



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

Инженерная школа ядерных технологий
Направление подготовки – 14.03.02 Ядерная физика и технологии
Научно-образовательный центр Б.П. Вейнберга

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

Тема работы
Исследование зависимости температуры атмосферы реактивного магнетронного разряда от состава газовой смеси, контролируемого оптической эмиссионной спектроскопией

УДК 621.793.7:621.385.64

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0A95	Гавриленко Александр Вячеславович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ОЕН ШБИП ТПУ	Конищев М.Е.			

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОСГН	Гасанов М.А.	д.экон.наук		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ	Передерин Ю.В.	к.т.н		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ОЯТЦ	Селиваникова Ольга Валерьевна			

Компетенции выпускников ООП «Ядерные физика и технологии» по направлению
14.03.02 Ядерные физика и технологии,
специализация «Пучковые и плазменные технологии»
(2019 года приёма)

Код компетенции	Наименование компетенции
УК(У)-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
УК(У)-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
УК(У)-3	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
УК(У)-4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(-ых) языке(-ах)
УК(У)-5	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах
УК(У)-6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
УК(У)-7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
УК(У)-8	Способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций
УК(У)-9	Способен проявлять предприимчивость в профессиональной деятельности, в т.ч. в рамках разработки коммерчески перспективного продукта на основе научно-технической идеи
ОПК(У)-1	Способен использовать базовые знания естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования
ОПК(У)-2	Способен осуществлять поиск, хранение, обработку и анализ информации из различных источников и баз данных, предоставлять ее в требуемом формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий
ОПК(У)-3	Способен использовать в профессиональной деятельности современные информационные системы, анализировать возникающие при этом опасности и угрозы, соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны

Код компетенции	Наименование компетенции
ПК(У)-1	Готов принимать участие в теоретических исследованиях в различных областях физики, связанных с современными высокотехнологическими способами энергетического воздействия на материалы, основанными на использовании радиационных и плазменных потоков, разрабатывать адекватные физические и математические модели изучаемых процессов
ПК(У)-2	Способен участвовать в экспериментальных исследованиях в различных областях физики, связанных с воздействием плазмы и пучков заряженных частиц на вещество, 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.
ПК(У)-3	Способен осуществлять самостоятельный поиск, изучение и использование научно-технической информации по тематике исследования, применять современные компьютерные технологии и информационные ресурсы в своей предметной области
ПК(У)-4	Способен проектировать плазменно-пучковые технологические процессы и оборудование для применения в научных исследованиях и промышленности
ПК(У)-5	Готов к участию в производственно-технологической деятельности, связанной с применением плазменных и пучковых технологий для обработки материалов и синтеза новых материалов (в том числе нанесению функциональных покрытий), определению основных параметров технологических процессов, анализу физических и механических свойств изделий и материалов.
ПК(У)-6	Способен применять современные цифровые технологии и пакеты прикладных программ для расчета технологических параметров, обосновывать принятие конкретного технического решения при разработке технологических процессов.
ПК(У)-7	Способен к контролю за соблюдением технологической дисциплины и обслуживанию технологического оборудования.



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

Инженерная школа ядерных технологий
Направление подготовки – 14.03.02 Ядерная физика и технологии
Научно-образовательный центр Б.П. Вейнберга

УТВЕРЖДАЮ:

Старший преподаватель ОЯТЦ

03.10.2022 г. Селиваникова О.В.

(Подпись)

(Дата)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

Обучающийся:

Группа	ФИО
0A95	Гавриленко Александр Вячеславович

Тема работы:

Исследование зависимости температуры атмосферы реактивного магнетронного разряда от состава газовой смеси, контролируемого оптической эмиссионной спектроскопией	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№34-109/с от 03.02.2023 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:	15.06.2023 г.
--	---------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе (наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</p>	<p>Исследование параметров работы реактивной магнетронной распылительной системы для нанесения покрытий на основе титана, а именно диоксида и нитрида титана. УВН-200МИ, TiOH-2M, термopара, оптический спектрометр AvaSpec-3648, измеритель-регулятор микропроцессорный духканальный 2TRM1, Вакуумметр ионизационно-термопарный ВИТ-3.</p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов (аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</p>	<p>Обзор литературных источников, реактивное магнетронное распыление, импульсный биполярный источник питания, термopара. Исследовать гистерезис процесса, провести исследование температур, проанализировать полученные оптические спектры. Верификация метода оценки температуры из соотношения расхода газа и давления.</p>

<p>Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Титульный лист. 2. Актуальность. 3. Свойства TiN и TiO₂. 4. Цель работы и задачи. 5. Гистерезис при реактивном распылении. 6. Используемое оборудование. 7. Методика эксперимента для гистерезиса. 8. Гистерезисные кривые при нанесении диоксида и нитрида титана. 9. Методика эксперимента по измерению температуры. 10. Температура в зоне плазмы. 11. Температура в зоне подложкодержателя и давление. 12. Верификация метода оценки температуры из соотношения расхода газа и давления. 13. Анализ оптических спектров. 14. Заключение.
--	---

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Гасанов М.А., д.экон.наук, профессор отделения социально-гуманитарных наук
Социальная ответственность	Передерин Ю.В., к.т.н., доцент отделения ядерно-топливного цикла

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	03.10.2022 г.
---	---------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ОЕН ШБИП ТПУ	Конищев Максим Евгеньевич			03.10.2022 г.

Задание принял к исполнению обучающийся:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0A95	Гавриленко Александр Вячеславович		03.10.2022 г.

Реферат

Выпускная квалификационная работа: 98 страниц, 27 рисунков, 23 таблицы, 28 источников.

