

**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: 16.03.01 Техническая физика

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

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Исследование структуры и свойств оксидных нанотрубок, сформированных на подложках сплава системы Ti-Nb</b>

УДК 620.18-021.29:669.292.3:669.292

**Студент**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0Д41	Ткачев Михаил		

**Руководитель**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Директор НОЦ "Физическое материаловедение и композитные материалы", доцент	Сурменев Роман Анатольевич	к.ф-м.н		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения социально-гуманитарных наук	Меньшикова Екатерина Валентиновна	к.ф.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор отделения общетехнических дисциплин	Федорчук Юрий Митрофанович	д.т.н		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

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

Томск – 2018 г.

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

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

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
Р7	Участвовать в проектно-конструкторской деятельности, разрабатывать функциональные и структурные схемы элементов и узлов экспериментальных и промышленных электрофизических установок, реализующих современные пучковые и плазменные технологии, проектировать технологические процессы и оборудование с использованием современных информационных технологий.	Требования ФГОС (ПК-19, 20). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
Р8	Участвовать в организационно-управленческой деятельности, уметь работать в команде и организовывать работу исполнителей, находить и принимать управленческие решения.	Требования ФГОС (ОК-3, ПК-21, 22, 23). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
Р9	Внедрять и коммерциализировать результаты исследований и проектно-конструкторских разработок, уметь оценивать инновационный потенциал новой продукции в области современных технологий, основанных на использовании радиационных и плазменных потоков.	Требования ФГОС (ПК-21, 22, 23, 24). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
<i>Универсальные компетенции</i>		
Р10	Осознавать социальную значимость своей профессии, развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень, в течение всей жизни самостоятельно обучаться новым методам исследований, пополнять свои знания в области современной технической физики и смежных наук, расширять и углублять свое научное мировоззрение, повышать свою квалификацию и мастерство, <b>поддерживать здоровый образ жизни</b>	Требования ФГОС (ОК-1, 2, 6, ПК-1). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
Р11	Свободно и грамотно пользоваться русским и иностранными языками как средством делового и профессионального общения, владеть навыками публичной дискуссии, создавать и редактировать тексты профессионального назначения.	Требования ФГОС (ОК-2). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
Р12	Уметь критически переосмысливать свой накопленный социальный и профессиональный опыт, изменять при необходимости профиль своей профессиональной деятельности, следовать этическим и правовым нормам и нести ответственность за последствия своей профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ОК-5, 7, ПК-3). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI

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

Школа: инженерная школа ядерных технологий  
 Направление подготовки: 16.03.01 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:

бакалаврской работы
---------------------

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

Студенту:

Группа	ФИО
ОД41	Ткачеву Михаилу

Тема работы:

<b>Исследование структуры и свойств оксидных нанотрубок, сформированных на подложках сплава системы Ti-Nb</b>
Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b></p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объектом исследования являются наноструктурные биоконпозиты на основе оксидных нанотрубок, полученных методом электрохимического анодирования на подложках сплавов Ti-Nb с различной концентрацией Nb, Получить анатазную фазу оксида титана.</p>
<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</i></p>	<p>Обзор литературы по разделам: современных биомедицинских материалов, электрохимического анодирования; области применения полученных гибридных биоконпозитов; методы исследования биоконпозитов. Описание экспериментального оборудования, с помощью которого были получены и исследованы покрытия. Главная задача – получить упорядоченные вертикально ориентированные оксидные нанотрубки. Сравнить полученные биоконпозиты между собой и имеющимися</p>

<i>работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	результатами в литературе. В результате должны быть: получены оксидные титановые нанотрубки разных размеров, проведены исследования состава, морфологии, микроструктуры и клеточной адгезии Кроме того, должен быть проведен анализ полученных результатов с литературными данными
<b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- титульный лист;</li> <li>- актуальность работы;</li> <li>- цель работы и решаемые задачи;</li> <li>- схема получения наноструктурированного оксида титана;</li> <li>- экспериментальные установки;</li> <li>- морфология поверхности;</li> <li>- состав и структура поверхности;</li> <li>- клеточная адгезия к поверхности;</li> </ul>
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> <i>(с указанием разделов)</i>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
<b>Раздел 4</b>	Доцент отделения социально-гуманитарных наук к.ф.н. Меньшикова Екатерина Валентиновна
<b>Раздел 5</b>	Профессор отделения общетехнических дисциплин д.т.н. Федорчук Юрий Митрофанович

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

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Директор НОЦ "Физическое материаловедение и композитные материалы", доцент	Сурменев Роман Анатольевич	к.ф.-м.н		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОД41	Ткачев Михаил		

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
ОД41	Ткачев Михаил

<b>Школа</b>	Инженерная школа ядерных технологий	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	Научно-образовательный центр имени Вейнберга
<b>Уровень образования</b>	Бакалавр	<b>Направление/специальность</b>	16.03.01 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 ресурсов научного исследования включает в себя: — материальные затраты (исследуемый материал, материалы для обеспечения нормального технологического процесса, дополнительные материалы); — затраты на специальное оборудование для научных работ; — затраты на заработную плату участникам рабочей группы
---	---

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

1. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Формирование бюджета на научное исследование производится из энергетических затрат, затрат на сырье, зарплат работников лаборатории, затрат на исследование полученных образцов, различные социальные нужды, отчисления и непредвиденные обстоятельства.
2. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	Определение ресурсоэффективности производится в сравнении с конкурентами в данной области. Определение эффективности происходит на основании расчета интегрального показателя эффективности научного исследования, что связано с определением финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. График проведения и бюджет НИ
4. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

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

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения социально-гуманитарных наук	Меньшикова Екатерина Валентиновна	к.ф.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОД41	Ткачев Михаил		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА**

## «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
ОД41	Ткачев Михаил

<b>Школа</b>	Инженерная школа ядерных технологий	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	Научно-образовательный центр имени Вейнберга
<b>Уровень образования</b>	Бакалавр	<b>Направление/специальность</b>	16.03.01 Техническая физика

**Тема дипломной работы: Исследование структуры и свойств оксидных нанотрубок, сформированных на подложках сплава системы Ti-Nb**

<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
<i>Целью данной работы является создание лабораторной модели формирование нанотрубок на подложках Ti-Nb методом электрохимического анодирования</i>	
1. <i>Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</i>	– вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации); – опасных проявлений факторов производственной среды (электрической, пожарной и взрывной природы)
1. <i>Перечень законодательных и нормативных документов по теме</i>	– электробезопасность; – микроклимат; – пожаровзрывобезопасность; – химическая безопасность
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
1. <i>Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности: Безопасность в химических лабораториях; Микроклимат Шум и вибрации Освещенность Электробезопасность Пожаробезопасность</i>	– перечень опасных факторов; – действие фактора на организм человека; – классификация и приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты (коллективные и индивидуальные).
2. <i>Охрана окружающей среды: – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</i>	– Экологичная утилизация отходов производства – Переработка отходов просизводства
– <i>Защита в чрезвычайных ситуациях: морозы, диверсия разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий</i>	– разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий
– <i>Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</i>	– специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства
<b>Перечень графического материала:</b>	
<i>Расчет освещенности рабочего помещения План пожарной эвакуации</i>	

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор отделения общетехнических дисциплин	Федорчук Юрий Митрофанович	д.т.н		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0Д41	Ткачев Михаил		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа с.95, рис.20, табл.29, источников 50.

Ключевые слова: титановые сплавы, оксидные нанотрубки, электрохимическое анодирование, морфология, структура, энергодисперсионная рентгеновская спектроскопия, сканирующая электронная микроскопия, клеточная адгезия, биоматериалы, система доставки лекарств.

Объектом исследования являлись оксидные нанотрубки, сформированные методом электрохимического анодирования на подложках из сплава титана и ниобия с различной концентрацией ниобия.

Целью данной работы являлось формирование нанотрубок оксида титана на поверхности подложек сплава системы титан-ниобий методом электрохимического осаждения и исследование влияния состава сплава на их структурные и морфологические особенности.

В работе представлены результаты исследований оксидных нанотрубок сформированных методом электрохимического анодирования с последующим термическим отжигом с целью кристаллизации композита. Показано влияние концентрации Nb на фазовый состав сплава Ti-Nb. Выявлено влияния концентрации ниобия на морфологические параметры, состав, структуру и клеточную адгезию сформированных нанотрубок,

Область применения: биосовместимые материалы, применяемые в имплантологии

Экономическая значимость работы: инновационный материал на основе оксидных наноструктур, возможность улучшения морфологических и структурных параметров с целью использования как локальную систему доставки лекарств.

## Содержание

РЕФЕРАТ .....	9
Введение.....	13
Глава 1 Теоретическая часть .....	16
1.1 Биоматериалы на основе титана и его сплавов .....	16
1.1.1 Легирование титана .....	17
1.1.2 Ti-Nb сплавы.....	20
1.1.3 Структура и свойства оксидов титана.....	21
1.2 Методы получения наноструктурного оксида титана.....	23
1.2.1 Метод электрохимического анодирования .....	24
1.2.2 Золь-гель метод .....	25
1.2.3 Микроволновой синтез .....	27
1.2.4 Химическое осаждение из газовой фазы .....	27
1.3 Области применения наноструктурных гибридных биокomпозитов .....	28
Глава 2 Материалы и методы.....	30
2.1 Получение подложек сплава Ti-Nb .....	30
2.2 Электрохимическое анодирование.....	30
2.3 Методы исследования полученных биокomпозитов .....	31
2.3.1 Сканирующая электронная микроскопия.....	31
2.3.2 Энерго-дисперсионная рентгеновская спектроскопия.....	33
2.3.3 Рентгеноструктурного анализ .....	34
2.3.4 Клеточная адгезия .....	36
Глава 3 Экспериментальные результаты и их обсуждение .....	37
3.1 Исследование морфологии и элементного состава поверхности .....	37
3.2 Исследование фазового состава биокomпозитов .....	40

3.3 Исследование адгезии клеток .....	44
Глава 4. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения .....	47
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования .....	47
4.1.2 Анализ конкурентных технических решений .....	48
4.1.3 SWOT-анализ.....	49
4.2 Планирование научно-исследовательских работ.....	51
4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования .....	51
4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ .....	52
4.3. Бюджет научно-технического исследования (НТИ) .....	54
4.3.1. Расчет материальных затрат НТИ .....	54
4.3.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ .....	55
4.3.3. Основная заработная плата исполнителей темы .....	56
4.3.4. Дополнительная заработная плата исполнителей темы.....	56
4.3.5. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	57
4.3.6. Контрагентные расходы .....	57
4.3.7. Накладные расходы.....	58
4.3.8. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта .....	58
4.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	59
Глава 5 Социальная ответственность.....	61
5.1 Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды.....	61

5.2 Требования безопасности при выполнении работ в химических лабораториях.....	62
5.3 Условия безопасной работы.....	64
5.4 Производственный шум и вибрации.....	65
5.5 Освещенность .....	72
5.6 Электробезопасность .....	76
5.7 Пожарная безопасность .....	79
5.8 Охрана окружающей среды .....	83
5.9 Защита в ЧС .....	84
5.10 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	85
Заключение .....	88
Список публикаций студента.....	89
Список используемой литературы .....	91

## **Введение**

На сегодняшний день в медицине широко используют искусственные материалы для замены поврежденных тканей и органов. Вводимые в организм материалы должны иметь хорошее сцепление с живой тканью и выполнять свои функции в течении длительного времени [1]. В сфере медицинской промышленности все больший интерес вызывают материалы, схожие по механическим свойствам с тканью, функции которой они выполняют, а также покрытия, которые придают этим материалам биоактивные свойства [1].

Проблема модификации имплантатов медицинского назначения в современной медицине принимает все более важное значение. Имплантация нашла широкое применение в случае исправления дефектов кости. Актуальна проблема отторжения имплантата в результате контакта с биологической средой. В качестве решения данной проблемы и повышения биоактивности используют различные методы модификации поверхности имплантата, в том числе формирование композитных покрытий.

Материалы, создаваемые для нужд медицины, должны соответствовать требованиям, обусловленным свойствами и составом костной ткани. Основными требованиями являются биологическая и механическая совместимость, а также коррозионная устойчивость к активным средам. Приоритетными механическими свойствами для материала являются модуль упругости, твердость, предел прочности. Значение модуля упругости (модуль Юнга), должно быть близким к значению модуля упругости костной ткани, во избежание эффекта «экранирования напряжений», в результате которого может начаться резорбция окружающих костей. Модуль Юнга кости находится в диапазоне 4–30 ГПа в зависимости от направления измерения и типа кости. Высокая твердость является приемлемым параметром. Имплантат должен обладать высокой прочностью и трещиностойкостью для надежной эксплуатации в организме [1].

Титан и его сплавы широко используются в имплантологии благодаря своим механическим свойствам и высокой коррозионной стойкости [1]. Сплавы системы Ti-Nb являются перспективными, так как обладают низким модулем упругости и состоят из нетоксичных элементов [2]. Nb снижает модуль упругости сплава, приближая его к значениям костной ткани, а также является  $\beta$ -стабилизатором, понижающим температуру полиморфного превращения титана. Однако, имплантаты из данных материалов обладают низкой адгезией с окружающими тканями в организме, что может привести к резорбции костной ткани в месте вживления имплантата и его отторжению [3]. Посредством модифицирования поверхности можно придать имплантату необходимые свойства для оптимизации его механических свойств и повышения биоактивности, в частности, создания связи с окружающими тканями.

Электрохимическое анодирование является простым и эффективным методом создания наноструктурированного биосовместимого покрытия – оксидных нанотрубок [4, 5]. Нанотрубки способны улучшать взаимодействие костной ткани с имплантатом за счет увеличения адгезии, пролиферации остеобластов и эндотелиальных клеток. [5, 6]. Благодаря своей поллой структуре нанотрубки могут быть использованы в качестве системы доставки лекарств в место вживления имплантата, так как в случаях воспалительных, аллергических или канцерогенных реакций малоэффективна традиционная система доставки лекарств [5]. Применение нанотрубок позволяет достичь высокой локальной концентрации лекарственных средств, не оказывая токсического эффекта на организм [7].

Таким образом, исследования одновременного использования подложек сплава системы Ti-Nb с поверхностным слоем нанотрубок для биомедицинского назначения являются перспективными и актуальными. Концентрация Nb существенно влияет на фазовый состав и структуру Ti сплава [2]. В то время как влияние концентрации ниобия в составе сплава и параметров анодирования, таких как напряжение, на механизмы роста оксидных нанотрубок на поверхности Ti-Nb сплавов еще не изучено. Следовательно, целью данной

работы является формирование нанотрубок оксида титана на поверхности подложек сплава системы титан-ниобий методом электрохимического осаждения и исследование влияния состава сплава на их структурные и морфологические особенности.

Для выполнения цели были поставлены следующие задачи:

1. Формирование нанотрубок на подложках сплава системы Ti-xNb ( $x=5, 25, 50$ ) при различных параметрах анодирования (30В и 60В).
2. Проведения термического отжига с целью изменения структурных особенностей полученных нанотрубок.
3. Исследование морфологии до и после модифицирования полученных образцов.
4. Исследование фазового состава образцов до и после термического отжига.
5. Выявление влияния концентрации ниобия в составе сплава системы Ti-Nb на морфологические и структурные особенности полученных нанотрубок.
6. Анализ влияния ниобия на клеточную адгезию к нанотрубкам.

## Глава 1 Теоретическая часть

### 1.1 Биоматериалы на основе титана и его сплавов

Достижение науки и техники сделали возможным создание и применение биоматериалов для восстановления утраченных функций человека. Основными требованиями к биоматериалам являются биосовместимость, а именно нетоксичность, данные материалы не должны вызывать иммунных эффектов, а также неконтролируемо деградировать или корродировать при контакте с живой тканью. Биосовместимое изделие в случае отсутствия реакций с организмом является биоинертным, а в случае если способствует интеграции имплантата в организм, то является биоактивным. Каждый вид активности имеет свои применения [1]. Биоинертные изделия не нарушают динамических и статических процессов, происходящих в организме так как, практически не взаимодействуют с тканями организма. Их применение способно снизить возможность развития аллергических проявлений металлов и других неблагоприятных реакций [1, 2]. Биоактивные материалы позволяют обеспечить прочную фиксацию установленных имплантатов благодаря процессам остеоинтеграции и васкуляризации. Важной возможностью биоактивных изделий является создание антисептических материалов и материалов с системой локальной доставки лекарств, которые открывают методики лечения большего спектра возникающих заболеваний [2].

Самыми распространёнными материалами для имплантологии на сегодняшний день является титан и его сплавы. Их широко используются в ортопедии, стоматологии и кардиологии благодаря высокой прочности и коррозионной стойкости [1, 2]. Тем не менее, обычные сплавы, которые на сегодняшний день часто используются (Ti6Al4V) для биомедицинских целей, имеют значимый недостаток – биомеханическую несовместимость, из-за их относительно большого значения модуля упругости (около 120 ГПа) по сравнению с модулем, характерным для кости (максимальный 30 ГПа), а также наличием в составе сплава токсичных для организма элементов Al и V [3, 4].

Сплавы титана с цирконием, ниобием биоинертны и обладают приемлемыми коррозионно-механическими свойствами. Коррозионная стойкость титана в большей степени обусловлена наличием оксида на поверхности. Несмотря на данное свойство, параметры титановых сплавов отличны от костных, вследствие чего средством для повышения биосовместимости является модифицирование поверхности [3].

### 1.1.1 Легирование титана

Свойства сплава обусловлены входящими в него элементами. Создание сплава Ti с элементом являющимся  $\beta$ -стабилизатором при определенных концентрациях позволяет получить модуль упругости сплава близкий по значению к костному. Как было сказано ранее, модуль упругости материала является приоритетным параметром для целей имплантологии.

Легированные элементы можно подразделить на:

- $\alpha$ -стабилизаторы (Al, O, N);
- эвтектоидообразующие  $\beta$ -стабилизаторы (Mn, Cr, Cu и др.);
- изоморфные  $\beta$ -стабилизаторы (Mo, V, Ni, Nb, Ta и др.);
- нейтральные элементы (Sn, Zr);

Добавление  $\alpha$ -стабилизаторов приводит к повышению температуры полиморфного превращения. Все  $\alpha$ -стабилизаторы обладают ограниченной растворимостью в титане [7].

Изоморфные  $\beta$ -стабилизаторы наоборот понижают температуру полиморфного превращения титана, сужая при этом область существования  $\alpha$ -фазы. При наличии  $\beta$ -стабилизаторов (Mn, Cr, Cu и др.) возможно образование интерметаллидов типа TiX. При данных условиях при охлаждении  $\beta$ -фаза эвтектоидно превращается в TiX. В случае добавления нейтральных элементов (Zr, Sn) не происходит значительного влияния на температуру полиморфного превращения и фазовый состав [8].

