтеграцию [53].

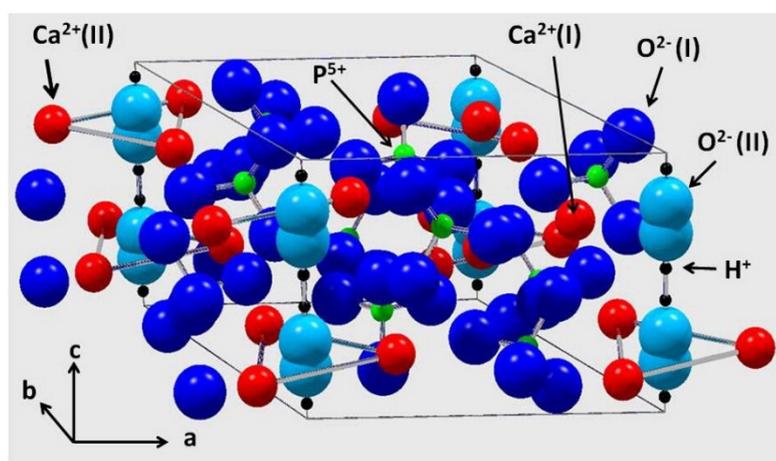


Рисунок 9 – Кристаллографическая структура ГА с орто-гексагональной группой ( $a = b = 9,418 \text{ \AA}$ ,  $c = 6,884 \text{ \AA}$ ) [54]

Пленка из ГА, нанесенная методом магнетронного распыления [55], характеризуется однородностью и высокой адгезией к поверхности имплантата [56].

### 1.5 Цель и задачи исследования

Цель работы заключается в исследовании особенностей формирования кальций-фосфатных покрытий методом ВЧ-магнетронного распыления в условиях падения паров осаждаемого материала под скользящим углом к подложке.

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи.

1. Выполнить литературный обзор по напылению покрытий под скользящим углом к подложке. Выявить основные закономерности по результатам изучения работ, посвященных данному вопросу.
2. Разработать методику нанесения кальцийфосфатных покрытий и определить параметры процесса осаждения.
3. Подготовить необходимое количество титановых подложек для осаждения покрытий при разных условиях напыления.
4. Произвести комплекс исследований, позволяющий наиболее полно охарактеризовать полученные покрытия.
5. Оценить влияние изменения параметров напыления на толщину, оптические характеристики, морфологию и топографию покрытия.

## **2 Объекты и методы исследования**

### **2.1 Объекты исследования**

В качестве материала подложки были использованы образцы из технически чистого титана марки ВТ1-0 (99,58 Ti, 0,12 O, 0,18 Fe, 0,07 C, 0,04 N, 0,01 H мас.%). Титан находился в крупнокристаллическом (КК) и ультрамелкозернистом (УМЗ) состоянии. УМЗ состояние было получено комбинированным методом интенсивной пластической деформации. Образцы имели форму пластин с размерами  $10 \times 10 \times 1 \text{ мм}^3$  и дисков диаметром 13 мм. Также для напыления использовались образцы монокристаллического кремния Si (100). Обработка поверхности титановых подложек производилась на шлифовальных бумагах марок P150, P320, P400 P600, P1000, P1500 и P2000. Полирование проводилось с использованием алмазных паст, абразивная способность которых составляет 28-20, 20-18 и 14-10 мкм. Обезжиривание и очистка образцов от загрязнений, полученных в процессе механической очистки поверхности с помощью абразивов и полировании с использованием алмазных паст, производились в специализированной ультразвуковой ванне с последующей сушкой. Нанесение кальцийфосфатных покрытий проводилось методом ВЧ магнетронного распыления.

### **2.2 Особенности формирования кальцийфосфатных покрытий на наклонных подложках методом ВЧ-магнетронного распыления**

CaP покрытия были сформированы методом ВЧ-магнетронного распыления на установке «Яхонт-2М» с частотой источника 13,56 МГц.

Установка Яхонт-2М предназначена для отработки технологии высокочастотного магнетронного нанесения кальцийфосфатных покрытий на поверхность твёрдых тел. Она включает в себя пульт управления, вакуумный пост, обеспечивающий создание разряжения в объёме рабочей камеры не хуже 0.01 Па и вакуумную камеру, оснащённую механизмом вращения и перемещения обрабатываемых изделий, а также системой напуска рабочего и

реакционного газов. Магнитная система средне разбалансированная с постоянными магнитами состава NdFeB, с армко-железными магнитопроводом и кольцевой наставкой магнитопровода.

На рисунке 10 представлен внешний вид установки Яхонт-2М.



Рисунок 10 – Внешний вид установки Яхонт-2М [57]

Мишень магнетрона представляет собой керамический диск, состоящий из кальцийфосфатов. Изготовление проводилось методом прессования с последующим обжигом в камерной электропечи при температуре 1000 °С.

Предварительное прессование в процессе изготовления мишени обеспечивает удаление большей части воздуха, находящегося в пространстве между гранулами прессовки. Температура окончательного обжига в воздушной среде менее 1000°С не достаточна для приобретения мишенью необходимой механической прочности, а обжиг при температуре свыше 1100°С не приводит к улучшению качества мишени [58].

Диаметр мишени составляет 110 мм, толщина – 3–4 мм.

На установке «Яхонт-2М» возможно формирование однородных кальцийфосфатных биопокровтий на поверхности диэлектрических (керамика, полимеры) и проводящих (биоинертные металлы и сплавы) материалов [57].

Схема процесса осаждения представлена на рисунке 11. Из представленной схемы можно определить расположение подложки относительно потока частиц. Подложки располагались на специальных держателях, расположенных при различных углах.

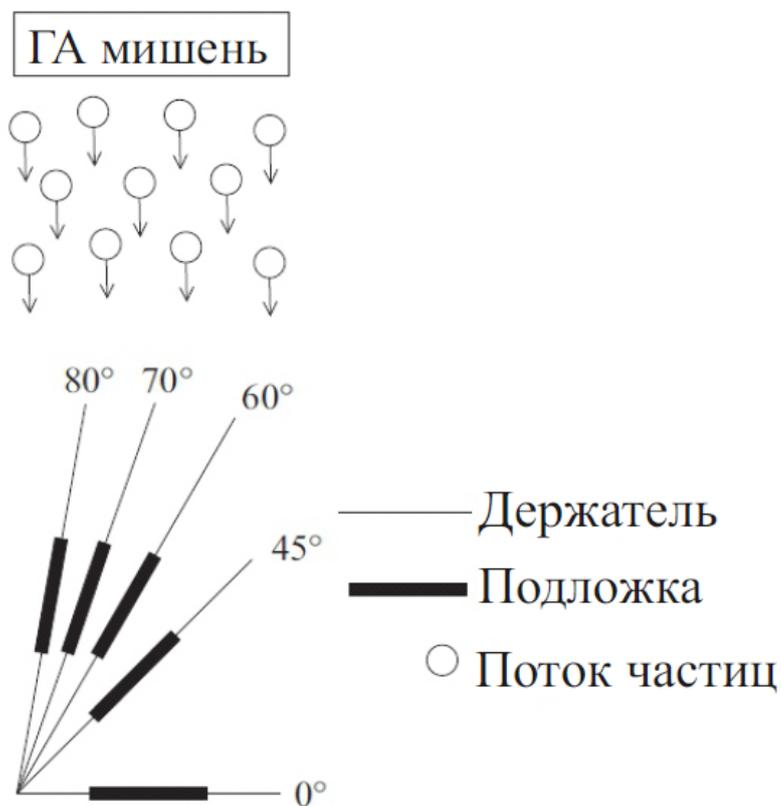


Рисунок 11 – Схематическое изображение процесса осаждения

В ходе анализа литературы по нанесению покрытий на наклонную подложку методом ВЧ магнетронного распыления были составлены основные параметры осаждения CaP покрытий, которые отображены в таблице 3.