Ключевые слова: гистерезис, реактивное магнетронное распыление, TiO и TiN покрытие, УВН-200МИ, TiOH-2M, температура плазмы, температура атмосферы вакуумной камеры, оценка температуры из соотношения расхода газа и давления.

Объектом исследования является: процесс распыления титановой мишени в реактивной среде азота и кислорода.

Цель работы: исследование параметров работы реактивной магнетронной распылительной системы для нанесения покрытий на основе титана, а именно диоксида и нитрида титана.

В процессе исследования проводились: эксперименты по исследованию зависимости температуры плазмы и температуры атмосферы вакуумной камеры в зоне подложкодержателя от состава газовой смеси. Исследовались кривые гистерезиса реактивного магнетронного разряда при напуске кислорода и азота отдельно.

В результате исследования: было получено 6 кривых гистерезиса для реактивного магнетронного разряда, получена зависимость температуры плазмы от состава газовой смеси, получена зависимость температуры атмосферы вакуумной камеры в зоне подложкодержателя от напускаемого газа. Было получено 10 оптических спектров, 2 на каждый газ и смесь газов, в начале эксперимента и в конце. Был верифицирован метод оценки температуры из соотношения расхода газа и давления.

Экономическая эффективность работы: данная работа экономически эффективна, поскольку поможет в дальнейшем смоделировать процесс реактивного магнетронного распыления, что в свою очередь снизит количество калибровочных экспериментов.

Содержание

Введение	9
Глава 1. Литературный обзор	11
1.1 Методы получения тонких металлических покрытий	11
1.2 Импульсный биполярный источник питания магнетронной распылительной системы	14
1.3 Метод реактивного магнетронного распыления	17
1.4 Применение, полезные и уникальные свойства рассматриваемых химических соединений	21
1.5 Термопара	23
Глава 2. Материалы и методы исследования	25
Глава 3. Экспериментальная часть	29
3.1 Исследование гистерезиса реактивного магнетронного распыления нитрида и диоксида титана	29
3.1.1 Кислород	29
3.1.2 Азот	32
3.2 Исследование зависимости температуры плазмы и атмосферы вакуумной камеры от состава газовой смеси	36
3.3 Верификация метода оценки температуры из соотношения расхода газа и давления	41
3.4 Анализ оптических спектров	43
3.4.1 Аргон и азот	43
3.4.2 Аргон и кислород	44
3.4.3 Газовая смесь 1:1 N:O	45
3.4.4 Газовая смесь 2:1 N:O	46
3.4.5 Газовая смесь 3:1 N:O	47
Глава 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	50
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	51
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	51
4.1.2 Анализ конкурентных технических решений	51
4.1.3 SWOT-анализ	52
4.2 Планирование научно-исследовательских работ	56
4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования	56
4.2.2 Определение трудоёмкости выполнения работ	57
4.2.3 Разработка графика проведения научного исследования	57

4.3 Бюджет научно-технического исследования	61
4.3.1 Расчёт материальных затрат	61
4.3.2 Расчёт затрат на специальное оборудование для научных работ	62
4.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы.....	63
4.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы.....	65
4.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	65
4.3.6 Накладные расходы	66
4.3.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.....	66
4.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	67
4.5 Вывод по разделу ”Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение”	71
Глава 5. Социальная ответственность	74
5.1 Правовые вопросы обеспечения безопасности	74
5.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства.....	74
5.1.2 Организация рабочей зоны исследователя.....	74
5.2 Производственная безопасность	77
5.2.1 Опасные и вредные производственные факторы.....	78
5.3 Пожаровзрывоопасность.....	88
5.4 Снижение воздействие опасных и вредных факторов	90
5.5 Безопасность в аварийных и чрезвычайных ситуациях	91
5.6 Заключение по разделу ”Социальная ответственность”	93
Заключение.....	94
Список источников.....	96

Введение

В настоящее время системы магнетронного распыления становятся перспективными источниками для осаждения тонких плёнок, из-за своей простоты и высокой скорости осаждения, но для получения тонких плёнок из химических соединений используется реактивное магнетронное распыление. Реактивное магнетронное распыление сложнее в контроле процесса осаждения из-за обширных физико-химических процессов, протекающих в процессе напыления. Для необходимых характеристик нанесённой тонкой плёнки необходим строгий контроль процесса осаждения, одними из ключевых параметров работы процесса являются гистерезис и температура плазмы [1]. Изучение всех параметров работы процесса и моделирование их позволит упростить процесс получения готовых изделий за счёт избегания большого количества калибровочных экспериментов, необходимых для выбора оптимального режима реактивного магнетронного напыления покрытий. Моделирование процессов, происходящих при распылении в реактивной среде, позволяет установить взаимосвязь между внешними и внутренними параметрами процесса и определить состояние мишени и стехиометрию наносимых слоев при любом потоке реактивного газа. Данная работа посвящена исследованию гистерезиса процесса при распылении оксида и нитрида титана, зависимости температуры атмосферы реактивного магнетронного разряда в реактивной среде от газовой смеси, что в дальнейшем позволит моделировать процесс для реактивного напыления оксида и нитрида титана.

Цель научной работы – исследование параметров работы реактивной магнетронной распылительной системы для нанесения реактивных магнетронных покрытий на основе оксидов и нитридов титана.

В соответствии с этой целью были поставлены следующие задачи:

1. Определение характерных кривых гистерезиса реактивного магнетронного процесса распыления для оксидов и нитридов титана, с последующим анализом полученных результатов;

2. Исследование зависимости температуры атмосферы и плазмы от различного соотношения и состава газов;

3. Контроль и анализ атмосферы разряда с помощью оптического эмиссионного метода при измерении температуры атмосферы;

4. Сравнение двух методов оценки температуры среды вакуумной камеры, оценка с помощью размещения термопары и из соотношения расхода газа и давления.