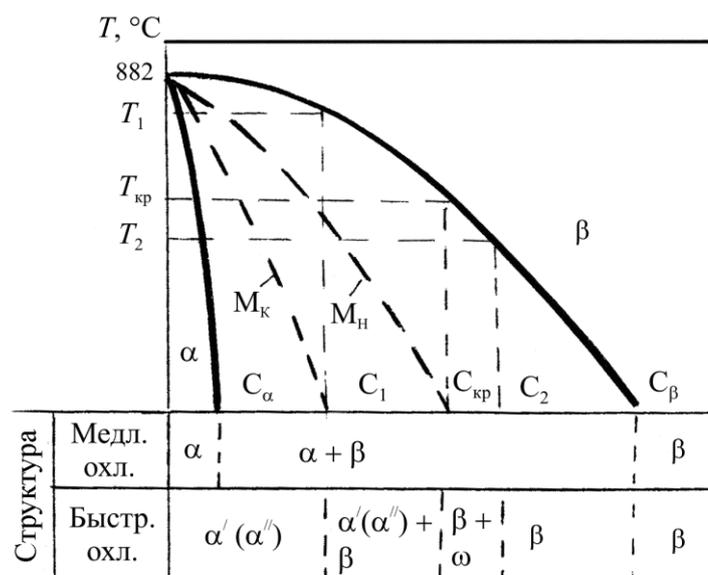


Рисунок 1 – Зависимость фазового состава титановых сплавов от скорости охлаждения и закалки [8]

Для медицинского применения предпочтительна структура с преобладанием или наличием  $\beta$ -фазы ( $\alpha$ -фаза отличается большими значениями модуля упругости) [9]. Температура  $\beta$ -перехода структуры сплава может быть рассчитана в соответствии с формулой 1.

$$\beta_T = 882 + \sum_{j=1}^k b_j X_j \quad (1)$$

$b_j$  – константа для конкретного элемента,  $X_j$  – процент от веса элемента, присутствующего в композитном сплаве [10].

Как указано выше, свойства сплава напрямую зависят от его состава. В работе [11] указано, что модуль Юнга  $\beta$ -сплава титана зависит от кратности химической связи легирующих элементов ( $\overline{Vo} \geq 2,87$ ) и энергетического уровня  $d$  орбитали легирующих элементов ( $\overline{Md} \geq 2,45$ ), помимо значения электронных концентраций ( $e/a=4,21 - 4,24$  эл/ат.). Состав сплава рассчитывается исходя из графика зависимости  $Vo-Md$  (рисунок 2).

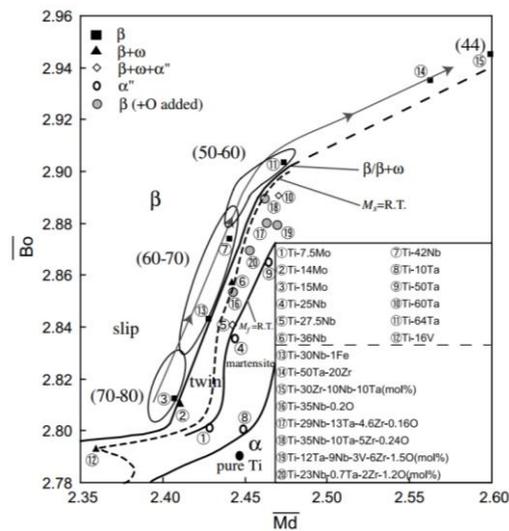


Рисунок 2 – Mo-Vd диаграмма для  $\beta$ -сплава титана [10]

Значение электронных концентраций  $e/a$ :

$$\frac{e}{a} = \frac{1}{100} \sum_{i=1}^k (v_i \cdot c_i) \quad (2)$$

$v_i$  – общее число валентных электронов химических элементов, общих для данной системы;  $k$  – число легирующих элементов в сплаве.  $c_i$  – концентрация  $i$ -го элемента в сплаве, %;

Значение  $e/a$ , следует умножить на коэффициент, определяющий влияние легирующих элементов на объем элементарной ячейки  $\beta$ -Ti и равный отношению  $V_\beta/V_{фазы}$ , где  $V_\beta$  и  $V_{фазы}$  – объемы элементарных ячеек  $\beta$ -Ti и второй фазы ( $\alpha''$ ,  $\omega$ ), выделяющейся в  $\beta$ -твердом растворе;

Значение средней кратности химической связи и среднего энергетического уровня d-орбитали сплава:

$$\overline{Vo} = \frac{1}{100} \sum_{i=1}^k (Vo_i * c_i), \quad (3)$$

$$\overline{Md} = \frac{1}{100} \sum_{i=1}^k (Md_i * c_i), \quad (4)$$

$Vo_i$  – кратность химической связи легирующих элементов,  $Md_i$  – энергетический уровень d-орбитали легирующих элементов, значения для некоторых элементов представлены в таблице 1 работы [10].

### 1.1.2 Ti-Nb сплавы

Химически чистый титан имеет гексагональную  $\alpha$ -фазу, однако является чувствительным к добавлению Nb. При добавлении Nb до 15% а.м. преобладает гексагональная  $\alpha$ -фаза, но с игольчатыми мартенситными включениями. Повышение концентрации Nb до 27,5% а.м. ведет к формированию метастабильной  $\beta$ -фазы. Сплав Ti-Nb с содержанием Nb больше 30% а.м. обладает равноосной  $\beta$ -фазой с кубической объемно-центрированной структурой. Так же возможны небольшие формирования  $\omega$ -фазы при концентрации Nb 25,7-30% а.м. [13-15].

Модуль упругости сплава напрямую зависит от кристаллической решетки и силы межатомной связи. Чем больше параметр решетки и меньше энергии межатомных связей, тем ниже модуль упругости [16].

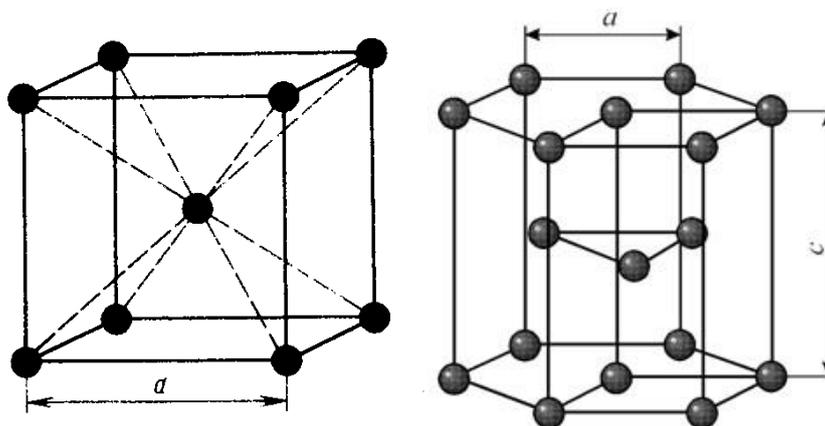


Рисунок 3 – Кубическая объемно центрированная решётка ( $\alpha$ -Ti) и гексагональная плотноупакованная решетка ( $\beta$ -Ti)

В сплаве Ti-Nb, Ti образует с Nb непрерывный ряд твердых растворов, с преимущественной  $\beta$ -фазой ( $\alpha+\beta$ ) [14]. Твердый раствор представляет собой растворение одного или нескольких веществ в растворителе. Такая многокомпонентная система считается скорее раствором, чем соединением, когда кристаллическая структура растворителя остается неизменной при добавлении растворенных веществ [13].

Раствор может быть образован замещением, заменяя атом растворителя в решетке или внедрением, путем установки в пространство между атомами растворителя. Оба этих типа формирования твердых растворов влияют на свойства материала, искажая кристаллическую решетку и нарушая физическую и электрическую однородность материала растворителя [14].

Склонность любых двух веществ к образованию твердого раствора представляет собой сложный вопрос, связанный с химическими, кристаллографическими и квантовыми свойствами рассматриваемых веществ. Замещающие твердые растворы в соответствии с правилами Юма-Розери могут образовываться, если растворенное вещество и растворитель имеют:

- Подобные атомные радиусы (разница 15% или меньше)
- Подобную кристаллическую структуру
- Подобные электроотрицательности
- Подобную валентность

В случае металлических сплавов часто образуются интерметаллиды.

Таблица 1 – Свойства Ti, Nb

Элемент	Атомный радиус, пм	Валентность	Электроотрицательность
Ti	147	4	1,54
Nb	146	5	1,6

Чистый титан при комнатной температуре обладает гексагональной решеткой, при нагреве до температуры полиморфного превращения его решетка переходит в кубическую объемно-центрированную (рисунок 3). При создании сплава Ti и Nb за счет свойств Nb, как  $\beta$ -стабилизатора, формируется кубическая объемно-центрированная решетка. Параметры атомов Ti и Nb, как показано в таблице 2, подходят для формирования твердого раствора замещения [15].

### 1.1.3 Структура и свойства оксидов титана

Диоксид титана относится к классу оксидов переходных металлов. Он является нетоксичным, а также обладает высокой химической стойкостью. Существует несколько модификации  $TiO_2$ : рутил, брукит, анатаз [3, 4].

Структуру кристаллической решетки  $TiO_2$  составляют октаэдры  $TiO_6$ . Октаэдры могут иметь общие ребра или вершины. Различие характеристик анатаза и рутила состоит в том, что в рутиле на один октаэдр приходится 2 общих ребра, в анатазе – 4 [5]. Рутил является наиболее стабильной формой  $TiO_2$ , анатаз и брукит при нагревании необратимо превращаются в рутил. По литературным данным фазовый переход анатаз–рутил в монокристаллах происходит при температуре (400–1200 °C) [6].

Таблица 2 – Кристаллическая структура диоксида титана [4]

Параметр	Анатаз	Рутил	Брукит
Кристаллическая структура	Тетрагональная	Тетрагональная	Ромбическая
Параметры элементарной решетки, нм	a = 0,3784 c = 0,9515	a = 0,45936 c = 0,29587	a = 0,9184 b = 0,5447 c = 0,5154
Количество единиц в ячейке	2	2	4
Пространственная группа	L4/amd	P4/mnm	Pbca
Плотность, г/см <sup>3</sup>	3,79	4,13	3,99
Длина связи Ti-O, нм	0,1937(4) 0,1965(2)	0,1949(4) 0,1980(2)	0,187-0,204
Угол связи O-Ti-O, °	77,7 - 92,6	81,2- 90,0	77,0-105,0

Оксидные нанотрубки обладают повышенной шероховатостью поверхности, что является одним из важных факторов обеспечения правильных сигналов для положительного ответа остеобластов на имплантированные материалы. Однако большая часть исследований, связанных с влиянием макро- и микро-шероховатости на клеточные реакции и формирование костей, неубедительна из-за неравномерности макро- и микро-шероховатости,

обусловленной неочищенными методами изготовления, такими как полировка, пескоструйная обработка, химическая травления и так далее. Важным аспектом системы нанотрубок является то, что нанотопография может характеризоваться более определенной, воспроизводимой и надежной шероховатостью, чем микро- и макротопография для улучшения функции костных клеток [17].

Еще одной особенностью системы нанотрубок является сверхгидрофильность. Разумно предположить, что нанотрубки  $\text{TiO}_2$  способствуют большей адгезии клеток над плоским  $\text{Ti}$  частично из-за нанопотопологии, а частично благодаря значительно улучшенным гидрофильным поверхностным характеристикам нанотрубок  $\text{TiO}_2$ . Поверхности нанотрубок обладают контактными углами с водой  $\sim 0^\circ$ , тогда как  $\text{Ti}$  более гидрофобным по своей природе с углом контакта  $\sim 80^\circ$  (табл. 2) [17].

## **1.2 Методы получение наноструктурного оксида титана**

Оксидные нанотрубки могут быть изготовлены на любых трехмерных (3D) непланарных поверхностях, что делает их легко адаптируемым к современной технологии имплантатов. Диаметр трубы, толщина стенки и длина могут варьироваться, чтобы удовлетворить индивидуально специфическим требованиям лекарственного средства, которое должно быть доставлено (например, размер молекулы лекарственного средства и скорость высвобождения) [16].

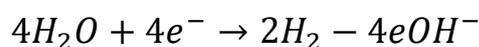
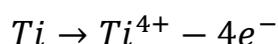
Кроме того, путем изменения диаметра нанотрубки, толщины стенки и длины, кинетика высвобождения может быть дополнена для каждого конкретного лекарственного средства для достижения пролонгированного высвобождения. Таким образом, нанотрубчатые поверхности имеют потенциальные приложения [16].

Для формирования наночастиц  $\text{TiO}_2$  применяют такие методы, как золь-гель электрохимическое анодирование, микроволновой метод, химическое осаждение из паровой фазы (CVD).

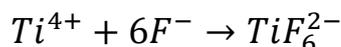
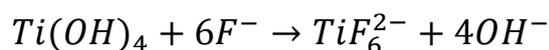
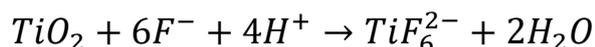
### 1.2.1 Метод электрохимического анодирования

Электрохимическое анодирование — процесс формирования слоя оксида на поверхности металлов и сплавов путём их анодной поляризации в электропроводном электролите [18].

Формирование нанотрубок на подложке из Ti происходит в несколько этапов. На первом этапе (рисунок 4(а)) образуется плотный оксидный слой титана на поверхности образца [19].



На втором этапе (рисунок 4(б)) за счет присутствия фторид-ионов в электролите происходит локальное растворение оксида с возникновением порообразующих центров. Фторид ионы под действием приложенного электрического поля, вступая во взаимодействие с ионами титана растворяют гидратированный оксидный слой  $TiO_2$  и проникают вместе с кислородом через барьерный слой к поверхности оксид/металл [19]:



На третьем этапе (рисунок 4(в)) происходит превращение углублений в поры за счет движения нанотрубок в сторону оксидного слоя. Плотность пор увеличивается по всей поверхности [20].

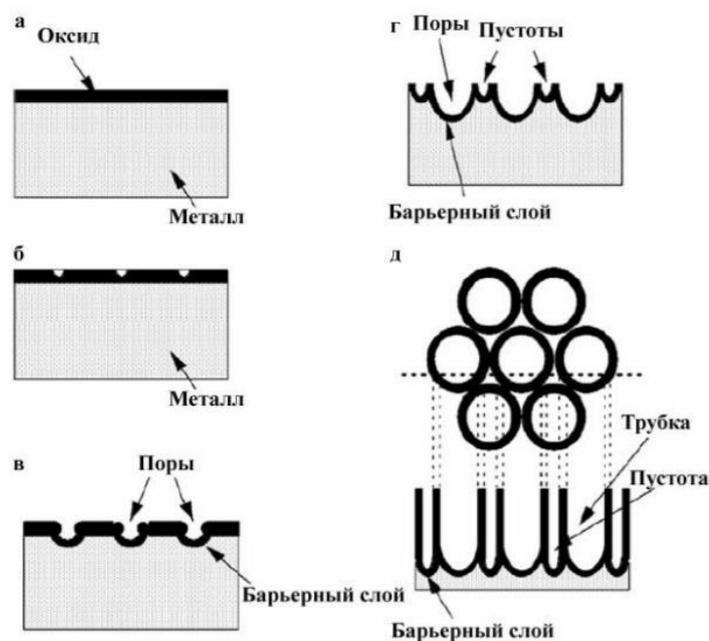


Рисунок 4 – Схема роста нанотрубок  $\text{TiO}_2$  электрохимическом анодировании во фторид содержащем электролите [19]

На четвертом этапе (рисунок 4(г)) растворяются соединения титана со степенью окисления меньше +4, вследствие чего образуются пустоты между порами [19, 20].

На пятом этапе (рисунок 4(д)) наступает равновесие между скоростью растворения и образования оксида на границах металл/оксид и оксид/электролит, вследствие чего толщина оксидного слоя остается неизменной. Однако его движение в металлический слой продолжается, и происходит рост нанотрубок в длину, который прекращается при наступлении равновесия между скоростями движения оксидного слоя внутрь металла и растворения оксида в устье пор [21].

Нанотрубки  $\text{TiO}_2$  обладают рентгеноаморфной структурой, а для кристаллизации покрытий применяют термообработку при температурах выше  $300\text{ }^\circ\text{C}$  [22].

### 1.2.2 Золь-гель метод

Метод золь-гель является установленной методикой синтеза неорганических, гибридных материалов. Процесс начинается с молекулярно-дисперсных предшественников и протекает через наноразмерные кластеры и частицы, превращаясь в слои, волокна и формованные объекты [23].

По сравнению с физическими процессами золь-гель-метод можно использовать с огромным диапазоном в основном коммерчески доступных исходных материалах. Это позволяет создавать многофункциональные слои [23].

В этой химической процедуре «золь» (или раствор) постепенно эволюционирует к образованию гелеобразной дифазной системы, содержащей как жидкую фазу, так и твердую фазу, морфологии которой варьируются от дискретных частиц до непрерывных полимерных сетей.

Удаление оставшейся жидкой (растворительной) фазы требует процесса сушки, который обычно сопровождается значительным количеством усадки и уплотнения. Скорость, с которой удаляется растворитель, в конечном итоге определяется распределением пористости в геле.

Впоследствии термическая обработка или процесс обжига часто необходимы для того, чтобы способствовать дальнейшей поликонденсации и улучшать механические свойства и структурную стабильность посредством конечного спекания, уплотнения и роста зерна.

Дифференциальные напряжения, возникающие в результате неравномерной сушки, напрямую связаны со скоростью, с которой удаляется растворитель, и, следовательно, сильно зависят от распределения пористости. Такие напряжения были связаны с переходом от пластика к хрупкости в консолидированных телах [24] и могут приводить к распространению трещины в незакрепленном теле, если не освобождаются.

Кроме того, любые колебания плотности упаковки в прессе, которые готовятся для печи, часто усиливаются во время процесса спекания, что приводит к гетерогенному уплотнению. Показано, что некоторые поры и другие структурные дефекты, связанные с изменениями плотности, играют пагубную роль в процессе спекания путем роста и, таким образом, ограничения плотности

конечных точек. Было также показано, что дифференциальные напряжения, возникающие в результате гетерогенного уплотнения, приводят к распространению внутренних трещин, становясь, таким образом, прочностными дефектами [24].

Такие дефектные поликристаллические структуры являются основными элементами науки наноразмерных материалов и, следовательно, обеспечивают первый шаг в разработке более строгого понимания механизмов, участвующих в микроструктурной эволюции в неорганических системах, таких как спеченные керамические наноматериалы. Материалы, полученные на основе соляного геля, имеют разнообразные применения в оптике, электронике, энергии, пространстве, (био) датчиках, медицине (например, контролируемое высвобождение лекарственного средства) и технологии разделения (например, хроматография) [25].

### **1.2.3 Микроволновой синтез**

Микроволновой синтез – процесс воздействия высокочастотного электромагнитного излучения на диэлектрический материал, в случае титана, таковым является поверхностный оксидный слой. Для обработки материалов используют микроволновое излучение частоты: 900 до 245 МГц. Микроволновый синтез позволяет получать различные наноструктурированные материалы диоксида титана [26]. В работе [27] сформированы нанотрубки диоксида титана с различной полиморфной структурой.

### **1.2.4 Химическое осаждение из газовой фазы**

Химическое осаждение из паровой фазы (CVD) представляет собой химический процесс, используемый для производства высококачественных высокоэффективных твердых материалов.

В типичном CVD пластина (подложка) подвергается воздействию одного или нескольких летучих предшественников, которые реагируют и/или разлагаются на поверхности подложки для получения желаемого осадка. Часто также образуются летучие побочные продукты, которые удаляются потоком газа через реакционную камеру [28].

Процессы микрообработки широко используют CVD для осаждения материалов в различных формах, в том числе: монокристаллического, поликристаллического, аморфного и эпитаксиального [28.]