Таблица 3 – Параметры осаждения CaP покрытий на ВЧ магнетронной установке ЯХОНТ-2М

Угол наклона подложки, °	Давление, Па	Время осаждения, мин	Расстояние мишень-подложка, мм	Мощность, Вт	Плотность мощности, Вт/см <sup>2</sup>	Материал подложки
0; 70; 80	0,1	120	45	350	3,68	Si, Ti и

0; 70; 80			300	3,15	УМЗ Ti
0; 70; 80			250	2,63	
0; 70; 80			200	2,1	
0; 80	0,6	180	300	3,15	Ti

В качестве подложки помимо титана был использован кремний (1 0 0) для минимизации влияния шероховатости образца.

## 2.3 Методы исследования

В данной работе были использованы следующие методы исследования: эллипсометрия, растровая электронная микроскопия (РЭМ), атомно-силовая микроскопия (АСМ), рентгенофазовый анализ (РФА). Данные методы позволяют наиболее полно охарактеризовать полученные покрытия.

### 2.3.1 Эллипсометрия

Метод эллипсометрии основан на том, что в общем случае свет после отражения от исследуемого образца изменяет свою форму поляризации [59].

Отраженная волна формируется на границах оптически контрастных сред, поэтому эллипсометрические измерения несут информацию об оптической структуре приповерхностной области и тех процессах, которые влияют на ее оптические свойства. В частности, данным методом удастся с прецизионной точностью измерять толщину тонкослойных покрытий, кристаллическую структуру и состав материалов, изучать переходные слои, исследовать адсорбционные процессы на границе раздела двух фаз [60].

К характерным особенностям метода относятся: высокая чувствительность, отсутствие возмущающего воздействия на объект, возможность мониторинга в реальном времени. Эти особенности делают его

качественным аналитическим средством исследования и контроля различных высокотехнологических процессов.

В работе был использован спектральный эллипсометрический комплекс ЭЛЛИПС-1891 САГ (рисунок 12).



Рисунок 12 – спектральный эллипсометрический комплекс ЭЛЛИПС-1891 САГ [61]

Эллипсометр предназначен для проведения прецизионных измерений толщины однослойных и многослойных тонкопленочных структур, а также исследования спектральных оптических постоянных (показателя преломления и коэффициента поглощения), структурных свойств материалов (пористость; наличие, концентрация и распределение примесей в пленке).

### **2.3.2 Растровая электронная микроскопия**

Растровая электронная микроскопия (РЭМ) является мощным методом исследования поверхностных структур.

В этом приборе пучок электронов фокусируется системой линз в пятно диаметром 1-10 нм на поверхности исследуемого образца и сканируется с помощью системы отклоняющих катушек синхронно с электронным пучком в видеотрубке, которая используется в качестве оптического дисплея. Оба

электронных пучка управляются одним и тем же генератором сканирования, поэтому увеличение просто равно отношению размеров дисплея и исследуемой области на поверхности образца. В растровом электронном микроскопе используется детектирование различных сигналов, включая вторичные электроны, обратно рассеянные электроны, рентгеновское излучение и ток, проходящий через образец. Характеристики данных сигналов зависят от многих факторов, включая энергию электронного пучка и характер образца, поскольку пучок электронов попадает на образец и далее попадает на детектор. Двумерная карта снимаемого сигнала и представляет собой изображение поверхности.

В связи с тем, что покрытие является диэлектриком, необходимо покрыть образец проводящим материалом для увеличения его проводимости в растровом электронном микроскопе и предотвращении накопления высоковольтных зарядов на образце путем проведения заряда на землю. Обычно образцы покрывают тонким слоем проводящего металла (например, золота, золота-палладия или платины) [62].

Морфология поверхности анализировалась с помощью растрового электронного микроскопа ESEM Quanta 400 FEG (рисунок 13).



Рисунок 13 – Растровый электронный микроскоп (ESEM Quanta 400 FEG) [63]

В нашем случае образцы покрывались золотом-палладием в течение 15 с. перед исследованием на микроскопе таким образом, чтобы не была изменена

морфология поверхности. Расчетная толщина осажденного слоя Au-Pd составляет 4-5 нм.

### **2.3.3 Атомно-силовая микроскопия**

Атомно-силовая микроскопия (АСМ) является широко используемым методом поверхностного сканирования, способным восстанавливать в нанометровом масштабе трехмерную морфологию широкого круга образцов.

АСМ представляет собой трехмерную топографическую технику с высоким атомным разрешением для измерения, в том числе шероховатости поверхности. АСМ - своего рода сканирующий зондовый микроскоп. Существует множество способов по применению метода АСМ для исследования свойств поверхности, включая измерение трения, сил адгезии, вязкоупругих свойств, а также определение модуля Юнга и изображений магнитных или электростатических свойств. Метод АСМ может анализировать различные типы образцов, такие как полимеры, адсорбированные молекулы, пленки или волокна и порошки в воздухе, будь то в контролируемой атмосфере или в жидкой среде. В последнее десятилетие АСМ стала мощным инструментом для получения наноструктурных деталей и биомеханических свойств биологических образцов, в том числе биомолекул и клеток.

Механизм АСМ основан на обнаружении сил, действующих между острым зондом и поверхностью образца. Наконечник (зонд) или датчик АСМ прикреплен к очень гибкому кантилеверу. Сила между наконечником и образцом преобразуется в изгиб или отклонение кантилевера, которое на рисунке 14 обозначено пунктирной линией. Это отклонение кантилевера должно быть обнаружено и преобразовано в электрический сигнал для получения изображений.

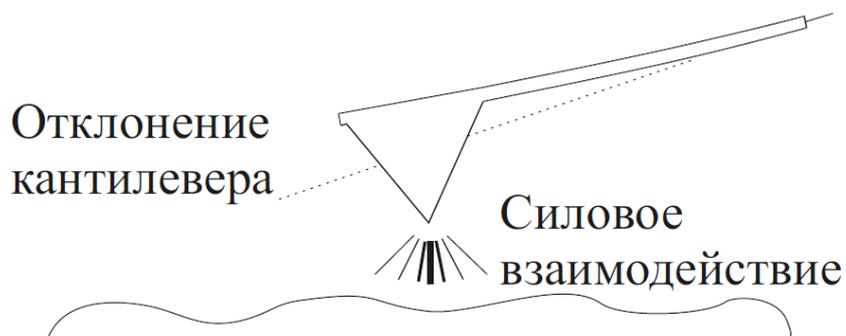


Рисунок 14 – Механизм АСМ

Существует несколько способов обнаружения движения кантилевера. В настоящее время большинство АСМ для реализации лазерного детектирования использует оптическую систему. Существуют позиционно-чувствительные детекторы, называемые фотодиодами. Когда кантилевер отклоняется, угол отраженного лазерного луча изменяется, а пятно падает на другую часть фотодиода, позиционно-чувствительный детектор (рисунок 15).

Консольные микропроцессоры изготовлены из двуокиси кремния или нитрида кремния, которые контактируют с представляющей интерес поверхностью. Между зондом и поверхностью образуются силы, проходящие через зонд и поверхность, которые позволяют системе АСМ регистрировать отклонение кантилевера. «Жесткость кантилевера» определяется законом Гука, при его отклонении [64].