Теоретическая значимость работы:

Полученные результаты позволят в дальнейшем составить общую модель процесса реактивного магнетронного напыления покрытий из оксида и нитрида титана. Общая модель процесса напыления способна сократить калибровочные эксперименты и успешно контролировать сам процесс, что значительно упростит весь процесс напыления.

Глава 1. Литературный обзор

1.1 Методы получения тонких металлических покрытий

Технология нанесения высококачественных тонких плёнок и покрытий на разнообразные изделия чрезвычайно важна для электроники, оптики, машиностроения и других отраслей техники, включая автомобилестроение и строительство зданий.

Существует множество методов нанесения тонких плёнок и покрытий, которые часто основаны на использовании жидких сред и термических процессов при давлении газов. Однако в технологии плёнок и покрытий особое место занимают методы физического осаждения в вакууме (PVD – physical vapour deposition). В PVD технологии вакуум понимается как разреженное состояние газовой среды в технологической камере, при давлении не более 10 Па. Использование PVD методов позволяет получать воспроизводимые результаты без привнесения значительных загрязнений. Эта технология также позволяет напылять материалы сложного состава с практически любой структурой. Её преимущества включают повышенную адгезию наносимых слоёв к подложке, стойкость к механическим воздействиям и коррозии, а также экологическую безопасность и отсутствие проблем с утилизацией токсичных отходов. Ввиду этих плюсов, PVD технологии рассматриваются как одно из наиболее эффективных и перспективных средств нанесения покрытий и плёнок. [1].

До периода середины 1970-х годов, технология нанесения тонких слоев на поверхность в вакууме проводилась, в основном, с помощью метода термического испарения исходного материала. В свою очередь, ионное (катодное) распыление, используемое при помощи газоразрядных диодных и триодных систем, носило второстепенный характер, из-за его низкой производительности. Кроме того, плёнки, получаемые катодным распылением в аномальном тлеющем разряде при относительно большом давлении, имели

высокий уровень газовых примесей. Следовательно, такой метод применялся главным образом для нанесения тонких плёнок из тугоплавких материалов.

Однако, после появления промышленных магнетронных распылительных систем (МРС), ситуация в технологии тонких плёнок коренным образом изменилась. При использовании этих систем, в которых используется пересечение электрических и магнитных полей, значительно увеличилась эффективность ионизации газа, плотность плазмы стала на порядки больше, чем в немагнитных системах катодного распыления. Кроме того, в результате использования МРС, плотность ионного тока на катоде и скорость ионного распыления значительно возросли, давление рабочего газа стало меньше, а многие характеристики наносимых слоев улучшились.

Эта технология скоро заняла лидирующее положение в технологии тонкослойных покрытий из различных материалов для микроэлектроники, устройств записи информации и дисплеев. Далее будет представлено схематичное изображение магнетрона (рис. 1):

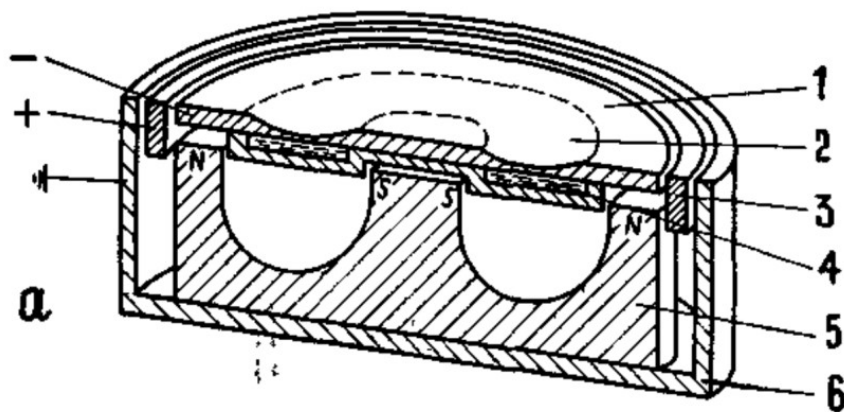


Рисунок 1 – Схема магнетрона, где 1 – мишень, 2 – зона эрозии, 3 – анод, 4 – водоохлаждаемый корпус катода, 5 – магнитная система, 6 – заземленный экран [2].

Во многих случаях тонкие плёнки, наносимые с помощью МРС, обеспечивают выполнение тех же функций, что и более толстые слои, получаемые другими методами, поэтому магнетронное распыление всё чаще

используется для нанесения упрочняющих, износоустойчивых, защитных, декоративных и других видов покрытий на разнообразную основу.

Важной особенностью магнетронного распыления является отсутствие в потоке осаждаемого на подложке вещества капельной фазы и микрочастиц в отличие от термического испарения с использованием вакуумно-дугового и электронно-лучевого нагрева [3].

1.2 Импульсный биполярный источник питания магнетронной распылительной системы

Импульсные МРС – это следующий этап развития магнетронных распылительных систем, который позволяет решать проблемы, возникающие при использовании обычных МРС. Они работают за счет подачи на мишень-катод импульсного прямоугольного или синусоидального напряжения в среднечастотном диапазоне 10-1000 кГц.

Этот режим работы позволяет значительно увеличить плотность разрядного тока (до 10 А/см²) и импульсную мощность разряда до нескольких мегаватт. В результате степень ионизации вещества увеличивается до 30-90%. Кроме того, тепловая нагрузка на мишень и подложку снижается за счет увеличения скважности импульсов (у неполярных или биполярных).