Монодисперсные порошки коллоидного диоксида кремния, например, могут поэтому стабилизироваться в достаточной степени, чтобы обеспечить высокую степень порядка в коллоидном кристалле или поликристаллическом коллоидном твердом теле, что является результатом агрегации. Степень упорядоченности, по-видимому, ограничена временем и пространством, позволяющим устанавливать корреляции более дальнего радиуса. Такие дефектные поликристаллические структуры, по-видимому, являются основными элементами науки наноразмерных материалов и, следовательно, обеспечивают первый шаг в разработке более строгого понимания механизмов, участвующих в микроструктурной эволюции в неорганических системах, таких как спеченные керамические наноматериалы [29].

### **1.3 Области применения наноструктурных гибридных биокomпозитов**

Наноструктурные материалы на основе  $\text{TiO}_2$  демонстрируют положительный эффект во многих областях биомедицинского применения: при разработке костных скаффолдов (матриц), покрытий сердечно-сосудистых стентов, лекарственных систем доставки, биосенсоров [33].  $\text{TiO}_2$  наноскаффолды увеличивают скорость формирования апатита, усиливают адгезию остеобластов, пролиферацию и дифференциацию тканей [34]. Обладая хорошими гемосовместимостью и антикоагуляционными характеристиками,

наноструктурный  $TiO_2$  широко известен как носитель лекарственных препаратов [35].

Оксидные нанотрубки, модифицированные КФ покрытием, являются биоактивными, стимулируют остеогенез и восстановление костной ткани, и применяются в стоматологии, травматологии, косметологии и ортопедии [36].

Материал поверхности костных имплантатов для скорейшего восстановления после повреждений должен быть биоактивным, реализовать данное условие можно формированием биоактивного покрытия. Покрытие должно обеспечивать прочное сцепление имплантата с костью. Подходящим материалом, обладающим схожей с костной структурой и составом, являются кальций-фосфатные покрытия (КФ). Различные цели применения имплантатов требуют различные толщину покрытий, скорость резорбции и морфологию. Для решения различных медицинских задач применяют различные технологии формирования КФ покрытия такие как: золь-гель, микродуговое оксидирование, высокочастотное магнетронное распыление и др [30].

Для целей травматологии требуются имплантаты с КФ покрытиями, способные улучшить прочность сцепления имплантата с костной тканью за счет своей морфологии и остеоинтеграционных свойств, а также с долгим сроком эксплуатации [31].

Не существует универсального метода создания покрытий, подходящего для всех медицинских применений, поэтому для достижения решений задач следует комбинировать известные технологии, создавать гибридные материалы. В частности, создание покрытия, состоящего из оксидного и КФ покрытия, позволят обеспечить выполнение медико-технических требований, предъявляемых к покрытиям на имплантатах для хирургии. Такой подход на сегодняшний день является актуальным и перспективным [32].

## **Глава 2 Материалы и методы**

### **2.1 Получение подложек сплава Ti-Nb**

Для получения подложек из сплавов Ti и Nb с разной концентрацией Nb (5, 25, 50%) был использован метод вакуумной дуговой плавки (ВДП). Сплав, подлежащий ВДП, переплавляют в тигель, как правило, путем вакуумного индукционного плавления. Этот тигель помещается в вакуумную камеру, затем давление в камере откачивают до технического вакуума (0,1–13,3 Па). Тигель является электродом, несколько килоампер постоянного тока используются для начала дуги. Тигель имеет водяное охлаждение, которое так же используется для контроля скорости затвердевания [37].

Использование этой техники по сравнению с традиционными методами дает несколько преимуществ [37]:

- Скорость затвердевания расплавленного материала может достаточно точно контролироваться. Это обеспечивает высокую степень контроля над микроструктурой, а также позволяет минимизировать сегрегацию.
- Высокая точность состава и чистота получаемого сплава.
- Газы, растворенные в жидком металле во время плавления металлов в открытых печах, таких как азот, кислород и водород, считаются вредными для большинства сталей и сплавов. В вакуумных условиях эти газы выходят из жидкого металла в вакуумную камеру.
- Отсутствует пористость и сегрегация центральной линии.

### **2.2 Электрохимическое анодирование**

Формирование нанотрубок на Ti-Nb подложках (10x10x2 мм<sup>3</sup>) с концентрациями Nb 5%, 25% и 50% осуществлялось методом электрохимического анодирования при постоянном напряжении 30 В и 60 В, на протяжении 30 минут.

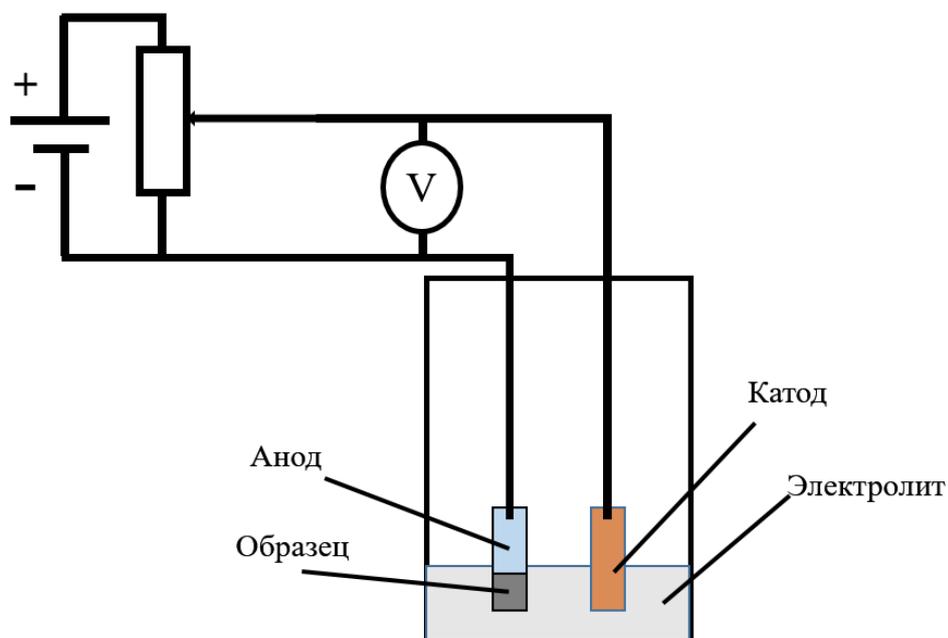


Рисунок 5 – Схема установки для электрохимического анодирования

Экспериментальная установка (рисунок 5) состояла из двух титановых электродов, источника постоянного напряжения и емкости для проведения процесса. Расстояние между электродами составляло 25 мм. Электролит состоял из 5 мл деионизированной воды и 0,4% фторида аммония ( $\text{NH}_4\text{F}$ ) по весу от 50 мл этилен гликоля ( $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2$ ). Для формирования кристаллической структуры нанотрубок, образцы были отожжены при  $T=500\text{ }^\circ\text{C}$  на протяжении 3 часов со скоростью нагрева  $3\text{ }^\circ\text{C}/\text{мин}$ .

## 2.3 Методы исследование полученных биокomпозитов

### 2.3.1 Сканирующая электронная микроскопия

Сканирующий электронный микроскоп (СЭМ) представляет собой тип электронного микроскопа, который создает изображения образца, сканируя поверхность сфокусированным пучком электронов. Электроны взаимодействуют с атомами в образце, создавая различные сигналы, которые содержат информацию о рельефе и составе поверхности образца. СЭМ может достичь разрешения выше, чем 1 нм [38].

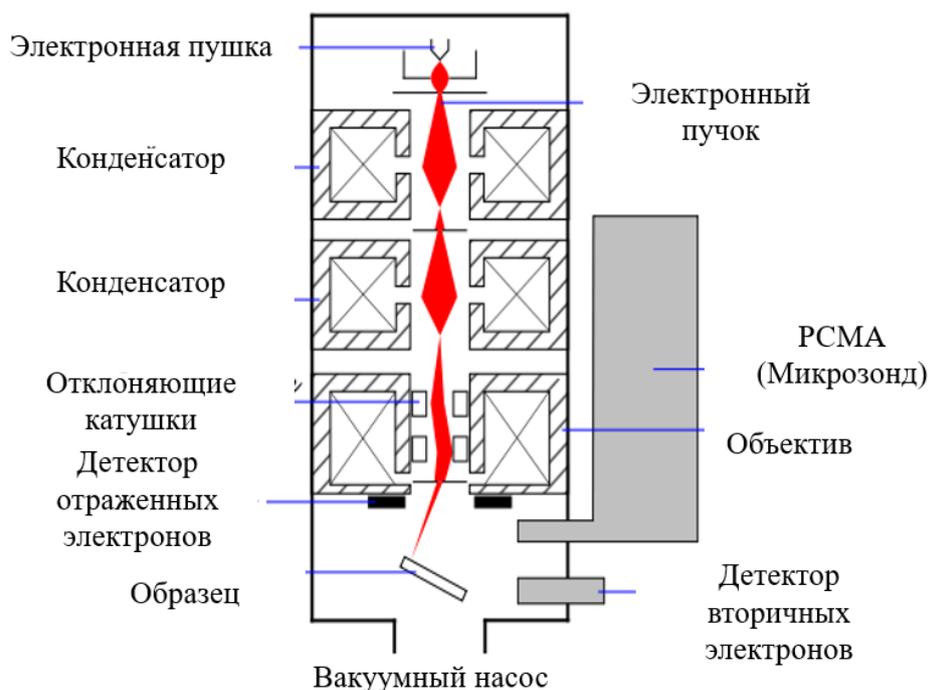


Рисунок 6 – Схема сканирующего электронного микроскопа

Наиболее распространенным режимом является обнаружение вторичных электронов, испускаемых атомами, возбуждаемыми электронным пучком. Количество вторичных электронов, которое может быть обнаружено, зависит, помимо прочего, от топографии образца. Сканируя образец и захватывая вторичные электроны, с помощью детектора, создается изображение, отображающее топографию поверхности [38].

Сигналы, используемые сканирующим электронным микроскопом для получения изображения, являются результатом взаимодействия электронного пучка с атомами на разных глубинах внутри образца. Производятся различные типы сигналов, включая вторичные электроны, отраженные или обратно рассеянные электроны, характеристические рентгеновские лучи и свет), электроны и ток. Детекторы вторичных электронов являются стандартным оборудованием во всех СЭМ, но редко бывает, что одна машина будет иметь детекторы для всех других возможных сигналов.

Из-за очень узкого электронного пучка микроскопы SEM имеют большую глубину поля, что дает характерный трехмерный вид, полезный для понимания структуры поверхности образца [39].

### **2.3.2 Энерго-дисперсионная рентгеновская спектроскопия**

Энерго-дисперсионная рентгеновская спектроскопия является аналитическим методом, используемым для элементного анализа образца. Метод основывается на взаимодействии некоторого источника возбуждения рентгеновских лучей и образца. Методы определения в значительной степени обусловлены фундаментальным принципом, согласно которому каждый элемент имеет уникальную атомную структуру и уникальное электромагнитное излучение [40].

В состоянии покоя атом внутри образца находится в основном (или невозбужденном) состоянии, электроны находятся на дискретных энергетических уровнях или электронных оболочках, связанных с ядром. Падающий луч может возбудить электрон во внутренней оболочке. Затем электрон от внешней, более высокоэнергетической оболочки заполняет дыру, а разность в энергии между оболочкой более высокой энергии и нижней энергетической оболочкой может быть высвобождена в виде рентгеновского излучения. Количество и энергии рентгеновских лучей, испускаемых образцом, можно измерить с помощью энергодисперсионного спектрометра. Поскольку энергии рентгеновских лучей характерны для разности энергий между двумя оболочками и атомной структуры излучающего элемента, ЭДС позволяет измерять элементный состав образца [40].

Четыре основных компонента установки [40]:

1. источник возбуждения (электронный пучок или рентгеновский луч)
2. рентгеновский детектор
3. анализатор

### 2.3.3 Рентгеноструктурного анализ

Рентгеновская кристаллография – это метод, используемый для определения атомной и молекулярной структуры кристалла, в котором атомы в кристаллах приводят к тому, что луч падающего рентгеновского излучения претерпевает дифракцию. Измеряя углы и интенсивности этих дифрагированных пучков, можно определить средние положения атомов в кристалле, а также их химические связи, их порядок и другую информацию [41].

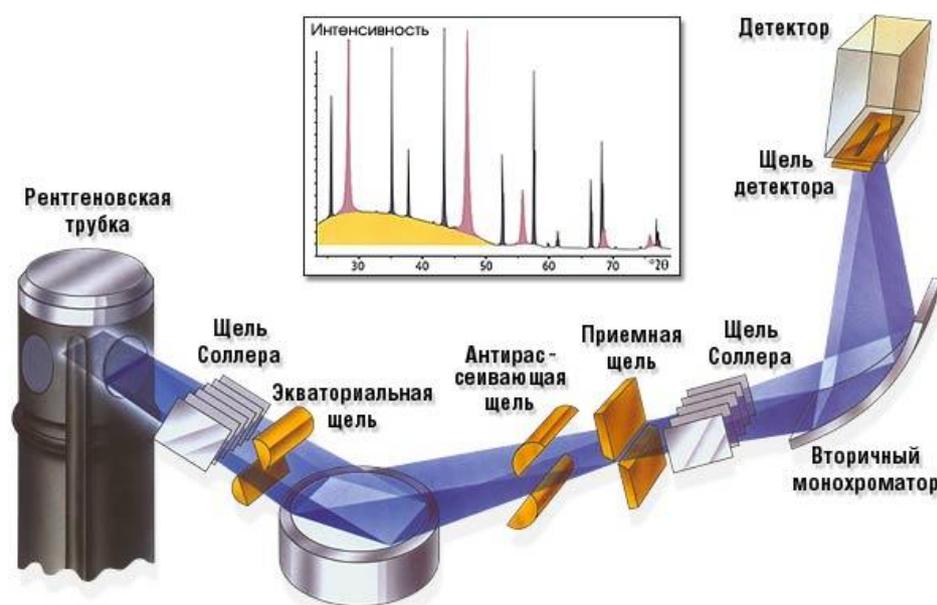


Рисунок 7 – Схема установки рентгеноструктурного анализа

Кристаллы представляют собой регулярные массивы атомов, а рентгеновские лучи можно рассматривать как волны электромагнитного излучения. Атомы рассеивают рентгеновские волны, прежде всего на электронах атомов. Регулярный массив рассеивателей создает регулярный массив сферических волн. Хотя эти волны перекрывают друг друга в большинстве направлений посредством интерференции, они конструктивно дополняют несколько конкретных направлений, определенных законом Брэгга:

$$2d\sin\theta = n\lambda \quad (5)$$

Здесь  $d$  – расстояние между дифрагирующими плоскостями,  $\theta$  – угол падения,  $n$  – любое целое число,  $\lambda$  – длина волны пучка.

Таким образом, рентгеновская дифракция возникает из-за электромагнитной волны (рентгеновского излучения), падающей на регулярный массив рассеивателей (повторяющееся расположение атомов внутри кристалла).

Для получения дифракционной картины используются рентгеновские лучи, поскольку их длина волны  $\lambda$  обычно равна порядку величины (1-100 ангстрем) в качестве расстояния  $d$  между плоскостями в кристалле.

В монокристаллическом измерении дифракции рентгеновских лучей на гониометре устанавливается образец. Гониометр используется для размещения кристалла в выбранных ориентациях. Образец освещается сфокусированным монохроматическим пучком рентгеновских лучей, создавая дифракционную картину регулярно расположенных точек, известных как отражения. Двумерные изображения, взятые в разных ориентациях, преобразуются в трехмерную модель плотности электронов в кристалле с использованием математического метода преобразований Фурье в сочетании с известными для образца химическими данными.

Методика монокристаллической рентгеновской кристаллографии имеет три основных этапа. Первым, а зачастую и самым сложным шагом является получение адекватного кристалла исследуемого материала. Кристалл должен быть достаточно большим (обычно размером более 0,1 мм во всех размерах), чистым по составу и регулярным по структуре, без значительных внутренних дефектов, таких как трещины или двойникование.

На втором этапе на кристалл направляется интенсивный пучок рентгеновских лучей, как правило, с одной длиной волны (монохроматическое рентгеновское излучение), создавая регулярную картину отражений. Измеряются углы и интенсивности дифрагированных рентгеновских лучей, причем каждое соединение имеет уникальную дифракционную картину. По мере того как кристалл постепенно вращается, предыдущие отражения исчезают и появляются новые, интенсивность каждого пятна записывается при каждой

ориентации кристалла. Может потребоваться сбор нескольких наборов данных, причем каждый набор покрывает чуть более половины полного вращения кристалла и обычно содержит десятки тысяч отражений.

На третьем этапе эти данные комбинируются с помощью дополнительной химической информации для получения и уточнения модели расположения атомов внутри кристалла [41].

### **2.3.4 Клеточная адгезия**

Человеческие мезенхимальные стволовые клетки (МСК) были получены из костного мозга здоровых доноров и культивированы в модифицированной среде Dulbecco's Modified Eagle's Medium (DMEM), дополненной пенициллином, стрептомицином, эмбриональной бычьей сывороткой и L-глутамином. Подтверждение типа клеток проводили с использованием проточной цитометрии (FACS Aria, BD, USA) с помощью многоцветной панели антител в соответствии с консенсус-критериями Международного общества клеточной терапии. Анализ показывает, что клеточная популяция выражает низкие уровни (<5%), гематопоэтических маркеров, таких как CD45, CD34, CD14, CD20 и высокие уровни (> 95%) типичных маркеров hMSC: CD105, CD90, CD73.

Культура клеток МСК в количестве 50 тыс. на см<sup>2</sup> была посеяна на планшет в лунку с образцами, заранее простерилизованными. После культивирования в термостате проводилась покраска клеток.

Изображения покрашенных образцов были получены методом конфокальной микроскопии. Осажденные клетки посчитаны на многофункциональном считывателе BMG LABTECH, Германия.

## Глава 3 Экспериментальные результаты и их обсуждение

### 3.1 Исследование морфологии и элементного состава поверхности

Изображения, полученные методом СЭМ, представлены на рисунках 8, 9, 10 и 11.

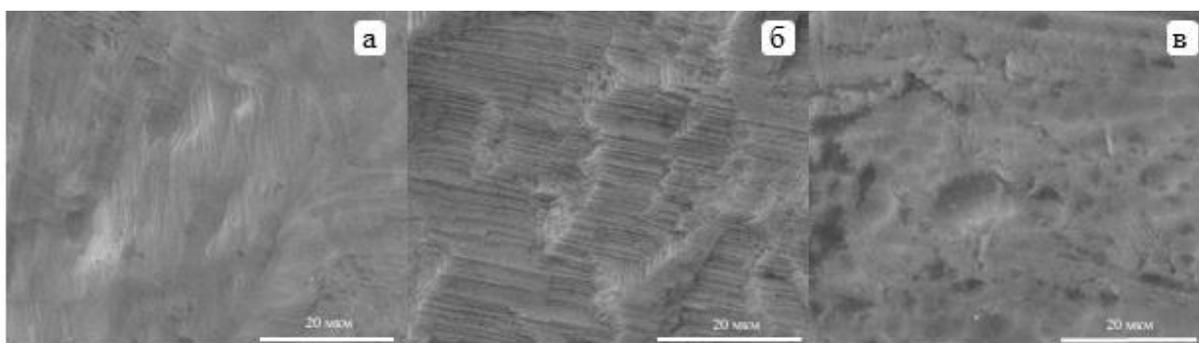


Рисунок 8 — СЭМ изображения исходной поверхности подложек: (а)Ti-5Nb, (б)Ti-25Nb, (в)Ti-50Nb.