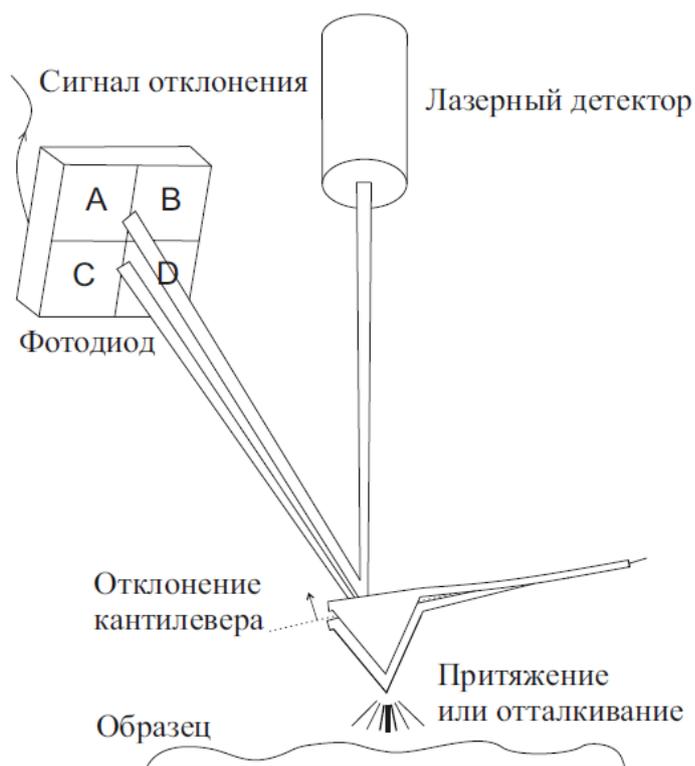


Рисунок 15 – Система детектирования АСМ

АСМ можно снабдить несколькими датчиками, которые позволяют одновременно измерять несколько параметров, и обнаруживать, морфологические, топографические, и микромеханические изменения [65].

Атомно-силовая микроскопия была выполнена с использованием ЖПК NanoWizard (рисунок 16).



Рисунок 16 – Атомно-силовой микроскоп (ЖПК NanoWizard) [66]

Контактный режим анализа покрытия проводился с наконечником NCH (кремниевый наконечник с радиусом 8 нм, постоянная пружины 42 N·м<sup>-1</sup>, резонансная частота 320 кГц, скорость сканирования 1,0 Гц).

### 2.3.4 Рентгенофазовый анализ

Рентгенофазовый анализ (РФА) является одним из наиболее известных методов исследования структурных свойств материала. Традиционно РФА применяется на толстых или порошкообразных материалах из-за его глубины проникновения и, следовательно, его способности обнаруживать внутренние структурные свойства материала.

В основе РФА лежит физическое явление – дифракция. Под дифракцией понимается явление сильного рассеяния волн на периодической решётке рассеивателя при определенных углах падения и длинах волн. Простейший случай такого явления возникает при рассеянии света на дифракционной решётке. Аналогичное явление наблюдается при рассеянии рентгеновского излучения, используемого в РФА, в котором в качестве рассеивателя выступает кристаллическая решетка фазы. При этом интенсивные пики рассеяния наблюдаются при выполнении условия Вульфа — Брэггов [67] (рисунок 17):

$$2d \cdot \sin 2\theta = n\lambda, \quad (3)$$

где  $d$  – расстояние между соседними кристаллографическими плоскостями, м;  $\theta$  – угол, под которым наблюдается дифракция, град.;  $n$  – порядок дифракции;  $\lambda$  – длина волны монохроматических рентгеновских лучей, падающих на кристалл, м.

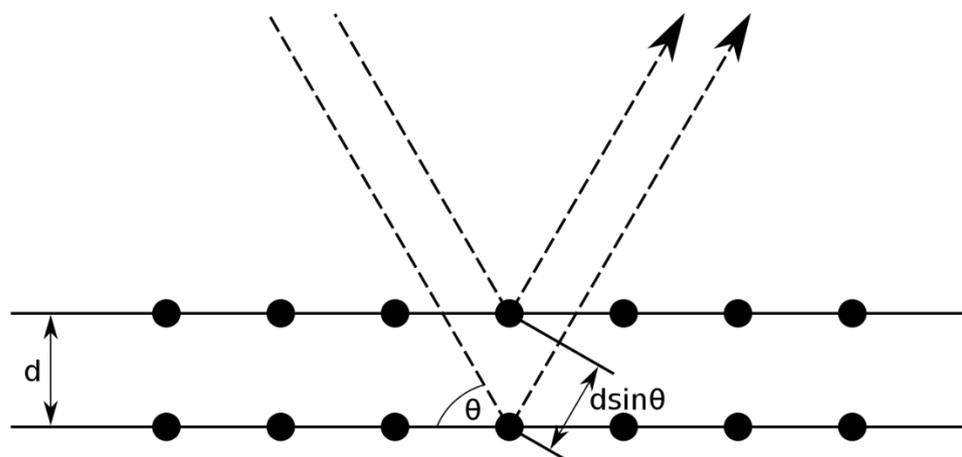


Рисунок 17 – Схема падения ( $\theta$ ) и отражения рентгеновского луча [68]

Рентгеновские методы играют ведущую роль в качестве инструмента для изучения характеристики материала. РФА обычно использует обычную геометрию «отражения»  $\theta - 2\theta$  (или Брэгга - Brentано), в которой угол падения равен углу дифрагированного пучка относительно исследуемой поверхности образца. Конфигурация устройства гарантирует, что луч высокой интенсивности, дифрагированный от любого конкретного набора кристаллических плоскостей образца, будет сфокусирован на отверстие перед вращающимся детектором. Рентгеновские лучи с большими углами отражения падения проходят через несколько сотен микрометров внутри исследуемого материала в зависимости от его «радиационной» плотности. При проведении тонкопленочного анализа, глубина проникновения пучка может быть значительно больше толщины образца. Следовательно, обычный РФА не подходит для детального изучения субмикрометрических слоев в тонкопленочных образцах [69].

В случае, когда образец тоньше длины поглощения рентгеновского излучения и рентгеновский луч падает под высоким углом, потенциально большая часть падающего рентгеновского излучения фактически поглощается подложкой, а не образцом, что приводит к потере сигнала. Уменьшение угла падения позволит большему количеству рентгеновских лучей поглощаться образцом, а не подложкой, что увеличивает выход сигнала. Кроме того, рентгеновский поток на образце также уменьшается по мере того, как

рентгеновское излучение распространяется на большую область образца, что уменьшает повреждение рентгеновских лучей [70]. В работе был использован PanAlytical X Pert Powder (рисунок 18).



Рисунок 18 – Дифрактометр рентгеновский PanAlytical X Pert Powder [71]

Для анализа полученных спектров была использована программа «PowderCell 2.4».

## **4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

Данная работа затрагивает вопросы исследования особенностей формирования кальций-фосфатных покрытий методом ВЧ-магнетронного распыления в условиях падения паров осаждаемого материала под скользящим углом к подложке.

### **4.1 Предпроектный анализ**

#### **4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования**

Целевой рынок потребителей — это предприятия, занимающиеся производством имплантатов для использования их в различных медицинских учреждениях.

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 гидроксиапатит (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.

#### 4.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

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

Анализ предлагаемых конкурентных решений проведен при помощи оценочной карты, для этой цели была определена конкурентная технология на рынке для метода магнетронного распыления ( $B_{\phi}$ ), это метод термического осаждения ( $B_{kl}$ ).