Мишени для импульсных магнетронных распылительных систем производятся из проводящих материалов, и, поэтому, конструктивно они не отличаются от магнетронов, работающих на постоянном токе.

Электрическое питание импульсных МРС осуществляется униполярными импульсами отрицательной полярности или асимметричными биполярными. Отрицательная часть импульсов обеспечивает зажигание и поддержание разряда, а положительная – осуществляет разрядку диэлектрических слоев на мишени, что предотвращает дуговой пробой.

Импульсные МРС являются новым эффективным средством получения тонких покрытий из различных материалов, благодаря своим мощным ионизационным свойствам, они широко используются при создании различной электронной техники. Далее будет представлено изображение с графиками двух видов импульсного питания МРС (рис. 2):

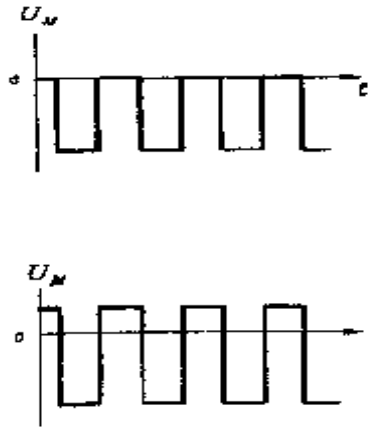


Рисунок 2 – Униполярные (вверху) и асимметричные биполярные (внизу) импульсы для питания МРС с одним магнетроном [4]

Импульсный режим – это метод работы, в котором разряды создаются через равные промежутки времени. Этот метод достигается путём использования последовательностей униполярных и биполярных импульсов. Частота повторения импульсов обычно составляет от десятков до сотен килогерц, а длительность импульсов – единицы-десятки микросекунд. Процесс работы такой системы питания можно разделить на три периода: стартовый, квазистационарный и послеразрядный.

В стартовом периоде формируется разряд при помощи нарастания разрядного тока до достижения некоторого равновесного значения, зависящего от параметров цепи питания. Если пауза между импульсами велика, то концентрация заряженных остаточных частиц в разрядном промежутке резко уменьшается. Это означает, что при такой паузе формирование расплывающегося импульсного разряда происходит каждый раз заново со временем запаздывания порядка десятков микросекунд и большим разбросом. Также это приводит к флуктуациям длительности импульсов разрядного тока и даже их пропускам.

Для минимизации времени запаздывания и его разброса используется слабосточный подготовительный разряд, создающий некоторую начальную концентрацию заряженных частиц. Повышение частоты повторения импульсов и уменьшение длительности токовой паузы приводят к возрастанию остаточной

концентрации заряженных частиц и снижению времени запаздывания, так что при паузе менее 20-50 мкс отсутствует надобность в подготовительном разряде. Подобное условие автоматически выполняется при использовании биполярных импульсов.

Распыление мишени происходит обычно в квазистационарном периоде, который наступает, когда равновесное напряжение устанавливается на распыляющем разряде. Это напряжение очень близко к тому, какое было бы при разряде постоянного тока и зависит от различных факторов, таких как давление газа, конструкция, материал мишени и магнитное поле. Обычно разрядное напряжение не имеет сильной зависимости от тока, но это справедливо только для прямоугольных импульсов напряжения и тока с длительностью порядка 100 микросекунд и более.

После наступления квазистационарного периода начинается распыление мишени. Когда биполярные импульсы используются в этом процессе, деионизация остаточной плазмы магнетронного разряда происходит в положительном полупериоде, когда напряжения на магнетроне недостаточно для поддержания ионизационных процессов. Однако наличие данного напряжения не мешает рекомбинации заряженных частиц на мишени и других поверхностях.

Надо отметить, что реальные формы импульсов напряжения и тока магнетронов имеют сложную форму, которая только напоминает прямоугольную [4].

Таким образом, понимание процессов, которые происходят в магнетронном разряде, может помочь придумать способ улучшения данной технологии, к примеру, изменение конструкции магнетрона и системы питания, может улучшить эффективность процесса распыления.

1.3 Метод реактивного магнетронного распыления

Следующим этапом развития МРС стал способ реактивного магнетронного распыления (РМР).

Реактивное распыление – это один из способов создания тонких пленок на поверхности различных объектов. Он основан на использовании ионного распыления металлической мишени в среде, содержащей реактивные газы, которые вступают в химическую реакцию с материалом мишени. Реактивные газы играют важную роль в процессе формирования пленок, так как позволяют создавать химические соединения на поверхности объектов.

Также кроме реактивных газов, среда содержит и рабочий газ, который не реагирует с материалом мишени. Обычно это инертный газ, в большинстве случаев – аргон. Использование магнетронных распылительных систем является наиболее распространенным для проведения реактивных процессов нанесения тонких пленок.

Техника реактивного магнетронного распыления на сегодняшний день достаточно хорошо исследована и усовершенствована. Это позволяет применять её без применения высоких навыков со стороны технолога и разработчика нанесения пленок. При этом большинство недостатков процесса РМР были устранены, достигнув параметров, требуемых в реактивном разряде. Современная электроника позволяет создавать источники питания магнетронов с необходимыми параметрами.

Тонкие пленки растут на поверхности объектов в результате распыления материала мишени магнетрона. При реактивном распылении происходит химическая реакция с реактивными газами на поверхности объектов, что образует тонкую плёнку из химических соединений. Однако эта реакция не всегда происходит только на поверхности объектов. Она может происходить и на поверхности мишени и анодов магнетрона, что в свою очередь создаёт проблемы устойчивости реактивного распыления. Этих проблем в основном две: первая - снижение скорости распыления мишени и вторая - появление

электрических пробоев на поверхности мишени и анода, если образующееся химическое соединение представляет собой диэлектрик.