Наноструктурное оксидное покрытие, полученное методом электрохимического анодирования, обладает выровненной трубчатой структурой, внешние стенки трубок гладкие. Слой нанотрубок повторяет морфологию исходной поверхности. Авторы в работе [42] наблюдали идентичные результаты на сплаве Ti-45Nb.

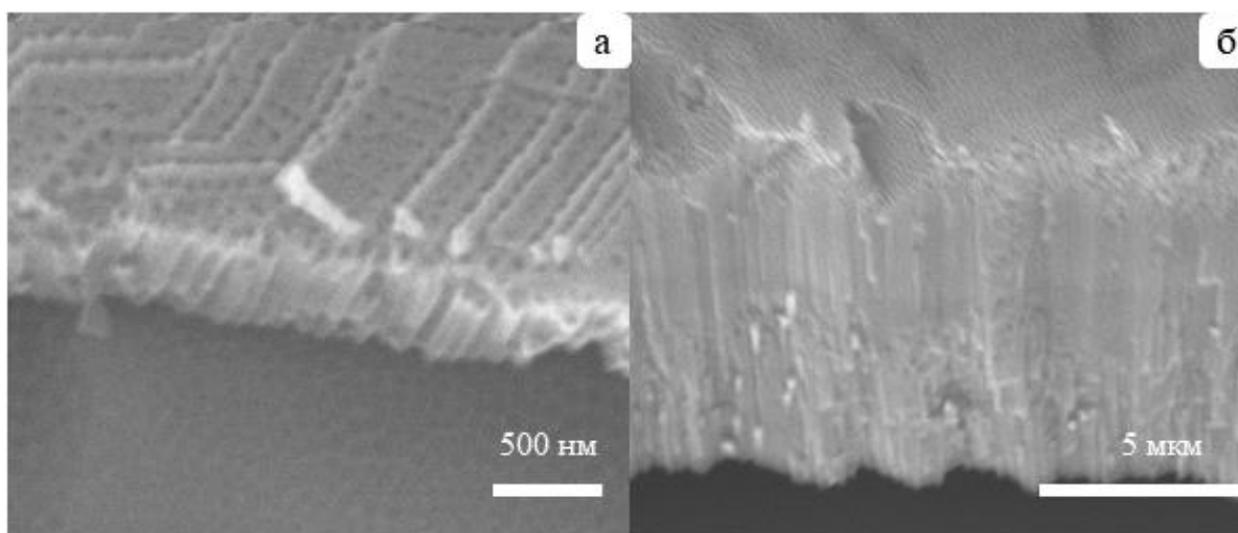


Рисунок 9 — СЭМ изображения нанотрубок (вид с боку), сформированных методом электрохимического анодирования в течение 30 мин на подложках Ti-5Nb, при постоянном напряжении: (а)30В (Ti5Nb30) и (б)60В (Ti5Nb60)

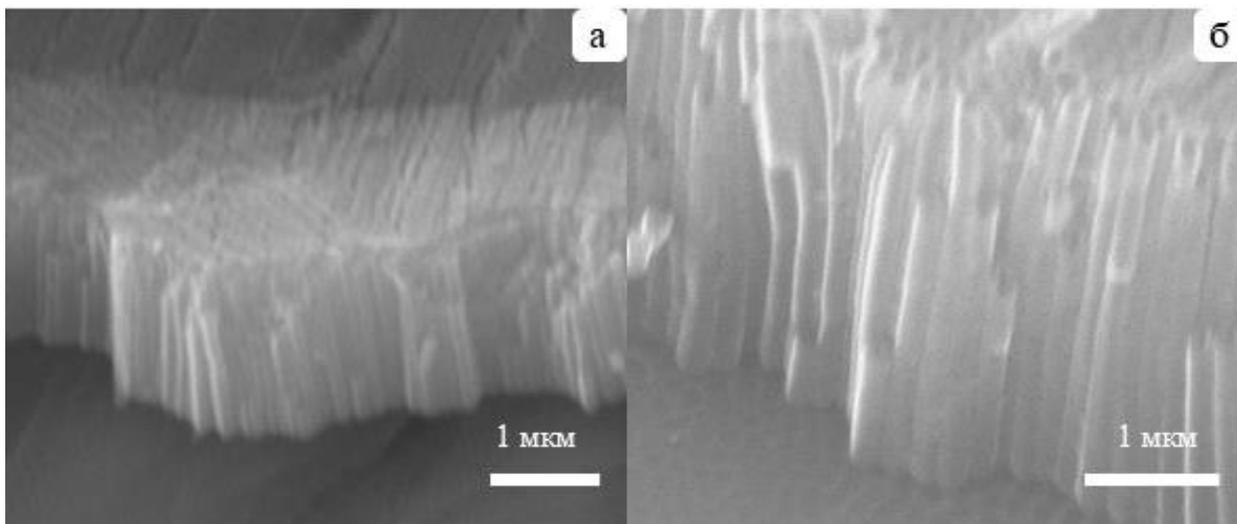


Рисунок 10 — СЭМ изображения нанотрубок (вид с боку), сформированных методом электрохимического анодирования в течение 30 мин на подложках Ti-25Nb при постоянном напряжении: (а)30В(Ti25Nb30) и (б)60В(Ti25Nb60)

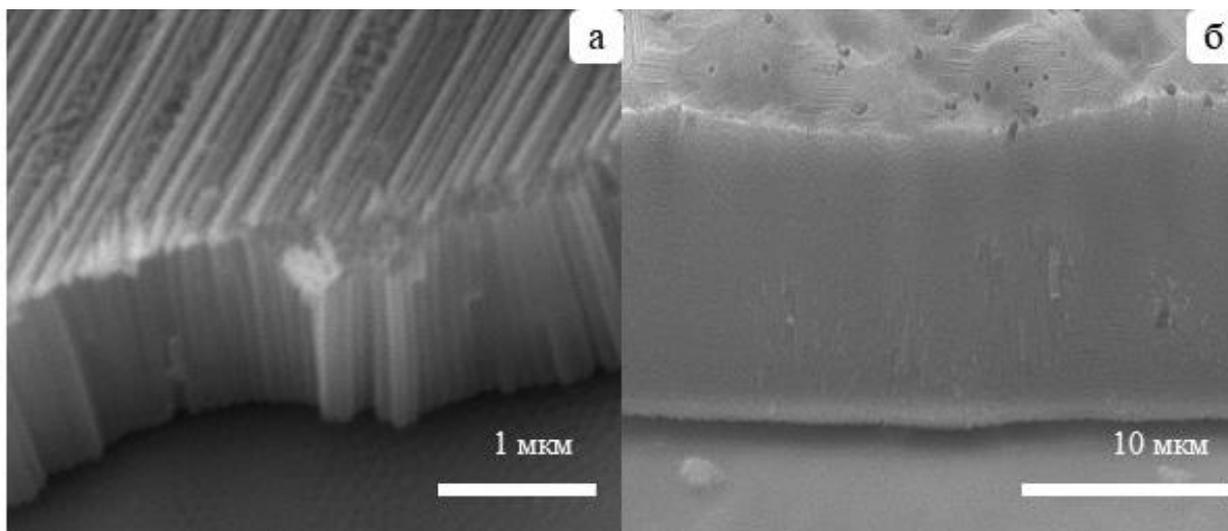


Рисунок 11 — СЭМ изображения нанотрубок (вид с боку), сформированных методом электрохимического анодирования в течение 30 мин на подложках Ti-50Nb при постоянном напряжении: (а)30В(Ti50Nb30) и (б)60В(Ti50Nb60)

Геометрические параметры полученных нанотрубок представлены в таблице 3.

Средние значения скорости роста, как видно из таблицы 3, возрастают при увеличении напряжения между электродами. Средняя скорость роста

данным методом выше, чем методом с использованием электролита  $\text{NH}_4\text{SO}_4 + 0,5 \text{ ат. \% NH}_4\text{F}$  [44].

Таблица 3 – Геометрические параметры нанотрубок на подложках из Ti и его сплавов

Материал подложки	Напряжение анодирования, В	Средний диаметр нанотрубок, нм	Средняя длина нанотрубок, нм	Средняя скорость роста нанотрубок, нм/мин
Ti [11]	60	98±16	1410±60	47
	30	53±10	909±50	30
Ti-5Nb	60	76±18	2551±50	85
	30	52±11	364±80	12
Ti-25Nb	60	99±20	7400±500	247
	30	48±10	1330±60	44
Ti-50Nb	60	106±22	14644±1420	488
	30	54±13	1020±60	34

Средняя длина нанотрубок увеличивается при увеличении напряжения анодирования аналогично результатам, полученным в работах других авторов [43, 44]. Нанотрубки, сформированные при напряжении 60 В между электродами, демонстрируют зависимость увеличения средней длины нанотрубок по мере увеличения концентрации Nb в сплаве. Данная зависимость может быть обусловлена разницей в скорости травления оксидов титана и ниобия в фтор содержащем электролите [43].

Таблица 4 — Относительные атомные концентрации химических элементов, определенные ЭДРС анализом, в наноструктурированных покрытиях на Ti-Nb подложках

Материал подложки	Время анодирования, мин	Напряжение анодирования, В	Относительные атомные концентрации химических элементов, %				
			O	Ti	Nb	C	F
Ti-5Nb	0	0	0	97,67	2,33	0	0
	30	60	28,15	61,95	1,91	2,6	0
		30	28,00	62,17	2,13	7,7	0

Продолжение таблицы 4

Ti-25Nb	0	0	0	87,04	12,96	0	0
	30	60	33,82	53,50	12,68	0	0
		30	28,54	50,76	9,61	8,01	3,07
Ti-50Nb	0	0	0	56,51	43,49	0	0
	30	60	32,59	44,56	22,85	0	0
		30	32,87	43,90	23,23	0	0

Анализ результатов ЭДРС, представленных в таблице 4, показал наличие Ti и Nb на поверхности образцов до и после электрохимического анодирования. Наблюдаемое снижение концентрации Ti и Nb после проведения электрохимического анодирования обусловлено толщиной сформированного слоя оксидных нанотрубок [43].

### 3.2 Исследование фазового состава биокomпозитов

На рисунке 12 представлены результаты рентгенофазового анализа исходных поверхностей подложек.

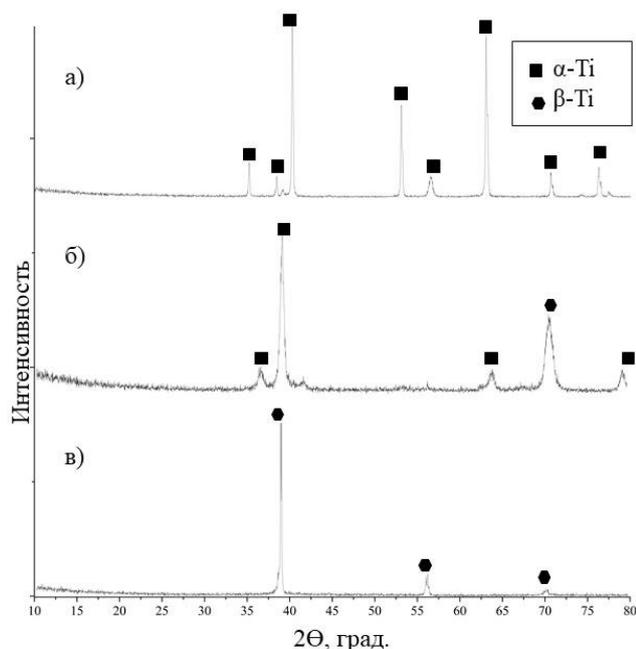


Рисунок 12 – Рентгенограммы подложек до электрохимического анодирования:

(а) Ti-5Nb, (б) Ti-25Nb, (в) Ti-50Nb

Обнаруженные фазы Ti соответствуют теоретическим. Образцы из сплавов Ti5Nb имеют  $\alpha$ -фазу. В образцах с 25% Nb присутствуют  $\alpha$  и  $\beta$  фазы, так как содержание Nb выше 27,5% ведет к формированию метастабильной  $\beta$ -фазы. В образцах с содержанием 50% Nb обнаружена  $\beta$  фаза [13-15].

Таблица 5 — Фазовый состав нанотрубок на подложках Ti и его сплавов

Образец	Фазы	Содержание фаз, %	Параметры решетки, Å	Размер ОКР, нм	$\Delta d/d \cdot 10^{-3}$
Ti5Nb30	$\alpha$	78.5	a = 2.9695 c = 4.7322	-	0.4
	Анагаз	21.5	a = 3.8345 c = 9.5465	46	4.6
Ti25Nb30	$\alpha$	8.1	a = 2.9427 c = 4.6903	71	6.1
	$\beta$	55.1	a = 3.2919	9	4.5
	Анагаз	36.8	a = 3.7818 c = 9.4809	67	2.6
Ti50Nb30	$\beta$	10.4	a = 3.2881	68	0.2
	Анагаз	4,2	a = 3.7420	22	1.7
	Рутил	85,3	c = 9.5911		
Ti5Nb60	$\alpha$	17	a = 2.9640 c = 4.6059	-	0.3
	Анагаз	83	a = 3.7842 c = 9.4915	36	0.6
Ti25Nb60	$\alpha$	14	a = 2.9505 c = 4.7422	89	4.6
	Анагаз	86	a = 3.8166 c = 9.5386	51	0.6
Ti50Nb60	$\beta$	40	a = 3.3383	-	-
	Анагаз	60	a = 3.8839 c = 9.6678	21.4	1.7

В результате РФА определено увеличение доли содержания фаз оксидов при увеличении концентрации Nb в сплаве. Рост содержащихся фаз обусловлен большими размерами сформированных нанотрубок, так как Nb обладает большим окислительно восстановительным потенциалом [46].

Как видно на рисунке 13, нанотрубки до отжига обладают рентгеноаморфной структурой [22].

При сравнении результатов РФА (рисунки 14-16) для образцов одного состава и разного напряжения анодирования наблюдается тенденция увеличения доли оксидов в поверхностном слое по сравнению с долей металла подложки. Это обусловлено тем, что длина нанотрубок больше при большем напряжении и одинаковом составе подложек.

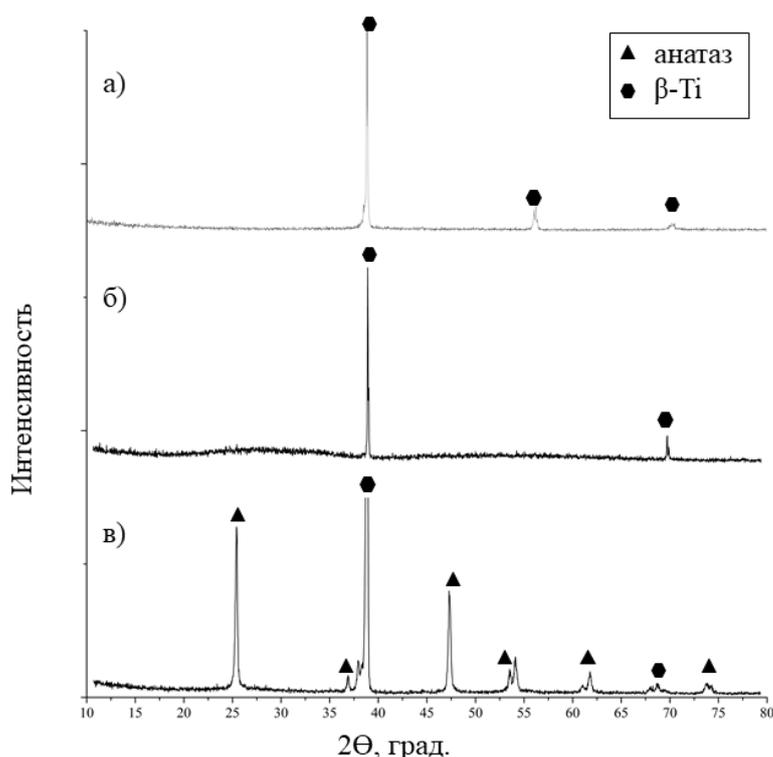


Рисунок 13 – Рентгенограммы подложки Ti-50Nb: а) до формирования нанотрубок, б) после электрохимического анодирования и до отжига, в) после отжига.

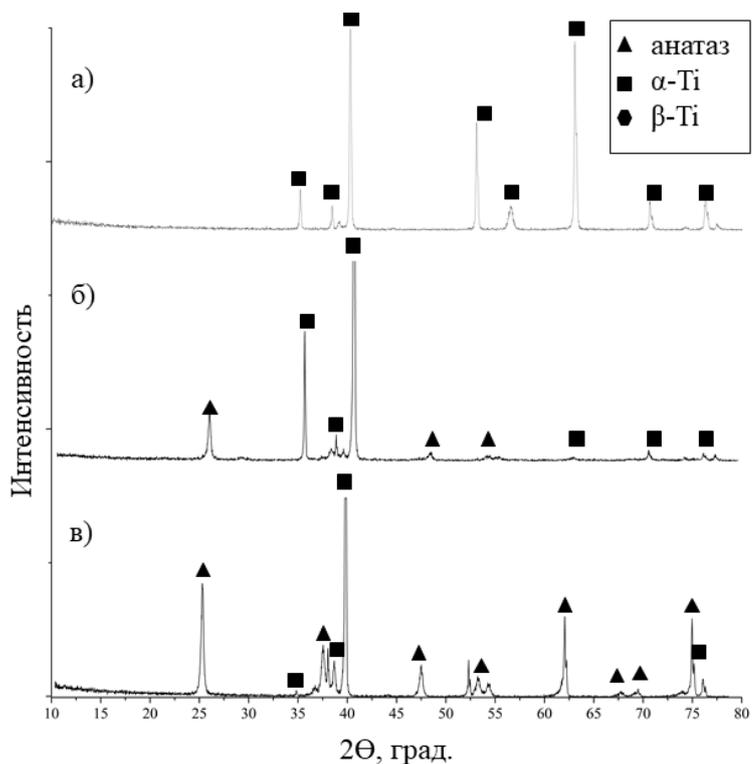


Рисунок 14 – Рентгенограммы нанотрубок сформированных на подложках Ti5Nb при напряжениях: а) 0В б) 30В в)60В.

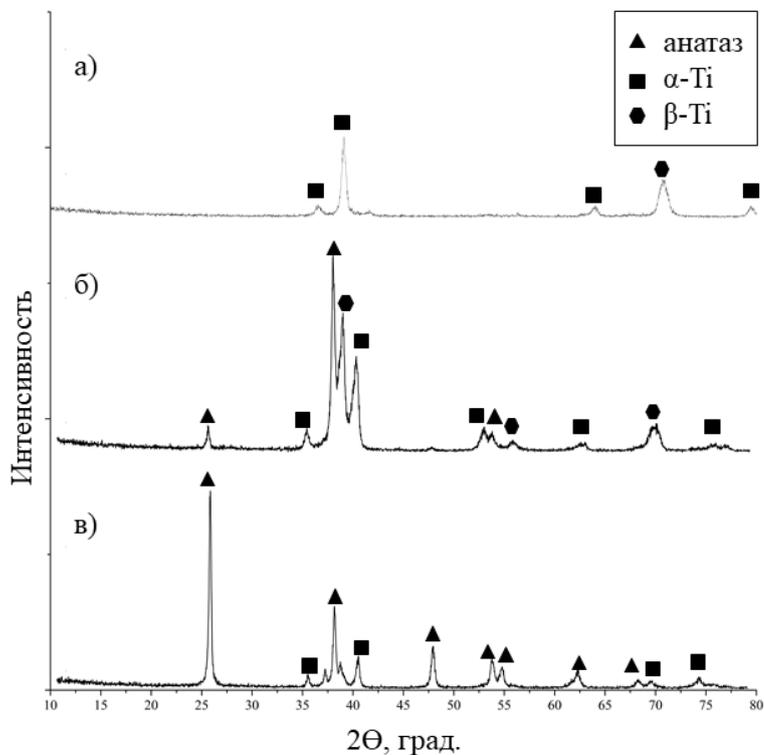


Рисунок 15 – Рентгенограммы нанотрубок сформированных на подложках Ti-25Nb при напряжениях: а) 0В б) 30В в)60В.