Таблица 8 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		$B_{\phi}$	$B_{kl}$	$K_{\phi}$	$K_{kl}$
1	2	3	4	5	6
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>					
1. Время нанесения покрытий	0,07	3	4	0,21	0,28
2. Безопасность в эксплуатации	0,1	4	4	0,4	0,4
3. Возможность нанесения различных покрытий	0,1	3	4	0,3	0,4
4. Чистота пленок	0,08	4	3	0,32	0,24
5. Простота технологии нанесения покрытия	0,08	5	5	0,4	0,4
6. Широта области применения покрытий	0,09	5	5	0,45	0,45

<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>					
1. Конкурентоспособность технологии нанесения покрытий	0,08	4	5	0,32	0,4
2. Стоимость покрытий	0,1	3	4	0,3	0,4
3. Цена установки	0,11	3	4	0,33	0,44
4. Предполагаемый срок эксплуатации установки	0,09	4	4	0,36	0,36
5. Финансирование научных разработки с использованием метода	0,1	3	4	0,3	0,4
<b>Итого</b>	<b>1</b>			<b>3,69</b>	<b>4,17</b>

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в таблице 8, подбираются, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная.

Расчет показателя конкурентоспособности производился по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot V_i, \quad (5)$$

где  $K$  – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

$B_i$  – бал  $i$ -го показателя;

$V_i$  – вес показателя (в долях единицы).

Согласно представленной таблице (см. таблица 8) видно, что предполагаемая технология нанесения покрытий незначительно проигрывает конкуренту. Показатель конкурентоспособности метода микродугового оксидирования равен 4,17, когда для метода ВЧ магнетронного распыления он равен 3,69. Данный результат обусловлен рядом факторов. Одним из важнейших минусов используемого метода это низкая автоматизация процесса, и продолжительное время нанесения покрытия. Это ведет к низкой производительности труда, в сравнении с конкурентом. Энергоэкономичность

технологии так же является слабой стороной, при работе вакуумной техники и высокомоощного источника питания затрачивается большое количество ресурсов. Конкурентным преимуществом является высокая рыночная доступность технологии и практичность в использовании.

Для повышения конкурентоспособности метода, предлагается:

- 1) Снизить энергозатраты путем применения более экономичного вакуумного оборудования;
- 2) Автоматизировать процесс нанесения покрытий;
- 3) Повысить эффективность нанесения покрытий.

#### **4.1.3 SWOT-анализ**

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Он 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 трактовку каждому из этих понятий.

1. 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. При этом важно рассматривать сильные стороны и с точки зрения руководства проекта, и с точки зрения тех, кто в нем еще задействован.

2. 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.

3. 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.

4. 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.

Результаты первого этапа SWOT-анализа представлены в таблице 9.

Таблица 9 – матрица - SWOT

<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Улучшение физико-механических свойств покрытий.</p> <p>С2. Лучшая биосовместимость изделий.</p> <p>С3. Большой срок эксплуатации изделий.</p> <p>С4. Низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</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 имплантатах с биосовместимым покрытием.</p> <p>В2. Выгодное соотношение качество/цена.</p> <p>В3. Интерес к подобным исследованиям со стороны иностранных партнеров.</p>	<p>Угрозы:</p> <p>У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства.</p> <p>У2. Присутствие на рынке зарубежных конкурентов.</p> <p>У3. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства.</p>

После того как сформулированы четыре области SWOT переходят к реализации 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. Возможно использование этой матрицы в качестве одной из основ для оценки вариантов стратегического выбора. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильным сторонам возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-». Пример интерактивной матрицы проекта представлен в таблице 10.

Таблица 10 – Интерактивная матрица проекта

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

Анализ интерактивных таблиц представляется в форме записи сильно коррелирующих сильных сторон и возможностей, или слабых сторон и возможностей и т.д. следующего вида: B1C1C2; B2C1C2C3C4; B3C1C2. Каждая из записей представляет собой направление реализации проекта.

В рамках третьего этапа должна быть составлена итоговая матрица SWOT-анализа, которая приводится в магистерской диссертации (таблица 11).

Таблица 11 – 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. Низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями.</p>	<p>Сл1. Сложность проведения клинических испытаний.</p> <p>Сл2. Длительный процесс напыления покрытия на имплантаты/партию имплантатов.</p> <p>Сл3. Сложность вывода на рынок.</p> <p>Сл4. Недостаток финансовых средств.</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Быстрорастущая потребность в имплантатах с биосовместимым покрытием.</p> <p>В2. Выгодное соотношение качество/цена.</p> <p>В3. Интерес к подобным исследованиям со стороны иностранных партнеров.</p>	<p>Используя полученные достижения в области разработки биосовместимых покрытий можно создать конкурентоспособную российскую продукцию на мировом рынке.</p>	<p>Научно-исследовательские достижения ТПУ могут быть использованы при отсутствии необходимого оборудования и недостатке финансирования.</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства.</p> <p>У2. Присутствие на рынке зарубежных конкурентов.</p> <p>У3. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства.</p>	<p>Большой процент от общего объема рынка приходится на долю зарубежных производителей имплантатов.</p>	<p>Имплантаты будут соответствовать необходимым требованиям для вывода на рынок</p>

Результаты SWOT-анализа учитываются при разработке структуры работ, выполняемых в рамках научно-исследовательского проекта.

#### 4.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации

При проведении анализа, по каждому показателю ставится оценка по пятибалльной шкале. При этом система измерения по каждому направлению (степень проработанности научного проекта, уровень имеющихся знаний у разработчика) отличается. Так, при оценке степени проработанности научного проекта 1 балл означает не проработанность проекта, 2 балла – слабую проработанность, 3 балла – выполнено, но в качестве не уверен, 4 балла – выполнено качественно, 5 баллов – имеется положительное заключение независимого эксперта. Для оценки уровня имеющихся знаний у разработчика система баллов принимает следующий вид: 1 означает не знаком или мало знаю, 2 – в объеме теоретических знаний, 3 – знаю теорию и практические примеры применения, 4 – знаю теорию и самостоятельно выполняю, 5 – знаю теорию, выполняю и могу консультировать.

Таблица 12 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1	Определен имеющийся научно-технический задел	4	4
2	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	4	3
3	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	4	4
4	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	4	3
5	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	3	3
6	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	2	2

7	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	2	2
8	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	2	1
9	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	3	3
10	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	4	3
11	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	2	3
12	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	2	1
13	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	2	2
14	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	1	1
15	Проработан механизм реализации научного проекта	2	2
	<b>ИТОГО БАЛЛОВ</b>	41	37

Оценка готовности научного проекта к коммерциализации (или уровень имеющихся знаний у разработчика) определяется по формуле:

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i, \quad (6)$$

где  $B_{\text{сум}}$  – суммарное количество баллов по каждому направлению;

$B_i$  – балл по  $i$ -му показателю.

Значение  $B_{\text{сум}}$  позволяет говорить о мере готовности научной разработки и ее разработчика к коммерциализации. Значения  $B_{\text{сум}}$  получились 41 и 37, что входит в диапазон от 44 до 30. Таким образом, перспективность научного проекта к коммерциализации можно оценить как средняя.

#### **4.1.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования**

При коммерциализации научно-технических разработок продавец (а это, как правило, владелец соответствующих объектов интеллектуальной собственности), преследует вполне определенную цель, которая во многом зависит от того, куда в последующем он намерен направить (использовать, вложить) полученный коммерческий эффект. Это может быть получение средств для продолжения своих научных исследований и разработок (получение финансирования, оборудования, уникальных материалов, других научно-технических разработок и т.д.), одноразовое получение финансовых ресурсов для каких-либо целей или для накопления, обеспечение постоянного притока финансовых средств, а также их различные сочетания.