Химическое соединение, образующееся на поверхности мишени, обычно имеет значительно меньший коэффициент распыления, чем у исходного материала мишени. Поэтому при постоянной мощности разряда по мере добавления реактивного газа в камеру, когда мишень покрывается слоем соединения, скорость распыления мишени падает. Разница скорости распыления чистой мишени и полностью покрытой слоем химического соединения зависит от используемого материала и реактивного газа. По мере добавления реактивного газа в камеру получаемая в реактивном процессе плёнка на подложке растёт медленнее. Следовательно, она поглощает меньше реактивного газа и его давление в камере возрастает, это увеличивает скорость образования химического соединения на мишени. В результате при некоторой критической величине потока реактивного газа в камеру образуется резкий, лавинный переход от почти чистой поверхности мишени к поверхности, полностью покрытой соединением. Этот переход сопровождается резким изменением остальных параметров процесса, для визуального представления ниже будет представлена гистерезисная кривая для TiO_x (рис. 3).

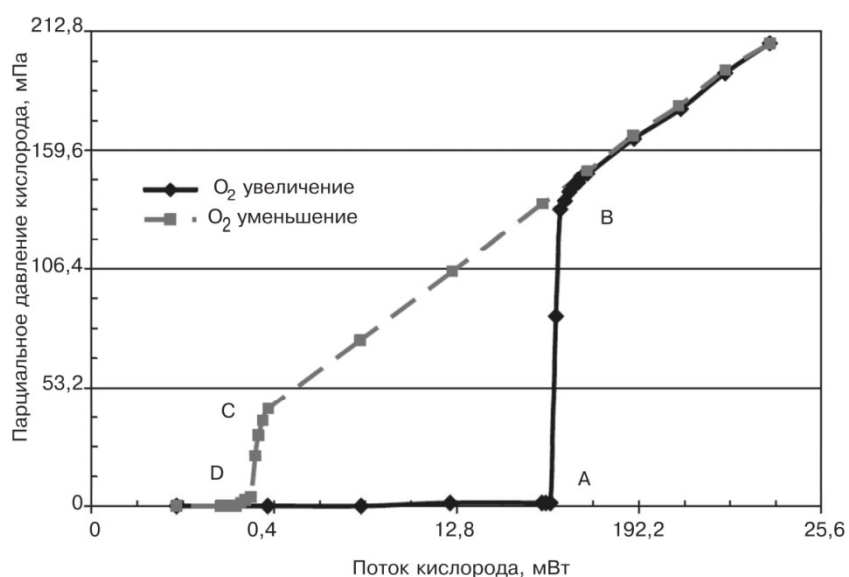


Рисунок 3 – Гистерезисная кривая процесса реактивного нанесения пленок TiO_x при контроле процесса по потоку реактивного газа. Мощность

разряда — 1,0 кВт, давление аргона — 0,4 Па. Был использован биполярный импульсный источник питания с частотой 100 кГц и длительностью реверсного импульса 2,0 мкс [5]

На рис. 3 изображён такой переход при распылении титановой мишени в смеси аргона и различного количества кислорода. При постоянной мощности разряда добавление реактивного газа в камеру сначала оставляет давление в камере очень низким. Оно остаётся низким, поскольку образующаяся плёнка поглощает практически весь поступающий поток кислорода. Однако при достижении точки А происходит описанный выше резкий переход, сопровождаемый резким возрастанием давления в камере. После достижения точки В дальнейшее увеличение потока кислорода будет влиять на давление в камере таким образом, что основным фактором увеличения давления будет скорость откачки камеры вакуумным насосом, больше газа – выше давление. Таким образом до точки D мишень практически свободна от слоя химического соединения, а после точки В поверхность мишени полностью покрыта слоем химического соединения.

Когда же поток кислорода уменьшается от точки В давление не возвращается в изначальной низкой величине. Вместо этого давление остаётся достаточно высоким и медленно понижается при дальнейшем понижении подачи кислорода. В определённый момент уменьшения подачи реактивного газа начинается очистка поверхности мишени от слоя окисла и появляется свободная от окисла часть поверхности. Чистый материал обладает более высоким коэффициентом распыления материала, скорость распыления мишени увеличивается, это сопровождается увеличением поглощения реактивного газа плёнкой и давление в камере начинает дополнительно уменьшаться. Резкое падение давления при достижении точки С связано с полным очищением мишени от химического соединения.

Режим работы между переходным режимом и режимом травления – лавинное увеличение давления в петле гистерезиса, является наиболее

привлекательным, так как в этом режиме реализуются наибольшие скорости нанесения стехиометрических плёнок. Однако попытки работать в данном режиме с контролем напуска потока кислорода между его критическими величинами практически невозможны, так как любые даже малые изменения условий процесса приводят к быстрому покрытию поверхности мишени сплошным слоем химического соединения и переходом в зону травления.

Таким образом, в реактивном магнетронном процессе распыления всегда имеют место два устойчивых состояния разряда, определяемых состоянием поверхности мишени: полностью покрытой слоем химического соединения и свободной от него. Если реактивный процесс управляется регулировкой потока реактивного газа, то переход между устойчивыми состояниями разряда при критических величинах потока реактивного газа может происходить лавинообразно, делая невозможным воспроизведение переходных (промежуточных) режимов [5].