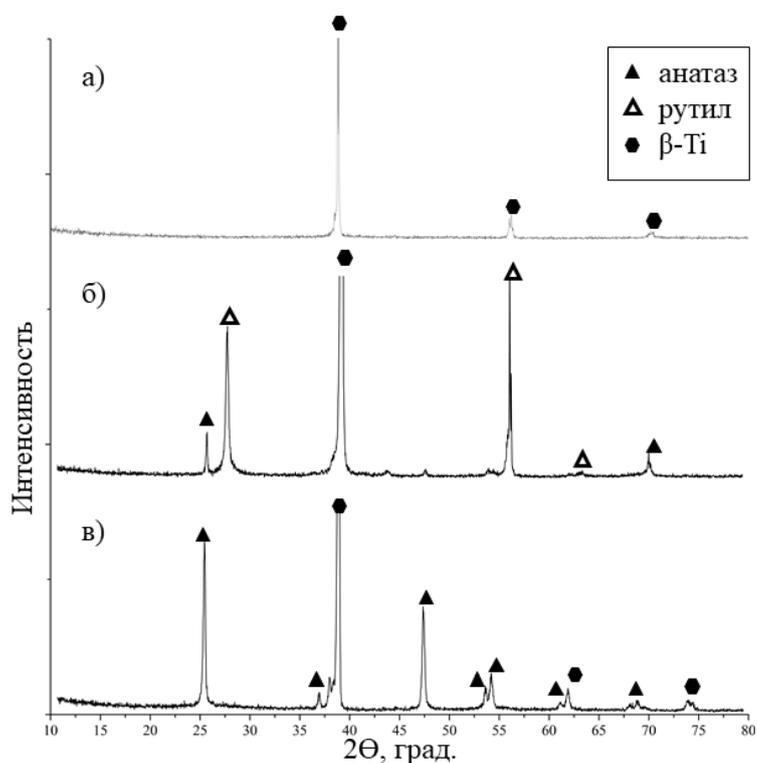


Рисунок 16 – Рентгенограммы нанотрубок сформированных на подложках Ti-50Nb при напряжениях: а) 0В б) 30В в)60В.

Наличие рутила в нанотрубках на подложке Ti50Nb возможно из-за режима отжига  $\beta$ -Ti, так как переход анатаз-рутил в  $\beta$ -сплавах Ti-Nb происходит при более высокой температуре в поликристаллических смешанных оксидных нанотрубках, чем в чистом  $\text{TiO}_2$ [42]. Аналогичные результаты были получены и в других исследованиях [42, 47]

### 3.3 Исследование адгезии клеток

Конфокальные изображения поверхности нанотрубок с клетками и гистограмма адгезии стволовых клеток представлены на рисунках 17 и 18.

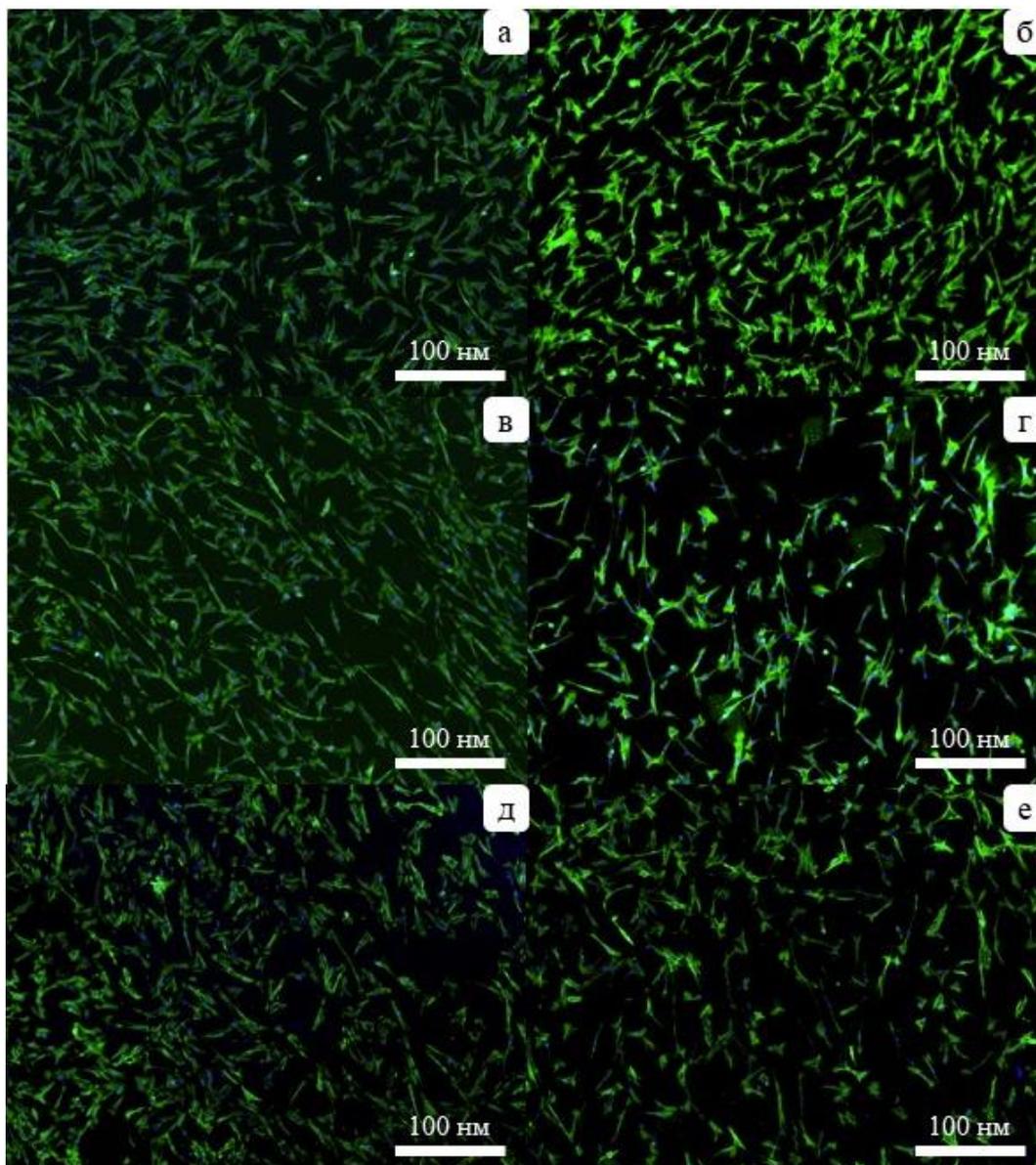


Рисунок 17 – Конфокальные изображения поверхности нанотрубок со стволовых клеток на подложках: (а)Ti5Nb30, (б)Ti5Nb60, (в)Ti25Nb30, (г)Ti25Nb60, (д)Ti50Nb30, (е)Ti50Nb60.

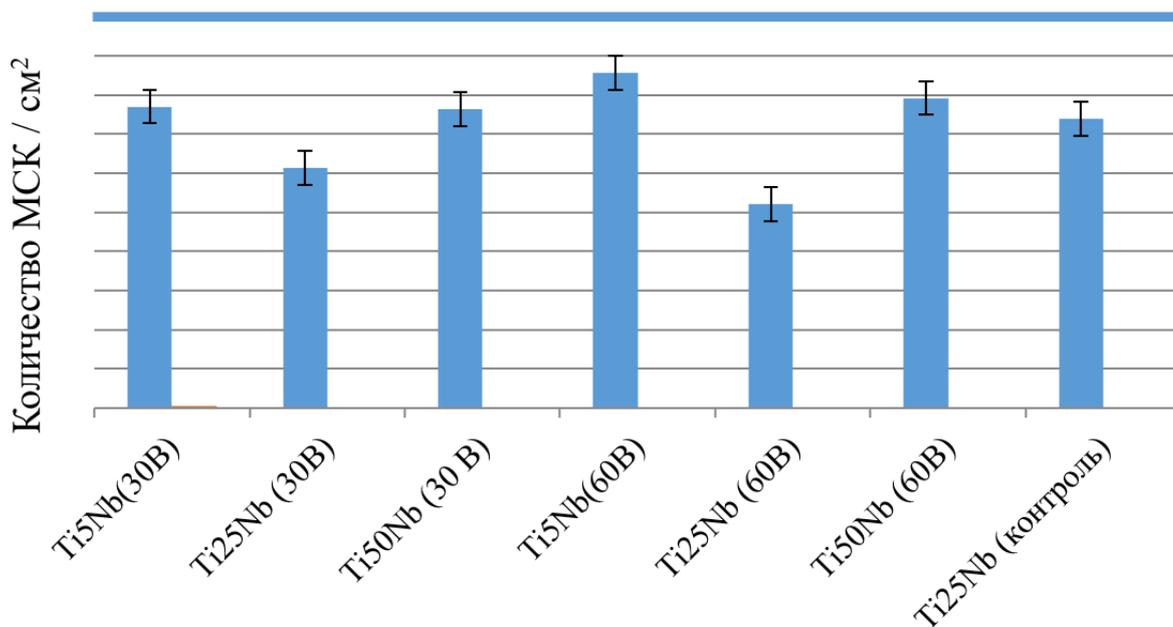


Рисунок 18 – Гистограмма клеточной адгезии

Исследование клеточной адгезии показывает, что наибольшее количество клеток обнаружено на образцах Ti5Nb60. Образцы Ti5Nb30, Ti50Nb30, Ti50Nb60 так же обладают клеточной адгезией большей, чем контрольный образец. Больше количество клеток при одинаковом составе подложки наблюдается при большем диаметре нанотрубок.

Исследуемые в работе нанотрубки, сформированные на подложках сплавов Ti-Nb при диаметре нанотрубок 48-106 нм, показывают лучшую адгезию в сравнении с нанотрубками, сформированными на технически чистом титане при таких же диаметрах [48 – 50].

## **Глава 4. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения**

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

В данной работе представлены исследования нового типа материалов для применения в имплантологии. Исследуемые материалы позволяют улучшить свойства широко используемого в медицине титана и его сплавов.

Вследствие роста населения в России и за рубежом статистически растёт и количество больных теми или иными заболеваниями, требующими установки имплантатов. Повышение уровня жизни в совокупности с развитием науки и техники дает возможность больным на восстановление комфортной жизнедеятельности. Однако на сегодняшний день в России отсутствует крупное производство имплантатов, вследствие чего доля изготовленных в России биоматериалов и имплантатов на их основе составляет меньше 10%. Экономически перспективно использование отечественного производства, исходя из этого у отечественных разработок имеются возможности значительно уменьшить на рынке долю импортных продуктов.

Продукт данной работы, нанотрубки на основе сплавов титана и ниобия в связи со своими преимуществами направлены на рынок производителей имплантатов и биокompозитов.

Таким образом, целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является проектирование и создание конкурентоспособных разработок, технологий, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований;
- планирование научно-исследовательских работ;

- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

#### 4.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Конкурентно технические решения данной работы заключаются в создании нового композита. Для оценочной карты были выбраны: нанотрубки на основе сплава титана и ниобия ( $K_{\phi}$ ), исследование которых представлено в работе и нанотрубки на основе химически чистого титана ( $K_1$ ), а также модификация имплантата на основе титана слоем наночастиц ( $K_2$ ).

Таблица 6 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		$B_{\phi}$	$B_{K1}$	$B_{K2}$	$K_{\phi}$	$K_{K1}$	$K_{K2}$
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
1. Размер наноструктур	0,12	5	4	4	0,6	0,48	0,48
2. Сложность получения подложки	0,06	4	3	4	0,24	0,18	0,24
3. Биоактивность	0,09	5	4	4	0,45	0,36	0,36
4. Токсичность	0,09	5	5	5	0,45	0,45	0,45
5. Безопасность	0,1	5	5	3	0,5	0,5	0,3
6. Функциональность	0,09	4	3	4	0,36	0,27	0,36
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
1. Конкурентоспособность продукта	0,1	5	3	4	0,5	0,3	0,4
2. Уровень проникновения на рынок	0,06	4	4	5	0,24	0,18	0,3
3. Цена	0,12	3	3	4	0,36	0,36	0,48
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,11	4	5	3	0,44	0,55	0,33
5. Послепродажное обслуживание	0,06	5	4	4	0,3	0,24	0,24
<b>Итого</b>	<b>1</b>				<b>4,44</b>	<b>3,87</b>	<b>3,94</b>

$$K = \sum B_i * B_i \quad (5)$$

Где:

К – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

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

$B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

Согласно расчету, конкурентоспособность исследуемого в данной работе материала выше чем у нанотрубок на основе химически чистого титана, а также химически чистого титана с покрытым наночастицами. Это связано с тем что модуль упругости чистого титана значительно выше чем у костной ткани вследствие чего наблюдается эффект экранирования напряжений, что ведет к разрушению здоровых контактирующих костей и проведение повторных операций.

#### 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.

Таблица 7 – Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта							
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5	C6
	B1	+	-	+	+	+	0
	B2	0	0	+	0	0	0
	B3	+	+	+	+	0	+
	B4	-	0	0	+	0	-
Слабые стороны проекта							
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5	
	B1	+	+	0	0	+	
	B2	-	+	0	-	+	
	B3	+	+	-	-	0	
	B4	+	-	0	+	-	

Продолжение таблицы 7

Сильные стороны проекта							
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4	C5	C6
	У1	+	-	+	+	+	-
	У2	0	+	+	-	+	+
	У3	+	+	+	+	+	+
	У4	+	-	0	+	+	0
Слабые стороны проекта							
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5	
	У1	0	+	-	+	-	
	У2	+	-	-	+	-	
	У3	+	+	+	0	+	
	У4	+	+	+	+	-	

Таблица 8 – SWOT-анализ

	<p><b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b></p> <p>C1. Заявленная экономичность и функциональность технологии.</p> <p>C2. Экологичность продукта и технологии.</p> <p>C3. Стоимость производства ниже аналогичных технологий.</p> <p>C4. Наличие бюджетного финансирования.</p> <p>C5. Подготовка всех требуемых заказчику оборудования и технологии.</p> <p>C6. Простота методики получения.</p>	<p><b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b></p> <p>Сл1. Уровень развития в России.</p> <p>Сл2. Недостаток финансовой поддержки.</p> <p>Сл3. Недостаток квалифицированных кадров</p> <p>Сл4. Отсутствие возможности реализации в России</p> <p>Сл5. Большой срок поставок материалов и комплектующих, используемых при проведении научного исследования</p>
--	--	--

## Продолжение таблицы 8

<p>В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ</p> <p>В2. Замещение импортных продуктов отечественными</p> <p>В3. Возникновение спроса на инновационный продукт</p> <p>В4. Повышение стоимости конкурентных разработок</p>	<p>1. Провести исследования проекта</p> <p>2. Продвинуть проект на рынок</p>	<p>1. Писк деловых контактов</p> <p>2. Обеспечить финансовую среду в рамках программы импортозамещения</p> <p>3. Привлечь больше кадров для роста масштабов производства</p>
<p>У1. Отсутствие спроса на новые продукт</p> <p>У2. Развитая технология конкурентных технологий производства</p> <p>У3. Снижение финансовой поддержки</p> <p>У4. Отсутствие оборудования для выполнения комплексного исследования</p>	<p>1. Провести рекламную компанию</p> <p>2. Найти инвесторов</p> <p>3. Устранить проблемы с техническим обеспечением</p>	<p>Недостаток финансовых средств приводит к отсутствию спроса на новые технологии</p>

## 4.2 Планирование научно-исследовательских работ

### 4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Таблица 9 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Составление технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Литературный обзор	2	Обзор технологий и методик создания оксидных наноструктур	Студент

Продолжение таблицы 9

Утверждение параметров эксперимента	4	Утверждение режимов и методики формирования нанотрубок	Руководитель Студент
Процесс формирования нанотрубок на подложках из сплавов Ti-Nb	5	Пробное формирование нанотрубок для проверки возможности создания нанотрубок при данных условиях	Инженер, студент
	6	Проведение эксперимента согласно техническому заданию	Инженер, студент
Проведение исследований морфологии и структуры нанотрубок	7	Подготовка образцов для проведения исследования морфологии и структуры	Студент
	8	Проведение лабораторных исследований образцов	Инженер, Студент
Анализ результатов исследований	9	Интерпритация результатов лабораторных исследований и сравнительный анализ полученных данных	Студент Руководитель
Написание ВКР	10	Составление пояснительной записки	Студент Руководитель

#### 4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

$$K=1,4777;$$

1 – руководитель;

2 - бакалавр (дипломник);

3 – инженер.

Таблица 10 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ									Исполнит ели			Длительнос ть работ в рабочих днях $T_{pi}$			Длитель ность работ в календа рных днях $T_{ki}$		
	$t_{min}$ , чел-дни			$t_{max}$ , чел-дни			$t_{ожг}$ , чел-дни											
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Составление ТЗ	2	-	-	5	-	-	3,2	-	-	+	-	-	3,2	-	-	5	-	-
Лит. обзор	-	25	-	-	38	-	-	30,2	-	-	+	-	-	30,2	-	-	4	-
Утверждение эксперимента	1	1	-	3	3	-	1,8	1,8		+	+		0,9	0,9		1	1	-
Формирование нанотрубок	-	30	30	-	50	50	-	38	38	-	+	+	-	19	19	-	2	2
Исследования морфологии и структуры нанотрубок	-	14	14	-	20	20	-	16,4	16,4	-	+	+	-	8,2	8,2	-	1	1
Анализ результатов	30	30	-	52	52	-	38,8	38,8	-	-	+	-	38,8	38,8	-	5	5	-
Написание ВКР	18	18	-	40	40	-	26,8	26,8	-	-	+	-	26,8	26,8	-	4	4	
Итого													69,7	123,9	27,2	10,3	10,3	43



Данная статья включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта

Таблица 12 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (З <sub>м</sub> ), руб.
Подложки	10x10x2 мм <sup>3</sup>	36	500	20880
Этиленгликоль	1кг	10	350	4060
Фторид аммония	150г	2	150	348
Деионизированная вода	1,5л	5	200	1160
Итого				<b>26448</b>

#### 4.3.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене. Расчет затрат по данной статье заносится в табл. 13.

Таблица 13 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

№	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
1.	Источник постоянного напряжения	1	25	28,75
Итого:				28,75

### 4.3.3. Основная заработная плата исполнителей темы

В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20–30 % от тарифа или оклада.

Таблица 14 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер	Бакалавр(дипломник)
Календарное число дней	365	365	365
Количество нерабочих дней	66	66	66
- выходные дни			
- праздничные дни			
Потери рабочего времени	48	48	48
- отпуск			
- невыходы по болезни			
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	251	251

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{tc} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p, \quad (6)$$

где  $Z_{tc}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

Таблица 15 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	Оклад	$k_{пр}$	$k_d$	$k_p$	$Z_m$ , руб.	$Z_{дн}$ , руб.	$T_p$ , раб. дн.	$Z_{осн}$ , руб.
Руководитель	31000	-	-	1,3	40300	1669	69,7	116329
Инженер	9893				12860	533	27,2	14498
М.н.с 1	9893				12860	533	123,9	66039

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 окладов и тарифных ставок.