При этом время продвижения товара на рынок во многом зависит от правильности выбора метода коммерциализации. Задача данного раздела магистерской диссертации – это выбор метода коммерциализации объекта исследования и обоснование его целесообразности. Для того чтобы это сделать необходимо ориентироваться в возможных вариантах.

Выделяют следующие методы коммерциализации научных разработок.

1. *Торговля патентными лицензиями*, т.е. передача третьим лицам права использования объектов интеллектуальной собственности на лицензионной основе. При этом в патентном законодательстве выделяющие виды лицензий: исключительные (простые), исключительные, полные лицензии, сублицензии, опционы.

2. *Передача ноу-хау*, т.е. предоставление владельцем ноу-хау возможности его использовать другим лицом, осуществляемое путем раскрытия ноу-хау.

3. *Инжиниринг* как самостоятельный вид коммерческих операций предполагает предоставление на основе договора инжиниринга одной стороной, именуемой консультантом, другой стороне, именуемой заказчиком, комплекса или отдельных видов инженерно-технических услуг, связанных с

проектированием, строительством и вводом объекта в эксплуатацию, с разработкой новых технологических процессов на предприятии заказчика, усовершенствованием имеющихся производственных процессов вплоть до внедрения изделия в производство и даже сбыта продукции.

4. *Франчайзинг*, т.е. передача или переуступка (на коммерческих условиях) разрешения продавать чьи-либо товары или оказывать услуги в некоторых областях.

5. *Организация собственного предприятия*.

6. *Передача интеллектуальной собственности* в уставной капитал предприятия.

7. *Организация совместного предприятия*, т.е. объединение двух и более лиц для организации предприятия.

8. *Организация совместных предприятий*, работающих по схеме «российское производство – зарубежное распространение».

Перспективность данного научного исследования была оценена как средняя, поэтому не все аспекты рассмотрены и изучены. Таким образом, пункты 4 – 8 не подходят для организации предприятия. Однако основной научно-технический задел проекта определен, что достаточно для коммерциализации, т.е. следующих методов (пункты 1 – 3): торговля патентной лицензией, передача ноу-хау, инжиниринг.

#### **4.2 Инициация проекта**

Группа процессов инициации состоит из процессов, которые выполняются для определения нового проекта или новой фазы существующего. В рамках процессов инициации определяются изначальные цели и содержание и фиксируются изначальные финансовые ресурсы. Определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать и влиять на общий результат научного проекта. Данная информация закрепляется в уставе проекта.

#### 4.2.1 Цели и результат проекта

В данном разделе приводится информация о заинтересованных сторонах проекта, иерархия целей проекта и критериях достижения целей.

Под заинтересованными сторонами проекта понимаются лица или организации, которые активно участвуют в проекте или интересы которых могут быть затронуты как положительно, так и отрицательно в ходе исполнения или в результате завершения проекта. Информация по заинтересованным сторонам проекта представлена в таблице 13.

Таблица 13 – Заинтересованные стороны проекта

<b>Заинтересованные стороны проекта</b>	<b>Ожидания заинтересованных сторон</b>
ИФПМ СО РАН	Исследование свойств поверхности кальций-фосфатных покрытий, полученных методом ВЧ-магнетронного распыления в условиях падения паров осаждаемого материала под скользящим углом к подложке

В таблице 14 представлена информация об иерархии целей проекта и критериях достижения целей. Цели проекта включают в себя цели в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Таблица 14 – Цели и результат проекта

<b>Цели проекта:</b>	Исследование свойств кальций-фосфатных покрытий, полученных методом ВЧ-магнетронного распыления в условиях падения паров осаждаемого материала под скользящим углом к подложке
<b>Ожидаемые результаты проекта:</b>	Получение шероховатых поверхностей на наноуровне
<b>Критерии приемки результата проекта:</b>	Оформление результатов исследования в законченный научно-исследовательский проект

<b>Требования к результату проекта:</b>	<b>Требование:</b>
	Высокая остеоинтеграция титановых имплантатов с CaP покрытием
	Увеличение наношероховатости покрытий
	Освоить работу с компьютерными программами для обработки полученных результатов

#### 4.2.2 Организационная структура проекта

На данном этапе работы были решены следующие вопросы: кто будет входить в рабочую группу данного проекта, определена роль каждого участника в данном проекте, а также прописаны функции, выполняемые каждым из участников и их трудозатраты в проекте. Информация представлена в табличной форме (таблица 15).

Таблица 15 – Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудо- затраты, час.
1	Шаркеев Ю.П., зав. лаб. ФНБ ИФПМ СО РАН, профессор	Руководитель	Координация деятельности проекта	104
2	Сазонов А.С., магистрант	Исполнитель	Выполнение научно- исследовательской работы	808
<b>ИТОГО:</b>				1200

### 4.2.3 Ограничения и допущения проекта

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а так же «границы проекта» - параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованных в рамках данного проекта.

Таблица 16 – Ограничения проекта

<b>Фактор</b>	<b>Ограничения/ допущения</b>
3.1. Бюджет проекта	151 884 руб.
3.1.1. Источник финансирования	ИФПМ СО РАН
3.2. Сроки проекта:	29.01.18 - 19.06.18
3.2.1. Дата утверждения плана управления проектом	29.01.18
3.2.2. Дата завершения проекта	19.06.18

### 4.3 План проекта

В рамках планирования научного проекта построен календарный график проекта.

Таблица 17 – Календарный план проекта

<b>Код работ ы (из ИСП)</b>	<b>Название</b>	<b>Длительно сть, дни</b>	<b>Дата начала работ</b>	<b>Дата окончани я работ</b>	<b>Состав участников</b>
1	Определение темы и разработка ТЗ на ВКР	3	29.01	31.01	руководитель, исполнитель
2	Изучение научно-технической литературы	17	1.02	23.02	исполнитель
3	Проведение экспериментальных	15	26.02	18.03	исполнитель

	исследований				
4	Проведение методов исследования	25	26.03	22.04	исполнитель
5	Анализ и обработка полученных результатов	25	23.04	27.05	исполнитель
6	Подведение итогов	10	28.05	10.06	руководитель, исполнитель
7	Подготовка к защите	6	11.06	18.06	исполнитель
<b>И т о г о:</b>		101	31.01	18.06	

#### 4.4 Бюджет научного исследования

Процесс формирования бюджета НТИ включает в себя учет материальных затрат НТИ, затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ, основную заработную плату исполнителей темы и другие статьи по затратам.

##### 4.4.1 Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты

Расчет стоимости материальных 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).

Таблица 18 – Сырье, материалы, комплектующие изделия и покупные полуфабрикаты

Наименование	Марка, размер	Кол-во	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Подложка из титана	BT1-0, 10×10×1	29 шт.	13	377

	мм <sup>3</sup>			
Подложка из УМЗ титана	5×15×1 мм <sup>3</sup>	3 шт.	20	60
Гидроксиапатит	Ca <sub>10</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> (OH) <sub>2</sub>	400 г	5000	5000
Моющее средство	л	1 л	30	30
Дистиллированная вода	л	10 л	15	1500
Аргон	л	1 л	212	212
Растворитель (бензин)	л	0,5 л	25	25
Спирт этиловый	л	1 л	200	200
Бумага	упаковка	1	200	200
Всего за материалы				7604
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)				304
Итого по статье				7908

#### 4.4.2 Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

Данная статья включает все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стенов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по теме работы.

Таблица 19 – Расчет затрат по статье «Спецоборудование для научных работ»

№	Наименование оборудования	Кол-во	Цена единицы оборудования, тыс.руб.	Срок эксплуатации оборудования, лет	Амортизационные отчисления, руб.