1.4 Применение, полезные и уникальные свойства рассматриваемых химических соединений

Тонкие плёнки на основе титана обладают множеством полезных свойств, из-за которых имеют некоторую популярность в применении в таких сферах как: медицина, электроника, промышленная отрасль. С помощью диоксида титана делают тонкоплёночные диэлектрики, фильтры для очистки воды и воздуха из-за эффекта фотокатализа. Также очень эффективно показали себя тонкие плёнки диоксида и оксинитрида титана в модифицировании поверхности различных медицинских имплантатов из-за высокой биосовместимости. В работе [6] посвящённой исследованию структуры, элементарного и фазового состава тонких плёнок из диоксида и оксинитрида титана поднимается тема использования данных тонких плёнок в медицине. Одно из критичных свойств тонких плёнок для биосовместимости с кровью является свойство смачиваемости поверхности. Сильно гидрофобные поверхности поглощают больше белков из плазмы крови и индуцируют значительные структурные изменения адсорбированных протеинов. В то же время способность гидрофильных покрытий препятствовать отложению протеинов может стать препятствием для клеточной колонизации. Также в данной работе была исследована зависимость свойств полученных тонких плёнок от подачи напряжения смещения на подложку, в одном эксперименте напыляли на заземлённую подложку, а в другом – на подложку с напряжением смещения. В результате выяснилось, что при подачи напряжения смещения на подложку, толщина плёнки становится меньше, в данной работе на 27-30%, нанотвёрдость покрытий выше, в данной работе на 10-48%, а также полученные покрытия менее гидрофобны, чем при заземлённой подложке. Данные результаты свидетельствуют о том, что свойства тонких плёнок оксинитрида титана также зависят и от режима работы магнетронной распылительной системы, следовательно, в зависимости от поставленной задачи, можно

корректировать необходимые свойства, изменять нанотвёрдость, гидрофобность, размер зерна, шероховатость и другие свойства.

1.5 Термопара

Термопара – это термоэлектрический датчик, который изготавливается из двух различных металлов, скрепленных между собой при помощи сварки. Этот прибор широко используется для измерения температуры и характеризуется отличной точностью, скоростью реакции и простотой эксплуатации. Механизм работы термопары основан на явлении термоэлектрической ЭДС.

Конструктивно, термопара представляет собой два провода различной металлической природы, которые к своим концам соединены в месте контакта. Один конец термопары помещается в рабочую среду, а второй конец измеряется при помощи измерительного прибора. При изменении температуры в рабочей среде в месте контакта термопары формируется разность потенциалов, называемая термо-ЭДС. Термо-ЭДС зависит от различных физических параметров материалов, используемых при изготовлении термопары, а также от температуры.

При возникновении термо-ЭДС образуется термический ток, который протекает через термопару. Этот термический ток зависит от температуры в рабочей среде и свойств материалов термопары.

Измерительный прибор, подключенный к не нагреваемому концу термопары, может преобразовывать термо-ЭДС в температурный показатель. Датчик принимает напряжение, создаваемое термопарой, и преобразует его в температуру. Таким образом, путем измерения напряжения термо-ЭДС, измерительный прибор может определить значение температуры в рабочей среде.

Термопары широко применяются в различных областях науки и техники, таких как металлургия, химия, электроника, пищевая промышленность и медицина. Благодаря их уникальным свойствам, таким как высокая точность, быстроедействие и надёжность, они являются неотъемлемыми элементами для контроля температуры во многих процессах и

обеспечивают адекватный контроль параметров в широком диапазоне температур [7]. Пример выработки термо-ЭДС приведён на рисунке 4:

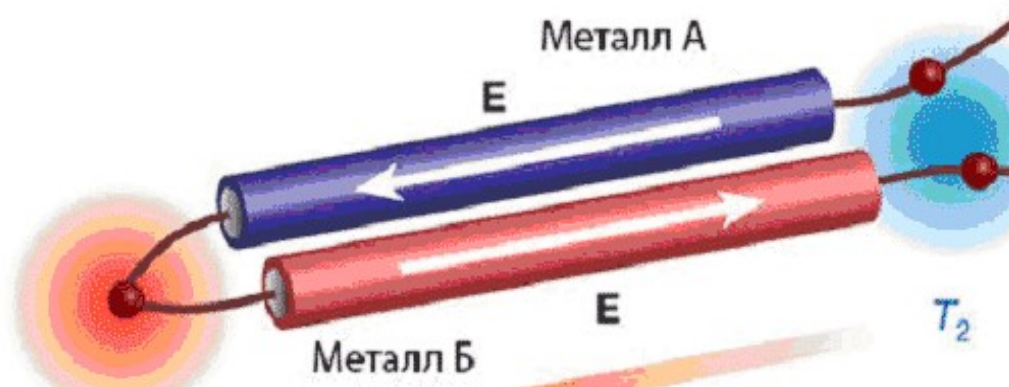


Рисунок 4 – Принцип работы термопары

Каждый металл имеет свой коэффициент Зеебека из-за чего между нагретым, и не нагретым проводником термопары появляется напряжение. Именно за счет этого напряжения и определяется термическая составляющая, т. к. оно прямо пропорционально разности температурных значений металлов. В физике это явление получило название эффект Зеебека, по фамилии, открывшего данный эффект, учёного [8].

Глава 2. Материалы и методы исследования

В данной научной работе мы использовали 2 установки: ТИОН-2М и УВН-200МИ. На первой установке мы определяли гистерезис процесса реактивного магнетронного распыления, с помощью системы управления установки, в которой находились некоторые измерительные приборы, мы определили зависимость напряжения, давления и мощность от потока реактивного газа, далее в данной главе будут представлены и проанализированы полученные гистерезисные петли процесса.