#### 4.3.4. Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}} \quad (7)$$

где  $k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

Таблица 16 – дополнительная заработная плата

	Руководитель	Инженер	Мнс1
Основная заработная плата	116329	14498	66039
Дополнительная зп	13959	1739	7925
Зп исполнителя	130359	16237	73964
Итого	220560		

#### 4.3.5. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Таблица 17 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель проекта	116329	13959
Студент-дипломник	66039	7925
Инженер	14498	1739
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,3	
<b>Итого 39108+22189+4871=66168</b>		

#### 4.3.6. Контрагентные расходы

Таблица 18 – Контрагентные расходы

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во	Цена единицы оборудования, руб.	Общая стоимость оборудования, руб.
1.	Сканирующая электронная микроскопия	6ч	2000	12000
2.	Рентгенофазовый анализ	3ч	500	1500
Итого:				13500

#### 4.3.7. Накладные расходы

1) Процесс формирования нанотрубок:  $28 \text{ дней} * 8 \text{ ч} * 0,006 \text{ кВт} * 5,8 \text{ руб} = 7,79$  руб

2) Использование электроэнергии  $165 \text{ дней} * 8 \text{ часов} * 0,5 \text{ кВт} * 5,8 \text{ руб} = 3828$  руб

Таблица 19 – Накладные расходы

Процесс формирования нанотрубок	5,85 руб
Использование электроэнергии	3828 руб
Итого	3834

#### 4.3.8. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

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

Таблица 20 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	Примечание
1. Материальные затраты НТИ	26448	Пункт 3.4.1
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	28750	Пункт 3.4.2
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	196866	Пункт 3.4.3
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	23623	Пункт 3.4.4
5. Отчисления во внебюджетные фонды	66188	Пункт 3.4.5
6. Контрагентские расходы	13500	Пункт 3.4.7
7. Накладные расходы	3834	
8. Бюджет затрат НТИ	304001	Сумма ст. 1- 8

#### 4.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования.

Таблица 21 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
1. Способствует остеоинтеграции	0,15	4	4	3
2. Удобство изготовления материала	0,25	5	5	3
3. Безопасность получения материала	0,15	4	4	4
4. Надежность	0,35	5	3	4
5. Материалоемкость	0,1	3	4	5
ИТОГО	1			

$$I_{p-ucn1} = 4*0,15 + 5*0,25 + 4*0,15 + 5*0,35 + 3*0,1 = 4,5;$$

$$I_{p-ucn2} = 4*0,15 + 5*0,25 + 4*0,15 + 3*0,35 + 4*0,1 = 3,9;$$

$$I_{p-ucn3} = 3*0,15 + 3*0,25 + 4*0,15 + 4*0,35 + 5*0,1 = 3,7.$$

Таблица 22 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,62	0,86	0,69
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,5	3,9	3,7
3	Интегральный показатель эффективности	7,26	4,53	5,36
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,6	0,85	0,74

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет судить о приемлемости существующего варианта решения поставленной в магистерской диссертации технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

## Глава 5 Социальная ответственность

Одно из основных направлений профилактической работы по снижению производственного травматизма и профессиональной заболеваемости является повсеместное внедрение комплексной системы управления охраной труда.

### 5.1 Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды

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

Таблица 23 – Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные производственные факторы

Наименование работ производственного процесса	Факторы ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Травление образцов в растворе с плавиковой кислотой, азотной кислотой, подготовка электролита с фтор содержащим соединением	Химические токсические		ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества
Работа на на ПЭВМ		Электрический ток	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Санитарно- эпидемиологические правила и нормативы. «Гигиенические требования к ПЭВМ и организация работы».

На работника лаборатории, проводящего экспериментальные исследования, могут воздействовать следующие факторы: микроклимат; шум; освещённость; вредные вещества (токсичные, наркотические, раздражающие, удушающие, сенсibiliзующие, канцерогенные, мутагенные, тератогенные и др., влияющие на репродуктивную функцию).

## **5.2 Требования безопасности при выполнении работ в химических лабораториях**

Под "использованием химических веществ" в соответствии с Конвенцией № 170 следует понимать любую трудовую деятельность, при которой работник может подвергнуться воздействию химического вещества, включая: производство химических веществ; обращение с химическими веществами; хранение химических веществ; транспортировку химических веществ; удаление и обработку отходов химических веществ; выброс химических веществ в результате производственной деятельности; эксплуатацию, ремонт и очистку химического оборудования и контейнеров.

При использовании химических веществ следует учитывать их потенциальную опасность, возможность воздействия физических, химических и психофизиологических опасных и вредных производственных факторов по ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ, их суммирующего и потенцирующего эффекта. Приготовление рабочих химических растворов должно осуществляться на специальных установках при работе вентиляции с использованием средств индивидуальной защиты. Очистка воздуха, загрязненного аэрозолями, газами и парами химических веществ и условия выброса его в атмосферу из систем местных отсосов и общеобменной вентиляции должны соответствовать требованиям СНиП 2.04.05. 90 Отходы химических веществ, переработка которых невозможна или нецелесообразна, подлежат обезвреживанию и утилизации с учетом класса их опасности.

Вредным веществом называется вещество, которое при контакте с организмом человека, в случае нарушения требований безопасности, может вызвать производственные травмы, профессиональные заболевания или отклонения в состоянии здоровья, обнаруживаемые современными методами, как в процессе работы, так и в отдаленные сроки жизни настоящего и последующего поколений. По степени воздействия на организм человека вредные вещества делятся на четыре класса опасности: 1-ый - вещества чрезвычайно опасные; 2-ой - вещества высокоопасные; 3-ий - вещества умеренно опасные; 4-ый - вещества мало опасные.

При работе в химической лаборатории необходимо следить, что бы содержание паров испаряющихся реагентов не превышало предельно допустимые концентрации (ПДК, ГН 2.2.5.686-98). В таблице 2 приведены ПДК вредных веществ и их класс опасности.

Таблица 24 –ПДК вредных веществ и их класс опасности

№	Вещество	ПДК, мг/м <sup>3</sup>	Класс опасности
1	Гидрофторид	0,5/0,1	2
2	Аммоний фторид	0,5	2
3	Азотная кислота	2,0	3

При работе в химической лаборатории необходимо надевать халат из хлопчатобумажной ткани. При выполнении работ, связанных с выделением ядовитых газов и пыли, для защиты органов дыхания следует применять респираторы или противогазы и другие средства защиты. При работе с едкими и ядовитыми веществами дополнительно применяют фартуки, средства индивидуальной защиты глаз и рук. Для защиты рук от действия кислот, щелочей, солей, растворителей применяют резиновые перчатки. На перчатках не должно быть порезов, проколов и других повреждений. Надевая перчатки, следует посыпать их изнутри тальком. Для защиты глаз применяют очки различных типов, щитки, маски.

### 5.3 Условия безопасной работы

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

В соответствии с СанПиН 2.2.4.548 – 96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» параметрами, характеризующими микроклимат являются: температура воздуха; температура поверхностей; относительная влажность воздуха; скорость движения воздуха.

Температура воздуха, измеряемая в °С, является одним из основных параметров, характеризующих тепловое состояние микроклимата. Температура поверхностей и интенсивность теплового облучения учитываются только при наличии соответствующих источников тепловыделений. Влажность воздуха – содержание в воздухе водяного пара. Относительная влажность (R) – это отношение абсолютной влажности к максимальной, выраженное в процентах. Скорость движения воздуха измеряется в м/с.

Таблица 24 – Оптимальные параметры микроклимата

Период года	Категория работы	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
холодный	1а(до 139 Вт)	22-24	60-40	0,1
	1б(до 139 Вт)	21-23	60-40	0,1
	2а(175 - 232 Вт)	19-21	60-40	0,2
	2б(233 - 290 Вт)	17-19	60-40	0,2
	3(более 290 Вт)	16-18	60-40	0,3
теплый	1а	23-25	60-40	0,1
	1б	22-24	60-40	0,1
	2а	20-22	60-40	0,2
	2б	19-21	60-40	0,2
	3	18-20	60-40	0,3

Таблица 25 – Допустимые параметры микроклимата

Период года	Категория работ	Температура воздуха, °С		Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м\с	
		минимальные	максимальные		минимальные	максимальные
холодный	1а	20-22	24-25	15-75	0,1	0,1
	1б	19-21	23-24	15-75	0,1	0,2
	2а	17-19	21-23	15-75	0,1	0,3
	2б	15-17	19-22	15-75	0,2	0,40,4
	3	13-16	18-21	15-75	0,2	
теплый	1а	21-23	25-28	15-75	0,1	0,2
	1б	20-22	24-28	15-75	0,1	0,3
	2а	18-20	22-27	15-75	0,1	0,4
	2б	16-19	21-27	15-75	0,2	0,5
	3	15-18	20-26	15-75	0,2	0,5

К мероприятиям по оздоровлению воздушной среды в производственном помещении относятся: правильная организация вентиляции и кондиционирования воздуха, отопление помещений. 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 используемом помещении регулируются системой центрального отопления и системой кондиционирования воздуха, установленной в помещении.

#### 5.4 Производственный шум и вибрации

В группу вредных производственных физических факторов входят шум и вибрация, возникающие в результате колебаний твердых и упругих тел. Колебания любого твердого тела, жидкости, газа характеризуются амплитудой (величина отклонения от точки своего равновесия), частотой (количество отклонений в единицу времени).

1 Гц — одно отклонение в 1 секунду) и скоростью продвижения колебательной волны в физической или биологической среде (теле).

По частоте все колебания делятся на три диапазона: а) инфразвуковые — до 16 Гц; б) звуковые (воспринимаются органом слуха как звук) — от 16 до 20000 Гц; в) ультразвуковые — свыше 20000 Гц.

При контакте человека с этими сотрясающимися объектами его организм включается в общую систему сотрясений. Костная система, нервные структуры, вся сосудистая система являются хорошими проводниками и резонаторами вибрации.

Различают вибрации: низкочастотную — до 16 Гц; среднечастотную — от 16 до 30 Гц; высокочастотную — свыше 35 Гц.

Но еще большую актуальность представляет современный комплекс профилактических мероприятий по предупреждению развития вибрационной болезни как таковой.

Таблица 26 Средства индивидуальной и коллективной защиты от вибрации



В процессе работы должны использоваться инструменты и механизмы, оборудованные приспособлениями, гасящими вибрацию или изменяющими ее частотную характеристику.

1. Из диапазона частот в первую очередь необходимо исключить частоты от 35 до 250 Гц, как наиболее опасные.

2. Правильная организация режима работы:

а) через каждый час работы — 10-минутный перерыв. Перерыв должен проводиться в помещении с температурой не ниже 18°C. Во время перерыва — элементы самомассажа конечностей.

б) если в диапазоне частот преобладает высокочастотная вибрация, время работы с генераторами вибрации должно составлять 35% от общей продолжительности рабочего дня. Остальное время — на смежных операциях, не связанных с воздействием вибрации. При низких частотах — 45% от продолжительности рабочего дня.

3. Индивидуальные средства защиты: специальная обувь и рукавицы с виброгасящей прокладкой.

4. В зависимости от диапазона частотной характеристики, вида вибрации установлены предельно допустимые уровни виброскорости.

5. В конце каждой рабочей смены общие тепловые процедуры (теплый душ), если нет возможности — местные тепловые ванны с самомассажем.

6. Введение в рацион питания дополнительных количеств (50% от суточной нормы) витамина В1, регулирующего деятельность периферической нервной системы, и витамина С, поддерживающего резистентность сосудистой стенки и, в частности, капилляров.

7. Обязательное облучение рабочих в осенне-зимний и зимне-весенний периоды УФ-излучением (зона А и В в пределах 0,3 до 0,7 биодозы), два цикла облучений по 15 сеансов.

8. Обязательный врачебно-профилактический отбор при приеме на работу (учитывается перечень противопоказаний, определенный приказом Министерства здравоохранения).

9. Обязательные профессиональные ежегодные осмотры с участием невропатолога и ЛОР-специалиста и обязательным проведением капилляроскопии.

При обнаружении между двумя профилактическими осмотрами специфических симптомов у рабочего должен быть решен вопрос о его лечении и дальнейшем трудоустройстве.

Шум — это совокупность звуков различной интенсивности и частоты, беспорядочно сочетающихся и изменяющихся во времени. Звук — механическое колебание упругой среды (воздушной) с частотой от 16 до 20000 Гц. Звуковая волна несет с собой звуковое давление, измеряемое в Ньютонах на м (Н/м) и звуковую энергию, измеряемую в ваттах на м (Вт/м).

Любой шум характеризуется определенным частотным составом или, как говорят, спектром. В зависимости от спектра все шумы делят на три класса: а) низкочастотный — до 350 Гц; б) среднечастотный — от 350 до 800 Гц; в) высокочастотный — свыше 800 Гц.

В условиях производства наиболее часто встречаются шумы в диапазоне от 45 до 11000 Гц. Весь этот спектр разделен на 8 октавных полос (1 октава, когда левая частотная характеристика в два раза меньше правой 45-90, 90-180, 180-360 и т.д.).

Интенсивность (сила) зависит от количества энергии (вт/м), протекающей за единицу времени. Разница в мощности энергии звуков, ощущаемых ухом человека, огромная и выражается величиной в 10 раз большей, чем порог (10вт/м). Сила (интенсивность) прирастает логарифму увеличения величины энергии. Увеличение энергии на порядок (10 раз) дает увеличение интенсивности на единицу (последовательно 1,2,3,4 и т.д.) Ухо человека ощущает от порога слышимости до 14 единиц (бел). 1 /10 бела — децибел.

Шумовая болезнь, как и вибрационная, — это сложный симптомокомплекс функциональных и органических изменений в организме и было бы неправильно отдавать первенство изменению функции органа слуха.

Общее действие проявляется прежде всего при воздействии на ЦНС, проявляющуюся в резком замедлении всех нервных реакций, сокращении времени активного внимания, снижении работоспособности и качества работы. Даже производственный травматизм на шумных предприятиях выше, чем на бесшумных.

Предельно допустимые уровни звука и эквивалентные уровни звука на рабочих местах для трудовой деятельности разных категорий тяжести и напряженности в дБА:

Таблица 27 – Категории тяжести труда

Категория напряженности	Категория тяжести трудового процесса				
	легкая физическая нагрузка	средняя физическая нагрузка	тяжелый труд 1 степени	тяжелый труд 2 степени	тяжелый труд 3 степени
Напряженность легкой степени	80	80	75	75	75
Напряженность средней степени	70	70	65	65	65
Напряженный труд 1 степени	60	60	-	-	-
Напряженный труд 2 степени	50	50	-	-	-

Согласно П 4 ГОСТ 12.1.029 – 80. средства и методы коллективной защиты в зависимости от способа реализации подразделяются на:

акустические (звукоизолирующие кожухи, кабины, акустические экраны, выгородки, звукопоглощающие облицовки, объемные поглотители звука и др.). Во всех случаях, когда на кожух могут передаваться вибрации от источника

шума, стенки кожуха следует покрывать вибродемпфирующим материалом мастичного типа.

архитектурно-планировочные (создание шумозащищенных зон, рациональное размещение оборудования рабочих мест, рациональные акустические решения планировок зданий и генеральных планов объектов и др.).

Организационно-технические (применение малошумных технологических процессов и машин, оснащение шумных машин средствами дистанционного управления и автоматического контроля, использование рациональных режимов труда и отдыха работников на шумных предприятиях и др.).

Средства индивидуальной защиты от шума подразделяют на:

- противошумные наушники, закрывающие ушную раковину;
- противошумные вкладыши, перекрывающие наружный слуховой канал;
- противошумные шлемы и каски;
- противошумные костюмы.

Наушники могут быть независимыми, имеющие жесткое или мягкое оголовье или встроенными в головной убор.

Вкладыши бывают однократного или многократного пользования и, в зависимости от применяемого материала, подразделяются на твердые, эластичные волокнистые.

Экраны изготавливают из стальных или дюралюминиевых листов толщиной 1,5-2,0 мм или щитов, облицованных звукопоглощающим материалом толщиной не менее 50-60 мм. Линейные размеры экрана должны быть не менее чем в три раза больше линейных размеров источника шума.

Звукопоглощающие облицовки по виду используемого звукопоглощающего материала имеют следующие конструкции: облицовки из жестких однородных пористых материалов; облицовки с перфорированным покрытием в защитных оболочках из ткани и пленки. В качестве пористых материалов применяют плиты минераловатные, холсты из супертонкого стекловолокна, маты из супертонкого базальтового волокна, вспененные

полимерные материалы и комбинированные. Эти материалы одновременно могут использоваться и для теплоизоляции.

Профилактика шумовой болезни должна также проводиться комплексно:

Изменение технологии производства, сочетающееся с возможной автоматизацией производства и выведением человека из производственной среды.

1. Применение устройств на механизмах, снижающих интенсивность шума, а также его частотную характеристику.

2. Изоляция одного рабочего места от другого.

3. Правильное устройство фундаментов для шумогенерирующих машин.

4. Все поверхности шумного помещения (стены, потолок и др.) должны быть облицованы звукопоглощающим материалом.

5. Режим работы — через каждый час работы 10-минутный перерыв, который должен проводиться в специально оборудованном помещении, положительно влияющим на эмоциональный статус человека. Температура помещения — не ниже 18°C.

6. Индивидуальные средства защиты: от самых простых (беруши) до устройства шумоизолирующих кабин.

7. На каждом рабочем месте в зависимости от точности выполняемой работы устанавливается предельно допустимый уровень интенсивности шума, а в зависимости от частотной характеристики — октавная полоса.

8. Врачебно-профессиональный отбор рабочих с учетом противопоказаний, указанных в регламентирующих документах.

9. Периодические профессиональные осмотры с участием ЛОР-специалиста, невропатолога и обязательной аудиометрией. Причем следует отметить, что периодические осмотры проводятся в течение первых трех лет через каждые три месяца. После этого срока проводятся один раз в год и даже

реже. Лица, у которых порог слышимости повышается на 20 дБ и более, должны быть трудоустроены на работу, не связанную с воздействием шума.

10. Санаторно-курортное лечение в условиях теплого, сухого климата.

Допустимый уровень шума ограничен ГОСТ 12.1.003-83 и СанПиН 2.2.4/2.1.8.10-32-2002.

## **5.5 Освещенность**

Нормы освещённости на рабочих местах производственных помещений при искусственном освещении регламентируются СНиП 23-05-95

Для всех рабочих мест внутри помещений и для рабочих мест вне помещений, на которых выполняется конкретная работа (железнодорожные станции, аэропорты, карьеры и т.п.), основной нормируемой величиной является освещенность и индекс цветопередачи на рабочем месте.