1	ВЧ магнетронная установка	1	1000	10	2656
2	Растровый электронный микроскоп	1	4000	10	3187
3	Эллипсометр	1	500	7	569
4	Атомно-силовой микроскоп	1	2500	10	3984
Итого по статье					10396

#### 4.4.3 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).

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

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (7)$$

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

$Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата ( $Z_{осн}$ ) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб}, \quad (8)$$

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

$T_p$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (таблица 20);

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}}, \quad (9)$$

где  $Z_{\text{м}}$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 24 раб. дня  $M = 11,2$  месяца, 5-дневная неделя; при отпуске в 48 раб. дней  $M = 10,4$  месяца, 6-дневная неделя;

$F_{\text{д}}$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (таблица 20).

Таблица 20 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Магистр
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	118	118
- праздничные дни		
Потери рабочего времени		
- отпуск	24	24
- невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	223	223

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{б}} \cdot (k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}}, \quad (10)$$

где  $Z_{\text{б}}$  – базовый оклад, руб.;

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

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

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

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 21.

Таблица 21 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_{б, руб.}$	$k_{пр}$	$k_d$	$k_p$	$Z_{м, руб}$	$Z_{дн, руб.}$	$T_p, раб. дн.$	$Z_{осн, руб.}$
Руководитель	36800	-	-	1,3	47840	2402	13	31226
Магистр	9893	-	-	1,3	12860	646	101	68476

#### 4.4.4 Отчисления на социальные нужды

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды (30,2%).

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

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

$$C_{внеб} = 0,302 \cdot 99702 = 30110 \text{ руб.}$$

Отчисления на социальные нужды (30,2 от статьи заработной платы) составили 30110 рублей.

#### 4.4.5 Накладные расходы

Данная статья включает в себя затраты на управление и хозяйственное обслуживание, которые могут быть отнесены непосредственно на конкретную тему.

Таблица 22 – Расчет накладных затрат по статье «Спецоборудование для научных работ»

№	Наименование оборудования	Затраты на электроэнергию, руб.	Затраты на воду, руб.

1	ВЧ магнетронная установка	2030	633
2	Растровый электронный микроскоп	278	–
3	Эллипсометр	140	–
4	Атомно-силовой микроскоп	696	–
Итого по статье			3777

Таблица 23 – Полная смета затрат на выполнение проекта

Статьи	Затраты, руб
Основные и вспомогательные материалы	7908
Заработная плата	99693
Отчисления на социальные нужды	30110
Амортизация	10396
Затраты на электроэнергию и водоснабжение	3777
Итого	151884

#### 4.5 Реестр рисков проекта

Идентифицированные риски проекта включают в себя возможные неопределенные события, которые могут возникнуть в проекте и вызвать последствия, которые повлекут за собой нежелательные эффекты. Информацию по данному разделу необходимо свести в таблицу (таблица 24).

Таблица 24 – Реестр рисков

№	Риск	Потенциальное воздействие	Вероятность наступления	Влияние риска	Уровень риска	Способы смягчения риска	Условия наступления
---	------	---------------------------	-------------------------	---------------	---------------	-------------------------	---------------------

			плени я	а			
1	Выход из строя магнетрона	Задержки в выполнении плана	2	3	Средний	Регулярный осмотр и проверка всех систем, чистка камеры и подложек	Ошибки работы программы, загрязнение трубопроводов охлаждения, человеческий фактор
2	Выход из строя источника напряжения	Задержка в выполнении плана	2	3	Средний	Соблюдать технику эксплуатации и прибора	Человеческий фактор
3	Соблюдение всех шагов подготовки образцов	Не корректные результаты	3	5	Высокий	Проверять каждый шаг	Человеческий фактор

#### 4.6 Оценка сравнительной эффективности исследования

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

Таблица 25 – Группировка затрат по статьям аналогов разработки

Вариант исполнения аналога №	Сырье, материалы (за вычетом возвратных отходов), покупные изделия и полуфабрикаты	Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	Основная заработная плата	Накладные расходы	Отчисления на социальные нужды	Итого плановая себестоимость
1	12500	12400	99693	5800	30110	160503

В результате было получено, что бюджет затрат НТИ составит 151 884 руб. При этом затраты у конкурентов составляют 160 503 рублей, из чего можно сделать вывод что полученный продукт будет экономичней, чем у конкурентов.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения. Для данного проекта и для аналога 1 данный показатель составил 0,95 и 1 соответственно.

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное уменьшение бюджета затрат разработки.

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

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a, \quad I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i b_i^p, \quad (12)$$

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

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

$n$  – число параметров сравнения.

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

Таблица 26 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

ПО Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,25	5	5
2. Удобство в эксплуатации	0,15	4	3
3. Безопасность получения	0,25	5	4
4. Удобство получения биоматериала	0,15	4	3
5. Материалоемкость	0,2	4	3
ИТОГО	1	4,4	3,6

$$I_{\text{ТП}} = 5 * 0,25 + 4 * 0,15 + 5 * 0,25 + 4 * 0,15 + 4 * 0,2 = 4,5$$

$$\text{Аналог } 1 = 5 * 0,25 + 3 * 0,15 + 4 * 0,25 + 3 * 0,15 + 3 * 0,2 = 3,35$$

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

$$I_{финр}^p = \frac{I_m^p}{I_\phi^p} = \frac{4,5}{0,95} = 4,73 \quad I_{финр}^a = \frac{I_m^a}{I_\phi^a} = \frac{3,35}{1} = 3,35 \quad (13)$$

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

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{финр}^p}{I_{финр}^a} = \frac{4,73}{3,35} = 1,41 \quad (14)$$

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

Таблица 27 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Аналог	Разработка
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	0,95
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3,35	4,5
3	Интегральный показатель эффективности	3,35	4,73
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,41	

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет понять и выбрать более эффективный вариант решения поставленной в магистерской диссертации технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

## **5 Социальная ответственность**

В современных условиях одним из основных направлений коренного улучшения всей профилактической работы по снижению производственного травматизма и профессиональной заболеваемости является повсеместное внедрение комплексной системы управления охраной труда, то есть путем объединения разрозненных мероприятий в единую систему целенаправленных действий на всех уровнях и стадиях производственного процесса.

Магистерская работа по теме особенности формирования кальций-фосфатных покрытий методом ВЧ-магнетронного распыления в условиях падения паров осаждаемого материала под скользящим углом к подложке предполагает работу с вакуумным оборудованием, а так же работу с газовыми баллонами.

Охрана труда – система законодательных, социально-экономических, организационных, технологических, гигиенических и лечебно-профилактических мероприятий и средств, обеспечивающих безопасность, сохранение здоровья и работоспособности человека в процессе труда.

Вредный производственный фактор – производственный фактор, воздействие которого на работающего в определенных условиях приводит к заболеванию или снижению трудоспособности.

Опасный производственный фактор – производственный фактор, воздействие которого в определенных условиях приводят к травме или другому внезапному, резкому ухудшению здоровья.

Правила по охране труда и техники безопасности вводятся в целях предупреждения несчастных случаев, обеспечения безопасных условий труда и являются обязательными для исполнения рабочими, служащими, инженерно-техническими работниками и руководящим составом.

Ниже следуют требования международного стандарта ISO 26000:2011 к деятельности организаций в области социальной ответственности по тем разделам модулей, по которым должны быть приняты указанные проектные решения.

## 5.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

Производственные условия на рабочем месте характеризуются наличием опасных и вредных факторов, которые классифицируются по группам элементов: физические, химические, биологические, психофизиологические.