Установка ТИОН-2М разработана для нанесения биосовместимых долгофункционалирующих покрытий оксинитрида титана на поверхность внутрисосудистых стентов. Установка состоит из таких элементов, как: дуальная магнетронная распылительная система с цилиндрическими катодными узлами, спиральный и турбомолекулярный насос, форвакуумный, генератор газовой плазмы с накаливаемым катодом, оптически спектрометр-анализатор, импульсная биполярная система питания и другие. Также вакуумная установка обладает дополнительной вакуумной секцией для загрузки образцов, что позволяет основному объёму, где располагается МРС, находиться под постоянным вакуумом без напуска атмосферы. Из-за малого объёма вакуумной камеры и дополнительной вакуумной секции, работа на данной установке может проходить достаточно быстро, что экономит ресурсы и время. Предельное остаточное давление объёма рабочей камеры составляет $6,9 \cdot 10^{-4}$ Па, время достижения рабочего давления $6,7 \cdot 10^{-3}$ Па при процедуре шлюзования составляет примерно 7 минут. Далее будет представлено изображение с верхней частью ТИОН-2М, куда погружаются образцы в загрузочную секцию (рис. 5):



Рисунок 5 – Общий вид установки ионно-плазменного модифицирования поверхности и напыления покрытий ТИОН-2М

На второй установке была проведена работа по определению температуры атмосферы вакуумной камеры и плазмы. Было решено использовать хромель-алюмелиевую термопару, которая была закреплена в двух точках: в плазме, на расстоянии 5 см от магнетрона; в зоне подложкодержателя, на расстоянии 17 см от магнетрона. Отверстие для оптического спектрометра находится над областью плазмы, что нам позволяет получить оптический спектр плазмы.

Установка УВН-200МИ разработана для нанесения покрытий из диоксида или оксинитрида титана на различные материалы.

Установка состоит из следующих основных частей: цилиндрической вакуумной камеры с расположенным в ней магнетроном, высоковакуумной системой откачки, источника импульсного питания магнетрона, трехканальной системы подачи газа, автоматизированной системы управления установкой, включающей блок периферийных контроллеров, управляющий контроллер и персональный компьютер, оптический спектрометр-анализатор, гнездо для подключения термопары. Вакуумная камера представляет собой цилиндр с

внутренним диаметром 350 мм и высотой 450 мм, объем камеры составляет 0,09 м³. Форвакуумная система откачки достигает давления 10 Па, затем турбомолекулярный насос достигает давления 10⁻² Па. Ниже будет представлено изображение установки УВН-200МИ (рис. 6).

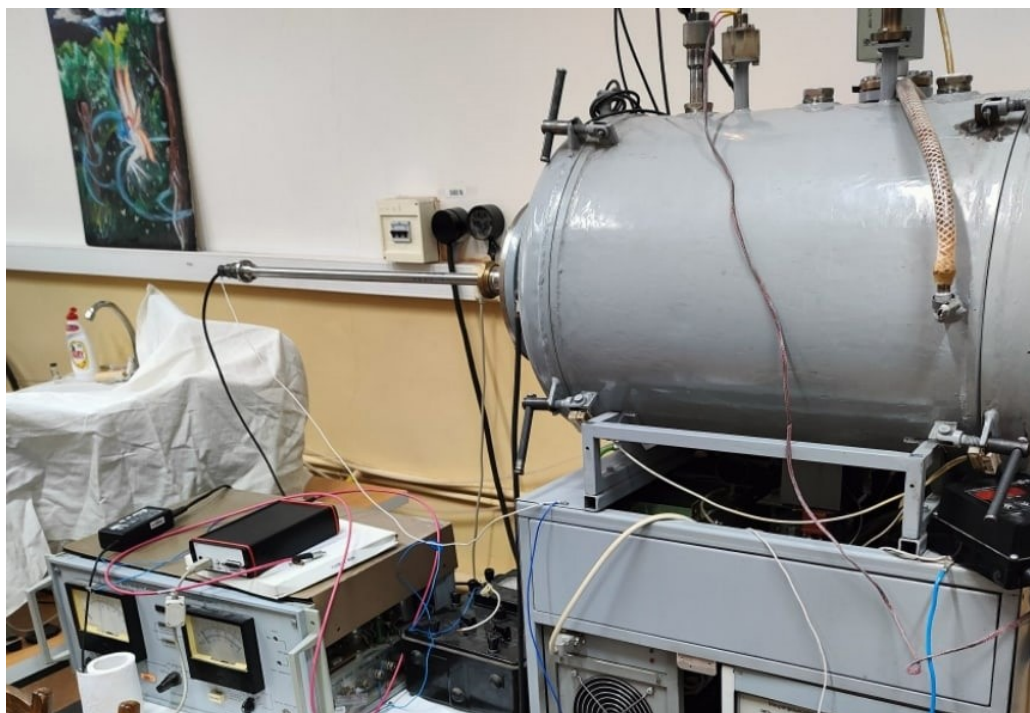


Рисунок 6 – Общий вид установки ионно-плазменного модифицирования поверхности и напыления покрытий УВН-200МИ

Ниже будет представлена схема эксперимента при измерении температуры, обозначение x подразумевает расстояние, когда измерялась температура плазмы, x равнялся 5 см, когда измерялась температура атмосферы вакуумной камеры в зоне подложкодержателя – 17 см (рис. 7).