Общий индекс цветопередачи – отношение воспроизведения цветов предметов при освещении их данным источником света к воспроизведению цветов этих же предметов, освещаемых источником света, принятым за эталон. За «стандартный» источник был принят свет тепловых излучателей, ламп накаливания – их общий индекс цветопередачи принят равным 100. Принята следующая система оценки качества цветопередачи:  $R_a = 90$  – отличное качество;  $90 > R_a > 80$  – очень хорошее;  $80 > R_a > 70$  – хорошее;  $70 > R_a > 60$  – удовлетворительное;  $60 > R_a > 40$  – приемлемое;  $R_a < 40$  – плохая.. Освещенность измеряется в Лк – люксах; 1 люмен/м. кв. (люмен  $L_m$  – единица величины светового потока)

Расчёт общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока, учитывающим световой поток, отражённый от потолка и стен. Длина помещения  $A = 8$  м, ширина  $B = 6$  м, высота = 3,5 м. Высота рабочей поверхности над полом  $h_p = 1,0$  м. Согласно СНиП 23-05-95 необходимо создать освещенность не ниже 200 лк, в соответствии с разрядом зрительной работы.

Площадь помещения:

$$S = A \times B, \quad (8)$$

где  $A$  – длина, м;

$B$  – ширина, м.

$$S = 8 \times 6 = 48 \text{ м}^2$$

Коэффициент отражения свежепобеленных стен с окнами, без штор  $\rho_c=50\%$ , свежепобеленного потолка  $\rho_{\Pi}=70\%$ . Коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, для помещений с малым выделением пыли равен  $K_z=1,5$ . Коэффициент неравномерности для люминесцентных ламп  $Z=1,1$ .

Выбираем лампу дневного света ЛБ-40, световой поток которой равен  $\Phi_{\text{ЛД}} = 3200$  Лм.

Выбираем светильники с люминесцентными лампами типа ОД-2-40. Этот светильник имеет две лампы мощностью 125 Вт каждая, длина светильника равна 1230 мм, ширина – 266 мм.

Интегральным критерием оптимальности расположения светильников является величина  $\lambda$ , которая для люминесцентных светильников с защитной решёткой лежит в диапазоне 1,1–1,3. Принимаем  $\lambda=1,2$ , расстояние светильников от перекрытия (свес)  $h_c = 0,3$  м.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = h_n - h_p, \quad (9)$$

где  $h_n$  – высота светильника над полом, высота подвеса,

$h_p$  – высота рабочей поверхности над полом.

Наименьшая допустимая высота подвеса над полом для двухламповых светильников ОД:  $h_n = 3,5$  м.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = H - h_p - h_c = 3,5 - 1 - 0,5 = 2 \text{ м.}$$

Расстояние между соседними светильниками или рядами определяется по формуле:

$$L = \lambda \cdot h = 1,3 \cdot 2 = 2,6 \text{ м}$$

Число рядов светильников в помещении:

$$Nb = \frac{B}{L} = \frac{6}{2,6} = 2,2 \approx 2$$

Число светильников в ряду:

$$Na = \frac{A}{L} = \frac{8}{2,6} = 3,07 \approx 3$$

Общее число светильников:

$$N = Na \cdot Nb = 3 \cdot 2 = 6$$

Расстояние от крайних светильников или рядов до стены определяется по формуле:

$$l = \frac{L}{3} = \frac{2,6}{3} = 0,8 \text{ м}$$

$$l = \frac{L}{2} = \frac{2,6}{2} = 1,3 \text{ м}$$

Размещаем светильники в два ряда. На рисунке 1 изображен план помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами.

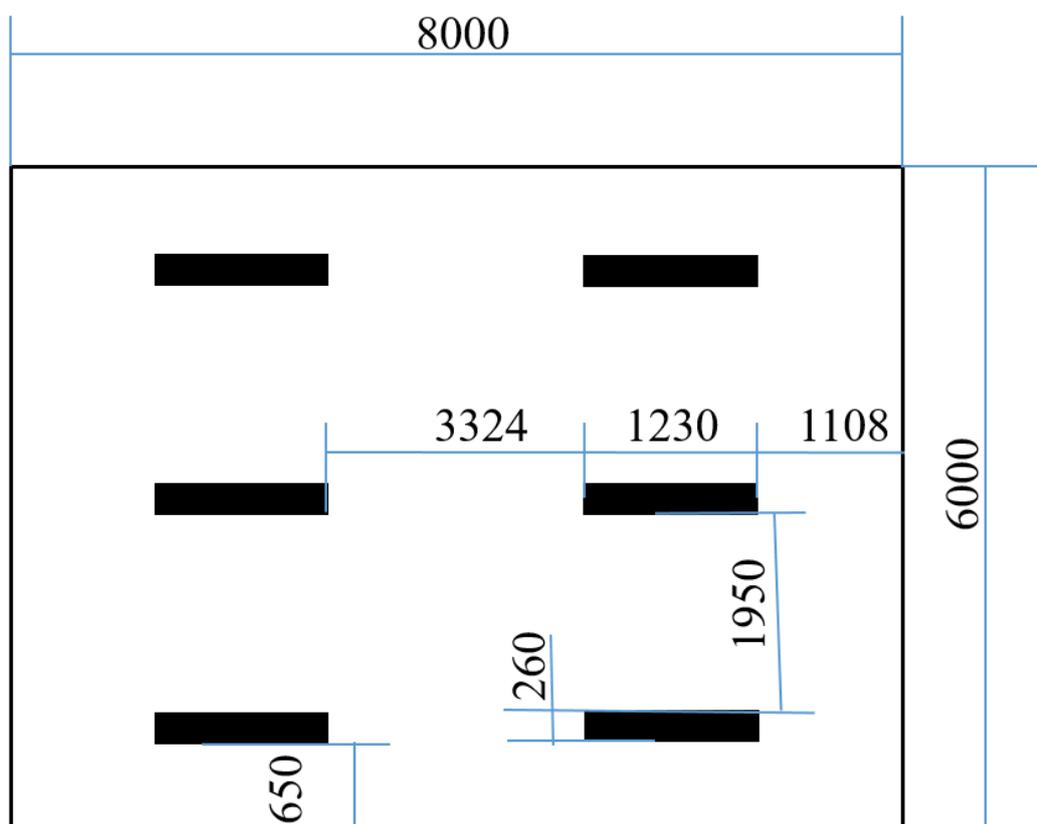


Рисунок 19 – План помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами

Индекс помещения определяется по формуле:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)} = \frac{6 \cdot 8}{2,0 \cdot (6 + 8)} = 1,7$$

Коэффициент использования светового потока, показывающий какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность, для светильников типа ОДОР с люминесцентными лампами при  $\rho_{\text{П}} = 70\%$ ,  $\rho_{\text{С}} = 50\%$  и индексе помещения  $i = 1,7$  равен  $\eta = 0,41$ .

Потребный световой поток группы люминесцентных ламп светильника определяется по формуле:

$$\Phi_{\text{П}} = \frac{E \cdot A \cdot B \cdot K_3 \cdot Z}{N \cdot \eta} = \frac{200 \cdot 8 \cdot 6 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{12 \cdot 0,41} = 3220 \text{ лм}$$

Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{ЛД}} - \Phi_{\text{П}}}{\Phi_{\text{ЛД}}} \cdot 100\% \leq 20\%;$$

$$\frac{\Phi_{\text{ЛД}} - \Phi_{\text{П}}}{\Phi_{\text{ЛД}}} \cdot 100\% = \frac{3200 - 3220}{3200} \cdot 100\% = -0,63\%.$$

Таким образом:  $-10\% \leq -0,63\% \leq 20\%$ , необходимый световой поток светильника не выходит за пределы требуемого диапазона.

## 5.6 Электробезопасность

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

Безопасным для человека считается напряжение электрической сети 42 Вольта, использующееся для переносных осветительных и бытовых приборов на воздухе и в доме и 12 Вольт, при условии использования переносных светильников и приборов внутри котлов, металлических резервуаров и пр.

Безопасным для организма человека можно считать переменный ток силой не выше 0,05 А ток силой более 0,05 - 0,1 А опасен и может вызвать смертельный исход.

ПТЭЭП, Приложение № 3, гласит: сопротивление контура заземления - 4 Ом при напряжениях с 220 вольт источника однофазного тока.

Безопасным напряжением для человека считается напряжение 42 В в нормальных условиях и 12 В в условиях повышенной опасностью (сырость, высокая температура, металлические полы и др. ).

Допустимым же для человека током принято считать силу тока, при которой он самостоятельно может освободиться от его воздействия. Максимально допустимая величина тока, проходящего через тело человека, зависит от времени его воздействия. Для тока переменного, с его частотой 50 Гц допустимое напряжение прикосновения по ГОСТ12.1.038-82 составляет всего 2 В, а сила тока - всего 0,3 мА. Для постоянного тока – допустимое напряжение

прикосновения всего-то 8В, при силе тока в 1,0 мА (данные приведены для времени воздействия менее 10 мин в сутки).

При прохождении электрического тока через тело человека могут возникнуть повреждения организма. Действие тока на организм человека может быть местным и общим. Общее (рефлекторное) поражение — электрический удар, представляет для человека наибольшую опасность: нарушается работа центральной нервной и сердечно-сосудистой систем, что приводит к фибрилляции и параличу сердца, а также к остановке дыхания. 100

Характер и последствия поражения зависят от величины, частоты и пути прохождения тока; продолжительности воздействия.

Согласно разделу 1.1.13 правил устройства электроустановок (ПУЭ) производственные цеха, торговые и бытовые помещения принято делить на три отдельных класса, характеризующих степень опасности. Рассмотрим каждый из них в отдельности.

Первый класс - "помещения без повышенной опасности"

В данную категорию входят помещения, характеризующиеся пониженной влажностью воздуха (до 75%), оборудованные при необходимости вентиляционной системой и отоплением. Кроме того, полы в таких помещениях должны быть не токопроводящими. Помещения без повышенной опасности - это помещения, в которых отсутствует сырость, высокая температура, токопроводящие полы, токопроводящая пыль, химическая среда. Используемые напряжения питания до 1000В.

Второй класс - "помещения с повышенной опасностью"

Действующая классификация помещений по опасности поражения электрическим током определяет объект к категории повышенной опасности при наличии в них одного из следующих условий:

сырость (помещения, с относительной влажностью больше 75 %);

токопроводящая пыль (постоянное образование пыли с токопроводящими свойствами);

помещения с токопроводящими полами (наличие железобетонных, металлических, кирпичных и иных типов токопроводящих напольных покрытий);

высокий уровень температуры (помещения в которых температура постоянно превышает  $+35^{\circ}\text{C}$ );

Используемые напряжения питания до 1000В.

условия (возможность), когда человек может одновременно прикоснуться к металлическим корпусам электрооборудования и к заземленным металлоконструкциям зданий (из примеров можно привести случай, когда человек может взяться одной рукой за батарею отопления - второй за корпус станка).

Данный класс помещений включает в себя отапливаемые механические и электроремонтные цеха и мастерские, слесарно-ремонтные объекты и т.п.

Третий класс - "особо опасные помещения"

К наиболее опасной категории относятся помещения с высоким уровнем влажность, концентрированной взвесью химически активных веществ в воздухе, а также не менее двух дополнительных факторов из категории помещений повышенной опасности. Используемые напряжения питания свыше 1000В.

- помещения с «особой сыростью» (относительная влажность близка к 100 %). Не путать с пунктом выше;
- помещения в которых присутствует химическая активность и органическая среда (в следствии отложений приводят к разрушению изоляции электрооборудования);
- два и больше условий из пункта №2 (для помещений с повышенной опасностью).

При критическом уровне влажности, приближающемся к 100-процентной отметке, все открытые поверхности неизбежно покрываются конденсатом. Также к данному классу относят производственные объекты, расположенные под навесом или на открытом воздухе.

Таблица 28 Допустимые значения напряжения для категорий помещений

Категория помещения	ПУЭ
Без повышенной опасности	>50 В перем. тока
	>120 В пост. тока
С повышенной опасностью, особо опасные и наружные электроустановки	>25 В перем. тока
	>60 В пост. тока

К средствам индивидуальной защиты от поражения электрическим током относятся:

- оградительные устройства, которые могут быть стационарными и переносимыми. Ограждения могут быть сблокированы с устройствами, отключающими рабочее напряжение при снятии;
- изолирующие устройства и покрытия;
- устройства защитного заземления, зануления и защитного отключения;
- устройства дистанционного управления;
- предохранительные устройства и др.

В зависимости от условий в помещении опасность поражения человека электрическим током увеличивается или уменьшается. Не следует работать с ПЭВМ или другими электрическими приборами и 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 землёй металлическим элементам и металлическим корпусом электрооборудования.

Производство оксидных нанотрубок относится ко второму классу электробезопасности из-за наличия химической среды и используемых напряжений до 1000В.

## 5.7 Пожарная безопасность

Согласно ППБ 01-03, в зависимости от характеристики используемых в производстве веществ и их количества, по пожарной и взрывной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В, Г, Д.

Таблица 29 – Категории пожароопасности помещений

Категория помещения	Характеристика веществ и материалов, находящихся (обращающихся) в помещении
А — повышенная взрывопожароопасность	Горючие газы, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки не более 28 °С в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные парогазовоздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчетное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 килопаскалей, и (или) вещества и материалы, способные взрываться и гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом, в таком количестве, что расчетное избыточное давление взрыва в помещении превышает 5 кПа.
Б — взрывопожароопасность	Горючие пыли или волокна, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки более 28 °С, горючие жидкости в таком количестве, что могут образовывать взрыво-опасные пылевоздушные или паровоздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчетное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 кПа.
В1 — В4 — пожароопасность	Горючие и трудногорючие жидкости, твердые горючие и трудногорючие вещества и материалы (в том числе пыли и волокна), вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом только гореть, при условии, что помещения, в которых они находятся (обращаются), не относятся к категории А или Б.
Г — умеренная пожароопасность	Негорючие вещества и материалы в горячем, раскаленном или расплавленном состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистого тепла, искр и пламени, и (или) горючие газы, жидкости и твердые вещества, которые сжигаются или утилизируются в качестве топлива.
Д — пониженная пожароопасность	Негорючие вещества и материалы в холодном состоянии.

Согласно НПБ 105-03 лаборатория относится к категории Г - негорючие вещества и материалы в горячем, раскаленном или расплавленном состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистого тепла, искр и пламени; горючие газы, жидкости и твердые вещества, которые сжигаются или утилизируются в качестве топлива

По степени огнестойкости данное помещение относится к 1-й степени огнестойкости по СНиП 2.01.02-85 (выполнено из кирпича, которое относится к трудно сгораемым материалам). Возникновение пожара при работе с электронной аппаратурой может быть по причинам как электрического, так и неэлектрического характера.

Здание должно соответствовать требованиям пожарной безопасности, а именно, наличие охранно-пожарной сигнализации, плана эвакуации, порошковых или углекислотных огнетушителей с поверенным клеймом, табличек с указанием направления к запасному (эвакуационному) выходу (рисунок 20).

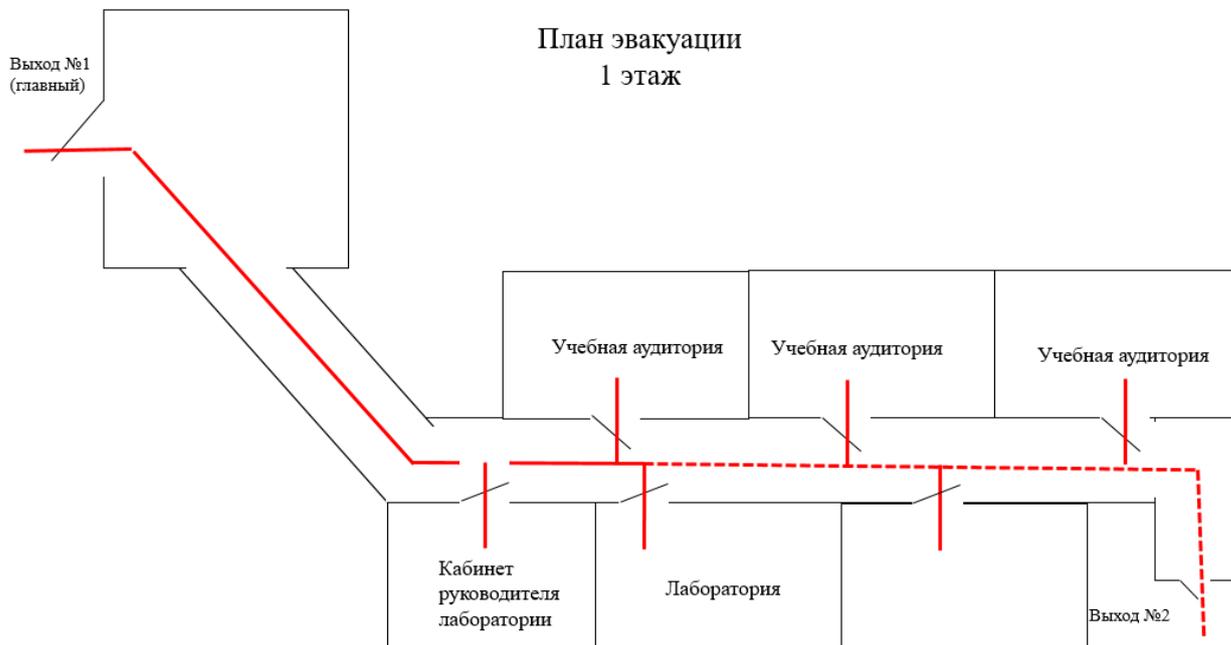


Рисунок 20 – Пути эвакуации.

Углекислотные огнетушители (ОУ-1 ОУ-2 ОУ-3 ОУ-5)

Предназначены для тушения загораний различных веществ и материалов, электроустановок под напряжением до 10000 В (10кВ), двигателей внутреннего сгорания, горючих жидкостей. Запрещается тушить материалы, горение которых происходит без доступа воздуха. Температура на выходе из раструба резко (от -70С до -80С) понижается, тем самым одной из особенностью этих огнетушителей является понижение температуры в место распыления.

Пенные огнетушители(ОП-4(г) ОП-5(г) ОП-8(г))

Предназначены для тушения пожаров и загораний твердых веществ и материалов, Легковоспламеняющиеся жидкости (ЛВЖ) и горючие жидкости (ГЖ), кроме щелочных металлов и веществ, горение которых происходит без доступа воздуха, а также электроустановок без напряжения.

Пенными огнетушителями запрещается тушить электроустановки под напряжением.

Порошковые огнетушители(ОП-2(з) ОП-3(з) ОП-4(з) ОП-5(з) ОП-8(з))

Предназначены для тушения пожаров и загораний нефтепродуктов, ЛВЖ и ГЖ, растворителей, твердых веществ, а также электроустановок под напряжением до 1000 В (1кВ).

Перед тушением убедись в отсутствии скруток и перегибов на шланге огнетушителя. После тушения убедись, что очаг ликвидирован и пожар не возобновится.

Огнетушитель порошковый самосрабатывающий (ОСП)

Предназначен для тушения небольших пожаров и загораний твердых органических веществ, ГЖ и ЛВЖ, плавящихся материалов, электроустановок при напряжении до 1000В.

Аэрозольные генераторы(ГОА).

Служат для автоматического или ручного тушения загораний в производственных и бытовых помещениях объемом до 200 кв.м. При срабатывании выделяется высокодисперсный аэрозоль, который тормозит пламенное горение.