Таблица 28 – основные виды работ, которые могут привести к воздействию опасных и вредных факторов

Наименование видов работ и параметров производственного процесса	ФАКТОРЫ ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Работа с ПВЭМ и ВЧ магнетронной установкой «ЯХОНТ-2М». ИФПМ СО РАН	—	Электрический ток	ГОСТ 12.1.038–82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
	Воздействие радиации (ВЧ,УВЧ,СВЧ и т.д.)	—	СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к ПЭВМ и организация работы»

			СанПин 2.2.4/2.1.8.055-96 «Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона»
	—	Пожарная безопасность	Пожаро- и взрывобезопасность промышленных объектов. ГОСТ Р12.1.004-91 ССБТ Пожарная безопасность
Газовые баллоны	—	Пожарная и взрывная безопасность	Пожаро- и взрывобезопасность промышленных объектов. ГОСТ Р12.1.004-85 ССБТ Пожарная безопасность

При работе на ПЭВМ и ВЧ магнетронной установке на работника могут воздействовать следующие факторы:

Физические:

- отклонения параметров микроклимата от санитарно-гигиенических требований (температура и влажность воздуха);
- шум;
- статическое электричество;
- электромагнитное поле высокой чистоты;
- ненормативная освещённость;

- наличие излучения;
- работа с газовыми баллонами.

Психофизиологические:

- физические перегрузки (статическая, динамическая);
- нервно-психические перегрузки (умственные перегрузки, перегрузки анализаторов, монотонность труда, эмоциональные перегрузки).

## **5.2 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния на персонал**

### **5.2.1 Организационные мероприятия**

Весь персонал обязан знать и строго соблюдать правила техники безопасности. Обучение персонала технике безопасности и производственной санитарии состоит из вводного инструктажа и инструктажа на рабочем месте ответственным лицом.

Проверка знаний правил техники безопасности проводится квалификационной комиссией после обучения на рабочем месте. Проверяемому, присваивается соответствующая его знаниям и опыту работы квалификационная группа по технике безопасности и выдается специальная удостоверение.

Лица, обслуживающие электроустановки не должны иметь увечий и болезней, мешающих производственной работе. Состояние здоровья устанавливается медицинским освидетельствованием.

### **5.2.2 Организация рабочего места оператора**

Рациональная планировка рабочего места предусматривает четкий порядок и постоянство размещения предметов, средств труда и документации. То, что требуется для выполнения работ чаще должно располагаться в зоне легкой досягаемости рабочего пространства (рисунок 36).

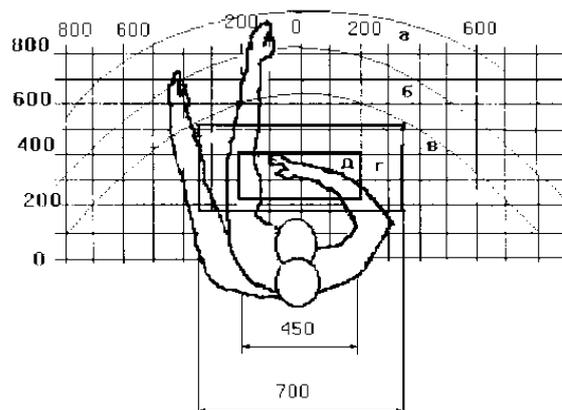


Рисунок 36 – Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости  
 (а – зона максимальной досягаемости рук; б – зона досягаемости пальцев при вытянутой руке; в – зона легкой досягаемости ладони; г – оптимальное пространство для грубой ручной работы; д – оптимальное пространство для тонкой ручной работы)

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

При проектировании письменного стола должны быть учтены следующие требования.

Высота рабочей поверхности стола рекомендуется в пределах 680-800 мм. Высота рабочей поверхности, на которую устанавливается клавиатура, должна быть 650 мм. Рабочий стол должен быть шириной не менее 700 мм и длиной не менее 1400 мм. Должно иметься пространство для ног высотой не менее 600 мм, шириной – не менее 500 мм, глубиной на уровне колен – не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног – не менее 650 мм.

Рабочее кресло должно быть подъёмно-поворотным и регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а так же расстоянию спинки до переднего края сиденья. Рекомендуется высота сиденья над уровнем пола 420-

550 мм. Конструкция рабочего кресла должна обеспечивать: ширину и глубину поверхности сиденья не менее 400 мм; поверхность сиденья с заглублённым передним краем.

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

Должна предусматриваться возможность регулирования экрана:

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

Клавиатуру следует располагать на поверхности стола на расстоянии 100-300 мм от края. Нормальным положением клавиатуры является её размещение на уровне локтя оператора с углом наклона к горизонтальной плоскости 15°. Более удобно работать с клавишами, имеющими вогнутую поверхность, четырёхугольную форму с закруглёнными углами. Конструкция клавиши должна обеспечивать оператору ощущение щелчка. Цвет клавиш должен контрастировать с цветом панели.

При однообразной умственной работе, требующей значительного нервного напряжения и большого сосредоточения, рекомендуется выбирать неяркие, малоконтрастные цветочные оттенки, которые не рассеивают внимание (малонасыщенные оттенки холодного зеленого или голубого цветов). При работе, требующей интенсивной умственной или физической напряженности, рекомендуются оттенки тёплых тонов, которые возбуждают активность человека.

### 5.2.3 Условия безопасной работы

Основные параметры, характеризующие условия труда это: микроклимат, шум, вибрация, электромагнитное поле, излучение, освещённость.

Воздух рабочей зоны (микроклимат) производственных помещений определяют следующие параметры: температура, относительная влажность, скорость движения воздуха. Оптимальные и допустимые значения характеристик микроклимата устанавливаются в ГОСТ 12.1.005-88 и приведены в таблице 29.

Таблица 29 – Оптимальные и допустимые параметры микроклимата

Период года	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный и переходный	23-25	40-60	0,1
Тёплый	23-25	40	0,1

К мероприятиям по оздоровлению воздушной среды в производственном помещении относятся: правильная организация вентиляции и кондиционирования воздуха, отопление помещений. Вентиляция может осуществляться естественным и механическим путём. В помещение должны подаваться следующие объёмы наружного воздуха: при объёме помещения до 20 м<sup>3</sup> на человека – не менее 30 м<sup>3</sup> в час на человека; при объёме помещения более 40 м<sup>3</sup> на человека и отсутствии выделения вредных веществ допускается естественная вентиляция.

Система отопления должна обеспечивать достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха. В помещениях с повышенными требованиями к чистоте воздуха должно использоваться водяное отопление. Параметры микроклимата в используемой лаборатории регулируются системой центрального отопления, и имеют следующие значения: влажность – 40%, скорость движения воздуха – 0,1 м/с, температура летом – 20-25 °С, зимой – 13-

15 °С. В лаборатории осуществляется естественная вентиляция. Воздух поступает и удаляется через щели, окна, двери. Основным недостатком такой вентиляции в том, что приточный воздух поступает в помещение без предварительной очистки и нагревания.

Шум и вибрация ухудшают условия труда, оказывают вредное воздействие на организм человека, а именно, на органы слуха и на весь организм через центральную нервную систему. В результате этого ослабляется внимание, ухудшается память, снижается реакция, увеличивается число ошибок при работе. Шум может создаваться работающим оборудованием, установками кондиционирования воздуха, осветительными приборами дневного света, а также проникать извне. При выполнении работы на ПЭВМ уровень шума на рабочем месте не должен превышать 50 дБ.

Экран и системные блоки производят электромагнитное излучение. Основная его часть происходит от системного блока и видео-кабеля. Напряженность электромагнитного поля на расстоянии 50 см вокруг экрана по электрической составляющей должна быть не более:

в диапазоне частот 5Гц-2кГц – 25В/м;

в диапазоне частот 2кГц-400кГц – 2,5В/м.