При тушении электроустановок порошковым огнетушителем подавай заряд порциями через 3-5 секунд. Не подноси огнетушитель ближе 1м к горячей электроустановке. Направляй струю заряда только с наветренной стороны. Не берись голой рукой за раструб углекислотного огнетушителя во избежание обморожения. При тушении нефтепродуктов пенным огнетушителем покрывают пенной всю поверхность очага, начиная с ближнего края. При тушении горящего масла запрещается направлять струю заряда сверху вниз. Направляй струю заряда на ближний край очага, углубляясь постепенно, по мере тушения. Очаг пожара в ниже тушите сверху вниз. По возможности тушите пожар несколькими огнетушителями. Правила работы с порошковыми огнетушителями. Тушить очаг пожара с наветренной стороны. При проливе ЛВЖ тушение начинать с передней кромки, направляя струю порошка на горящую поверхность, а не на пламя. Истекающую жидкость тушить сверху вниз. Горящую вертикальную поверхность тушить снизу-вверх. При наличии нескольких огнетушителей, необходимо применять их одновременно. Следите, чтобы потушенный очаг не вспыхнул снова (никогда не поворачивайтесь к нему спиной)

После использования, огнетушители сразу необходимо оправить на перезарядку

## **5.8 Охрана окружающей среды**

Охрана окружающей среды - это комплексная проблема и наиболее активная форма её решения - это сокращение вредных выбросов промышленных предприятий через полный переход к безотходным или малоотходным технологиям производства.

Отходы электрохимического анодирования, переработка которых невозможна, подлежат обезвреживанию и утилизации с учетом второго класса их опасности.

Транспортировать химикаты и вредные вещества следует в специально оборудованных автомобилях с герметично закрывающимся грузовым объемом.

Профессиональная утилизация отходов 2 класса опасности производится без остатка. Практически всегда специалисты находят возможность качественной полноценной переработки. Если даже небольшая часть промышленного мусора окажется на обычной свалке, экологическая обстановка местности значительно изменится и уже не будет прежней.

Главные принципы утилизацией такие:

- вывоз с предприятия должен быть регулярным, запрещается длительное хранение;
- перевозка осуществляется в закрытых грузовых отсеках без контакта с водой и атмосферой;
- проводится снижение химической активности некоторых веществ, снижается степень опасности;
- выделяются все доступные полезные вещества для дальнейшего вторичного использования.

Производство вторичных продуктов из таких промышленных выбросов не всегда рентабельно, но для природы этот процесс необходим. Большое количество опасного промышленного мусора оказывается важным фактором воздействия на современный окружающий мир.

Этиленгликоль экстракцией извлекается из электролита. Фторид аммония разлагается серной или азотной кислотой, в результате получается фторопласт или удобрение соответственно.

Отходы азотной кислоты используются повторно, до значительного снижения активности, после чего будет утилизирована.

Так же необходимо позаботиться о отходах бытового характера: раздельное складирование для бумаги, стекла, металлических частей, пластика. Отправка данных отходов фирмам, занимающимся переработкой бытовых отходов.

## **5.9 Защита в ЧС**

Действия работников при аварийных ситуациях.

Предполагаемая диверсия

Для предотвращения диверсии следует установить пункт круглосуточной охраны с контролем видеокамерами входов, коридоров и рабочих помещений. Организовать пропускной режим. Ограничить возможность ввоза вывоза предметов без сопроводительных документов. Ограничить неконтролируемый доступ к опасным химическим реагентам и взрывоопасным установкам. Организовать регулярные проверки соответствия производства на соответствие текущего рода деятельности с основным предполагаемым. В случае возникновения диверсии определить источник диверсии, вывести персонал в безопасное место, вызвать спасательную, медицинскую и правоохранительную службы.

Сильные морозы и аварии на коммунальных сетях

В случае возможных морозов и аварий на коммунальных сетях должны быть предусмотрены меры по обогреву помещений(обогреватели). В ситуациях при отсутствии электроэнергии должно быть наличие бензоэлектрогенераторов и запасов топлива. А также запасов питьевой воды и пищи. Требуется транспорт на случай экстренных ситуаций. Не используйте для обогрева газовые, спиртовые горелки и другие приборы – это может привести к пожару. Примите меры к сохранению тепла и экономному расходованию имеющихся продовольственных запасов. Первая помощь при обморожении.

#### **5.10 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

1. ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация

2. ГОСТ 12.1.007-76 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности

3. ГОСТ 12.1.038-82 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов
4. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. «Гигиенические требования к ПЭВМ и организация работы».
5. ГН 2.2.5.686-98 Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Гигиенические нормативы
2. ГОСТ 12.4.154-85 “ССБТ. Устройства экранирующие для защиты от электрических полей промышленной частоты”
6. 3.ГН 2.2.5.1313-03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны
7. 5. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
8. 6. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий.
9. 7. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.
10. 9. ГОСТ Р 12.1.019-2009. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
10. ГОСТ 12.1.030-81. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление.
11. ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования.
11. ГОСТ 12.2.037-78. Техника пожарная. Требования безопасности
12. СанПиН 2.1.6.1032-01. Гигиенические требования к качеству атмосферного воздуха
13. ГОСТ 30775-2001 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Классификация, идентификация и кодирование отходов.
14. СНиП 21-01-97. Противопожарные нормы.

15. ГОСТ 12.4.154. Система стандартов безопасности труда. Устройства, экранирующие для защиты от электрических полей промышленной частоты. Общие технические требования, основные параметры и размеры

16. СНиП 23-05-95 "Естественное и искусственное освещение"

## Заключение

Методом электрохимического анодирования сформированы оксидные нанотрубки на Ti-Nb подложках с разной концентрацией Nb(5%, 25%, 50%).

Исследование морфологии, фазового и элементного состава, способности по прикреплению стволовых клеток на полученных биокompозитах проведено, используя следующие методы:

- сканирующая электронная микроскопия;
- энерго-дисперсионная рентгеновская спектроскопия;
- рентгенофазовый анализ;
- исследование клеточной адгезии;

В результате представленных исследований было определено:

1) Нанотрубки обладают однородной четко выраженной трубчатой структурой, стенки трубок гладкие. Слой нанотрубок повторяет морфологию исходной поверхности.

2) Средняя длина нанотрубок и скорость роста увеличиваются при увеличении напряжения анодирования и концентрации Nb в Ti сплавах. В то время, как значительного влияния концентрации Nb в Ti сплавах на средний диаметр нанотрубок не наблюдалось, однако, средние значения диаметров нанотрубок также увеличиваются при повышении напряжения анодирования.

3) Оксиды нанотрубок, за исключением Ti<sub>50</sub>Nb<sub>30</sub>, обладают фазой анатаза, стабильной фазой оксида титана, более подходящей для роста апатита, чем остальные типы оксидов титана.

4) Наибольшая клеточная адгезия обнаружена на образцах Ti<sub>5</sub>Nb<sub>60</sub> и Ti<sub>50</sub>Nb<sub>60</sub>. В результате анализа и сравнения с литературными данными наблюдается большее приращение клеток к нанотрубкам, сформированных на сплавах Ti-Nb по сравнению с титановыми нанотрубками.

Таким образом, композиты, состоящие из нанотрубок, сформированных на подложках из сплавов титана и ниобия, являются перспективным материалом для биомедицинских целей.

## Список публикаций студента

1. Surmeneva M. A., Surmenev R. A., Chudinova E. A., Koptioug A. V., Tkachev M., Gorodzha S. N., Rannar L. E. Fabrication of multiple-layered gradient cellular metal scaffold via electron beam melting for segmental bone reconstruction // *Materials and Design*. - 2017 - № 133. - P. 195-204.
2. Surmeneva M. A., Sharonova A. A., Chernousova S... , Primak O., Loza K., Tkachev M., Shulepov I. A., Epple M. K., Surmenev R. A. Incorporation of silver nanoparticles into magnetron-sputtered calcium phosphate layers on titanium as an antibacterial coating // *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. - 2017 – № 156. - P. 104-113.
3. Tkachev M., Melnikov E. S., Surmeneva M. A., Sharonova A. A., Surmenev R. A., Korneva O. S., Shulepov I. A., Loza K., Epple M. K. Adhesion properties of a three-layer system based on RF-magnetron sputter deposited calcium-phosphate coating and silver nanoparticles // *11th International Forum on Strategic Technology*. 2016. – № 1 - P. 88-90.
4. Ткачев М. С, Мельников Е. С, Шаронова А. А. Адгезионные свойства серебросодержащих гидроксиапатитовых покрытий // *Перспективы развития фундаментальных наук: сборник научных трудов XIII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых*. – 2016 - Т. 1. - С. 274-276.
5. Ткачев М. С, Сурменева М. А, Чудинова Е. А. Анализ механических характеристик градиентных скаффолдов, полученных методом электронно-лучевой плавки // *Перспективы развития фундаментальных наук : сборник научных трудов XIV Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых*, – 2017. — Т. 1 – С. 345-347.
6. Ткачев М. С., Сурменева М. А., Сурменев Р. А. Исследование смачиваемости гидроксиапатитовых покрытий на биodeградируемом магниевом сплаве AZ31 // *Перспективы развития фундаментальных наук: сборник научных*

трудов XIII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – 2016. — Т. 1. — С. 172-174.

7. Ткачев М. С., Сурменева М. А. Исследование физико-механических характеристик 3-Д сетчатых скэффолдов полученных методом электронно-лучевой плавки по технологии быстрого прототипирования // Высокие технологии в современной науке и технике (ВТСНТ-2016): сборник научных трудов V Международной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. – 2016. – С. 172-173.

## Список используемой литературы

1. Li L. C., Gao J. C., Wang Y. Evaluation of cyto-toxicity and corrosion behavior of alkali-heat-treated magnesium in simulated body fluid // *Surface and Coatings Technology*. – 2004. № 185. – P.92 - 98.
2. Zreiqat H., Howlett C. R., Zannettino A. Mechanisms of magnesium-stimulated adhesion of osteoblastic cells to commonly used orthopaedic implants // *Journal of Biomedical Materials Research*. – 2002. №62. – P.175–184.
3. Лучинский Г. П. Химия титана. – М.: Изд-во «Химия», 1971. – 470 с.
4. Simons P. Y., Dachille F. The structure of  $\text{TiO}_2$  II, a high-pressure phase of  $\text{TiO}_2$  // *Acta Crystallographica*. – 1967. – №2. – P. 334-336.
5. Latroche M., Brohan L., Marchand R., Tournoux M. New hollandite oxides:  $\text{TiO}_2(\text{H})$  and  $\text{K}_{0.06}\text{TiO}_2$  // *Journal Solid State Chemistry*. – 1989. – №81. – P. 78-82.
6. Kandiel T. A., Robben L., Alkaimad A., Bahnemann D. Brookite versus anatase  $\text{TiO}_2$  photocatalysts: phase transformations and photocatalytic activities // *Photochemical and Photobiological Sciences*. – 2013. – №4. – P. 602-609
7. Song Y. Theoretical study of the effects of alloying elements on the strength and modulus of  $\beta$ -type bio-titanium alloys // *Materials Science and Engineering*. – 1999. – №. 1. – P. 269-274.
8. Lee M. H. Effect of biomaterial surface properties on fibronectin– $\alpha_5\beta_1$  integrin interaction and cellular attachment // *Biomaterials*. – 2006. – №. 9. – P. 1907-1916.
9. Saito T., Furuta T., Hwang J.H., Kuramoto S. Multifunctional alloys obtained via a dislocation-free plastic deformation mechanism // *Science*. – 2003. – №. 5618. – P. 464-467.
10. Abdel-Hady M., Hinoshita K., Morinaga M. General approach to phase stability and elastic properties of  $\beta$ -type Ti-alloys using electronic parameters // *Scripta Materialia*. – 2006. – №. 5. – P. 477-480.

11. Lee C. M. Structure and properties of titanium–25 niobium–x iron alloys //Journal of Materials Science: Materials in Medicine. – 2002. –№. 7. – P. 695-700.
12. Ning C. The effect of Zr content on the microstructure, mechanical properties and cell attachment of Ti–35Nb–xZr alloys //Biomedical Materials. – 2010. –№. 4. – P. 6-45.
13. Lee C. M., Ju C. P., Chern Lin J. H. Structure–property relationship of cast Ti–Nb alloys //Journal of Oral Rehabilitation. – 2002. –№. 4. – P. 314-322.
14. Collings E. W., Welsch G., Boyer R. Materials properties handbook: titanium alloys //ASM International. – 1994. – №. 1 –P.342-528.
15. Ning C. The effect of Zr content on the microstructure, mechanical properties and cell attachment of Ti–35Nb–xZr alloys //Biomedical Materials. – 2010. –№. 4. – P. 245-256.
16. Popat K. C. Titania Nanotubes: A Novel Platform for Drug-Eluting Coatings for Medical Implants //Small. – 2007. – №. 11. – P. 1878-1881.
17. Brammer K. S., Frandsen C. J., Jin S. TiO<sub>2</sub> nanotubes for bone regeneration //Trends in biotechnology. – 2012. –№. 6. – P. 315-322.
18. Петухов Д. И., Колесник И. В., Елисеев А. А., Лукашин А. Б., Третьяков Ю. Д. Синтез и исследование свойств пленок пористого TiO<sub>2</sub>, полученных анодным окислением // Альтернативная энергетика и экология. – 2007. – Т1. – С. 65-69.
19. Mor G.K., Varghese O.K., Paulose M., Mukherjee N., Grimes C.A. Fabrication of tapered, conical-shaped titania nanotubes // Journal of Materials Research. – 2003. – №18. – P. 2588-2593.
20. Колесник И.В. Мезопористые материалы на основе диоксида титана. дисс... канд. хим. наук. Москва, 2010. – 155 с.
21. Chen S.G., Paulose M., Ruan C., Mor G.K., Varghese O.K., Kouzoudis D., Grimes C.A. Electrochemically synthesized CdS nanoparticle-modified TiO<sub>2</sub> nanotubearray photoelectrodes: preparation, characterization, and application to photoelectrochemical cells // Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry. – 2006. – №177. – P. 177-184.

22. Paulose M., Shankar K., Yoriya S., Prakasam H. E., Varghese O. K., Mor G. K., Latempa T. A., Fitzgerald A., Grimes C. A. Anodic Growth of Highly Ordered TiO<sub>2</sub> Nanotube Arrays to 134  $\mu\text{m}$  in Length // *The Journal of Physical Chemistry B*. – 2006. – №33. – P. 16179-16184.
23. Гусев А. И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. — М.: Физматлит, 2007. — 416 с.
24. Mackenzie J. K., Shuttleworth R. A. phenomenological theory of sintering // *Proceedings of the Physical Society. Section B*. – 1949. №. 12. – P. 833.
25. De La Rosa-fox N., Esquivias L., Piñero M. Organic-inorganic hybrid materials from sonogels // *Handbook of organic-inorganic hybrid materials and nanocomposites*. – 2003. – №. 1. – P. 241-270.
26. Кубракова И. В. Микроволновый синтез, свойства и аналитические возможности наноразмерных сорбционных материалов на основе магнетита // *Журнал аналитической химии*. – 2014. – Т. 69. – №. 4. – С. 378-378.
27. Wu X. Synthesis of titania nanotubes by microwave irradiation // *Solid State Communications*. – 2005. – №. 9-10. – P. 513-517.
28. Asatekin A. Designing polymer surfaces via vapor deposition // *materials today*. – 2010. – №. 5. – P. 26-33.
29. Stassen I., Styles, M., Greci G. Chemical vapour deposition of zeolitic imidazolate framework thin films // *Nature materials*. – 2016. – №. 3. – P. 304.
30. Мальчихина А. И. Сравнительный анализ методов формирования биосовместимых кальций-фосфатных покрытий на изделиях для хирургии // Сборник докладов: «VII Международной научно-практической конференции «Научное сообщество студентов XXI столетия. Технические науки» — 2012. — С109
31. Cook S.S.D., Thomas K.A., Jarcho M. Hydroxyapatite-coated porous titanium for use as an orthopedic biological attachment system. // *Clin.Orthop.* — 1988 — № 230. — P. 303—312.
32. Лясникова А. В. Комплексные исследования физико- химических и медико-биологических свойств антимикробных биокomпозиционных покрытий

дентальных имплантатов //Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2010. – Т. 1. – №. 1 — С.44.

33. Epple M., Surmenev R. A. Bioactive surfaces for hard tissue regeneration //RSC Advances. – 2013. – Т. 3. – №. 28. – P. 11057-11057.

34. Crawford G. A. Microstructure and deformation behavior of biocompatible TiO<sub>2</sub> nanotubes on titanium substrate //Acta Biomaterialia. – 2007. – №. 3. – P. 359-367.

35. Weng Y. Immobilization of selenocystamine on TiO<sub>2</sub> surfaces for in situ catalytic generation of nitric oxide and potential application in intravascular stents // Biomaterials. – 2011. – № 5. – P. 1253–1263.

36. Biomimetic and electrodeposited calcium-phosphates coatings on Ti-formation, surface characterization, biological response / *Pisarek M.* – Biomedical engineering-technical applications in medicine, 2012.-44p.

37. Modeling macrosegregation during the Vacuum Arc Remelting of Ti-10v-2Fe-3Al alloy. / *Zagrebelnyy D. V.* –Purdue University publishing, 2006 – 126p.

38. Principles and practice of variable pressure: environmental scanning electron microscopy / *Stokes D.* – John Wiley & Sons, 2008. –128p.

39. McMullan D. Scanning electron microscopy //Scanning. – 1995. – №. 3. – P. 175-185.

40. Burgess S., Li X., Holland J. High spatial resolution energy dispersive X-ray spectrometry in the SEM and the detection of light elements including lithium //Microscopy and Analysis. – 2013. – №. 27. – P. 8-12.

41. Jones N. Crystallography: Atomic secrets. //Scanning. – 202 – №. 5. – P. 225-285.

42. Ghicov A. TiO<sub>2</sub>-Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> nanotubes with electrochemically tunable morphologies //Angewandte Chemie International Edition. – 2006. –№. 42. – P. 993-996.

43. Macak J. M. Self-organized nanotubular oxide layers on Ti-6Al-7Nb and Ti-6Al-4V formed by anodization in NH<sub>4</sub>F solutions //Journal of Biomedical Materials Research Part A. – 2005. –№. 4. – P. 928-933.

44. Albu S. P. 250  $\mu\text{m}$  long anodic  $\text{TiO}_2$  nanotubes with hexagonal self-ordering // *physica status solidi (RRL)-Rapid Research Letters*. – 2007. – №. 2. – P.105-109.
45. Chernozem R. V., Surmeneva M. A., Surmenev R. A. Influence of anodization time and voltage on the parameters of  $\text{TiO}_2$  nanotubes // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2016. – №. 1. – P. 12-25.
46. Carp O., Huisman C.L., Reller A. Photoinduced reactivity of titanium dioxide // *Progress in Solid State Chemistry*. – 2004. – №.32. – P. 33-177.
47. Reddy B. M., Ganesh I., Reddy V. R. Influence of  $\text{V}_2\text{O}_5$  and  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  on thermal stability of  $\text{TiO}_2$ -anatase // *Journal of materials science letters*. – 1998. – №. 22. – P. 1913-1915.
48. Park J. Nanosize and vitality:  $\text{TiO}_2$  nanotube diameter directs cell fate // *Nano letters*. – 2007. – №. 6. – P. 1686-1691.
49. Bauer S. Improved attachment of mesenchymal stem cells on superhydrophobic  $\text{TiO}_2$  nanotubes // *Acta biomaterialia*. – 2008. – №. 5. – P. 1576-1582.
50. Park J.  $\text{TiO}_2$  nanotube surfaces: 15 nm—an optimal length scale of surface topography for cell adhesion and differentiation // *Small*. – 2009. – T. 5. – №. 6. – P. 666-671.