Плотность магнитного потока должна быть не более:

в диапазоне частот 5Гц-2кГц – 250нТл;

в диапазоне частот 2кГц-400кГц – 25нТл.

В диапазоне СВЧ = 300-300000 МГц допустимая плотность потока мощности (ППМ<sub>доп</sub>) при времени облучения ( $\tau$  облуч.) в течение всего рабочего дня составляет 10 мкВт/см<sup>2</sup>, при  $\tau$  облуч., равном 2 ч;

– 100 мкВт/см<sup>2</sup> и при  $\tau$  облуч, равном 15-20 мин;

– 1000 мкВт/см<sup>2</sup> (при обязательном использовании защитных очков).

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

Существуют следующие способы защиты от ЭМП:

- увеличение расстояния от источника (экран должен находиться на расстоянии не менее 50 см от пользователя);

- применение приэкранных фильтров, специальных экранов и других средств индивидуальной защиты.

При работе с компьютером источником ионизирующего излучения является дисплей. Под влиянием ионизирующего излучения в организме может происходить нарушение нормальной свертываемости крови, увеличение хрупкости кровеносных сосудов, снижение иммунитета и др. Доза облучения при расстоянии до дисплея 20 см составляет 50 мкбэр/час. Конструкция ЭВМ должна обеспечивать мощность экспозиционной дозы рентгеновского излучения в любой точке на расстоянии 0,05 м от экрана не более 100 мкР/час.

Утомляемость органов зрения может быть связана как с недостаточной освещенностью, так и с чрезмерной освещенностью, а также с неправильным направлением света.

### **5.3 Электробезопасность**

Электробезопасность — система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества.

Анализ опасности электрических сетей практически сводится к определению значения тока, протекающего через тело человека в различных условиях, в которых может оказаться человек при эксплуатации электрических сетей.

Безопасной для человека является величина переменного тока — 10 мА, постоянного — 50 мА, безопасное напряжение 12 В. Во избежание травматизма следует, соблюдать следующие правила:

- должна быть изучена инструкция по эксплуатации аппаратуры, а перед каждым включением производится осмотр рабочего места;

- обращать особое внимание на последовательность включений и

выключения питания отдельных узлов;

— все узлы комплекса должны быть заземлены через контур

заземления;

— контур заземления периодически проверяется на электрическое сопротивление.

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

– при непосредственном прикосновении к токоведущим частям во время ремонта;

– при прикосновении к нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением (в случае нарушения изоляции токоведущих частей);

– при прикосновении с полом, стенами, оказавшимися под напряжением;

– при коротком замыкании в высоковольтных блоках: блоке питания и блоке дисплейной развёртки.

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

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

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

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

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

Мероприятия по обеспечению электробезопасности электроустановок:

- отключение напряжения с токоведущих частей, на которых или вблизи которых будет проводиться работа, и принятие мер по обеспечению невозможности подачи напряжения к месту работы;

- вывешивание плакатов, указывающих место работы;

- заземление корпусов всех установок через нулевой провод;

- покрытие металлических поверхностей инструментов надежной изоляцией;

- недоступность токоведущих частей аппаратуры (заключение в корпуса электропоражающих элементов, заключение в корпус токоведущих частей).

#### **5.4 Пожарная безопасность**

Пожар – это неконтролируемый процесс горения, развивающийся во времени и пространстве, опасный для людей и наносящий материальный ущерб.

Пожарная и взрывная безопасность – это система организационных мероприятий и технических средств, направленная на профилактику и ликвидацию пожаров и взрывов на производстве.

Обеспечение пожаробезопасности начинается с определения класса взрывоопасной зоны или класса пожароопасной зоны данного производства.

Согласно НПБ 105-03 используемое помещение относится к категории пожароопасной В1-В4, т. е. в которых находятся горючие и трудногорючие жидкости, вещества и материалы (в том числе пыли и волокна), способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом только гореть, при условии, что помещения, в которых они находятся, не относятся к взрывопожароопасным категориям А или Б.

В лаборатории разработаны инструкции о мерах пожарной безопасности для каждого взрывопожароопасного и пожароопасного участка (мастерской, цеха и т. п.). На рисунке 37 представлен план эвакуации из 224 комнаты 3 корпуса ИФПМ СО РАН, где находится установка по напылению.



Рисунок 37 – План эвакуации при пожаре из помещений ИФПМ СО РАН

Мероприятия по пожарной профилактике разделяются на: организационные, технические, эксплуатационные и режимные.

Организационные мероприятия предусматривают правильную эксплуатацию оборудования, правильное содержание зданий и территорий, противопожарный инструктаж рабочих и служащих, обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности, издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации.

К техническим мероприятиям относятся: соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения, правильное размещение оборудования.

К режимным мероприятиям относятся, установление правил организации работ, и соблюдение противопожарных мер. Для предупреждения возникновения пожара от коротких замыканий, перегрузок и т. д. необходимо соблюдение следующих правил пожарной безопасности:

- исключение образования горючей среды (герметизация оборудования, контроль воздушной среды, рабочая и аварийная вентиляция);

- применение при строительстве и отделке зданий негорючих или трудно сгораемых материалов;

- правильная эксплуатация оборудования (правильное включение оборудования в сеть электрического питания, контроль нагрева оборудования);

- правильное содержание зданий и территорий (исключение образования источника воспламенения - предупреждение самовозгорания веществ, ограничение огневых работ);

- обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности;

- издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации;

- соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения;

- правильное размещение оборудования;

- своевременный профилактический осмотр, ремонт и испытание оборудования.

В здании, где ведутся работы, предусмотрены инженерно-технические решения, которые обеспечивают в случае пожара эвакуацию людей (аварийные выходы), подачу средств пожаротушения к очагу, есть сигнализация и работает оповещение о пожаре.

Пожарные краны, огнетушители и другая пожарная техника для защиты объектов соответствует (ГОСТ 12.1.004-91 с измен. 21.10.1993 г).

При работе на установке используются баллоны с аргоном и кислородом. Эксплуатация баллонов связана с рядом опасных факторов. Наполненный сжатым газом баллон обладает большой энергией, и если в нем образуется отверстие, то газ истекает из него с критической скоростью.

Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, находящихся под высоким давлением. В целях безопасности, выполнены общие правила эксплуатации баллонов:

1. Баллоны установлены вертикально и надежно закреплены в таком положении металлическим хомутом, а также защищены от падения на них сверху каких либо предметов.

2. Баллоны с газом, устанавливаемые в помещении находятся от радиаторов отопления и других отопительных приборов на расстоянии не менее 1 метра и от печей и других источников тепла с открытым огнем не менее 5 метров. При невозможности выдержать необходимое расстояние, необходимо применять защитные экраны, предохраняющие баллоны от местного разогрева, располагая баллон не ближе 0.1 м от экрана. Установленные баллоны также необходимо предохранять от действия солнечных лучей.

3. Выпуск газов из баллона производится через редуктор, предназначенный исключительно для данного газа и окрашенный в соответствующий цвет. Камера низкого давления редуктора имеет манометр и пружинный предохранительный клапан, отрегулированный на соответствующее давление в емкости; во всех случаях открывать и закрывать вентиль баллона необходимо медленно.

При возникновении аварийной ситуации необходимо:

1. Сообщить руководству (дежурному).
2. Позвонить в соответствующую аварийную службу или МЧС – тел. 112.
3. Принять меры по ликвидации аварии в соответствии с инструкцией.