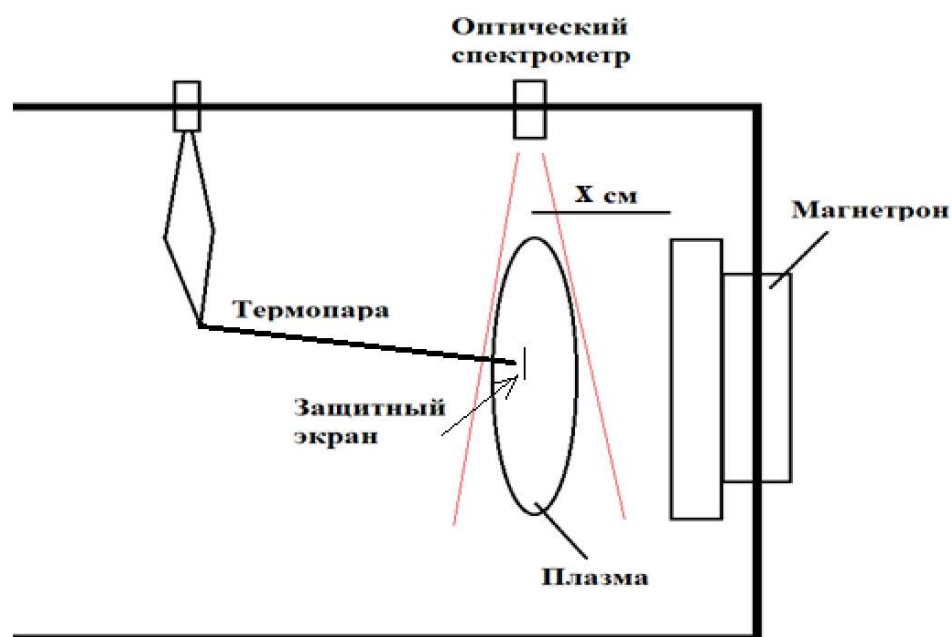


Рисунок 7 – Схема эксперимента по измерению температуры

На схеме можно увидеть защитный экран, который был сделан для предотвращения образования тонкой плёнки на конце термопары, что в свою очередь привело бы термопару к неисправности, экран был сделан из фольги, свёрнутой в несколько раз пополам.

Глава 3. Экспериментальная часть

3.1 Исследование гистерезиса реактивного магнетронного распыление нитрида и диоксида титана

Первой практической работой стало исследование гистерезиса, так как установка не была занята и все элементы были исправны. Вся работа по исследованию гистерезиса проходила на установке ТИОН-2М.

Были использованы такие газы, как: аргон, азот и кислород. Установка позволяет напуск газа до 60 мл/мин с шагом в 0,6 мл/мин. Экспериментальным путём были сняты показания давления в камере, напряжение и мощность на подложке, напуск реактивного газа постепенно увеличивался с ожиданием в 1-2 минуты для стабилизации значений, пока не была получена кривая гистерезиса. Рабочий газ – аргон, подавался с постоянным значением напуска равным 6 мл/мин. Сила тока была задана 4 А. Остаточное давление в камере при начале эксперимента составляло 0,013 Па.

3.1.1 Кислород

Сначала исследовался гистерезис процесса в среде кислорода, ниже будут представлены полученные результаты и их анализ, в первую очередь зависимость напряжения от потока реактивного газа (рис. 8).

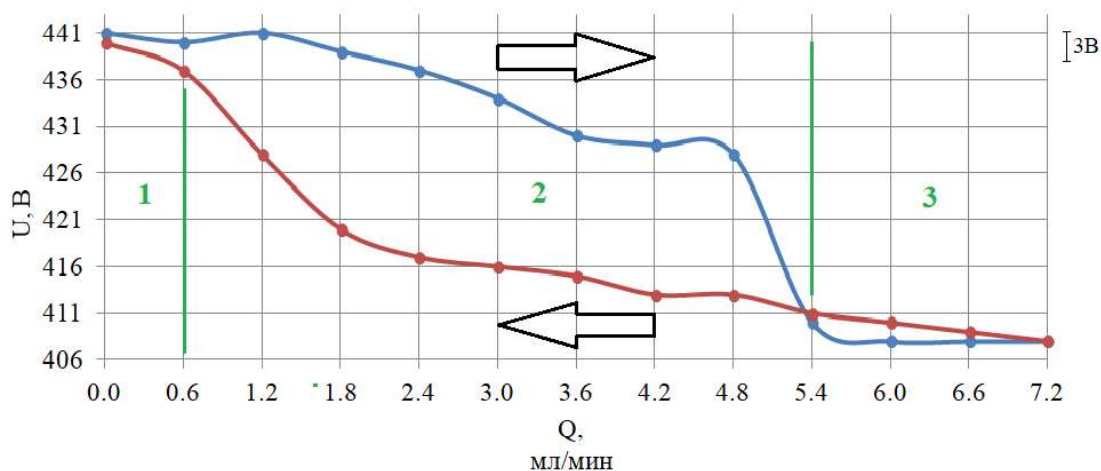


Рисунок 8 – Кривая гистерезиса кислорода, зависимость напряжения от напуска реактивного газа

На данном графике видно 3 режима работы: металлический, переходной и реактивный.

При $Q = 0 - 0,6$ мл/мин мишень остаётся чистой, этот режим является металлическим. Происходит распыление чистого металла – титана.

При $Q = 0,6 - 5,4$ мл/мин мишень покрывается диэлектрической плёнкой, напряжение постепенно уменьшается из-за уменьшения коэффициента электронной эмиссии. Происходит распыление диоксида титана.

При $Q = 5,4 - 7,2$ мл/мин мишень покрылась диэлектрической плёнкой, из-за чего напряжение резко снизилось. Система перешла в реактивный режим. Происходит распыление диоксида титана. Диэлектрическая плёнка не останавливает распыление из-за того, что она не успевает полностью покрыть мишень из-за биполярного сигнала источника магнетрона.

Участок с самой высокой скоростью распыления находится на отрезке $4,8 - 5,4$ мл/мин, работать на данном участке трудно, так как при малейшем изменении параметров процесса рабочий режим может перейти в реактивный режим.

Разница обратного пути отличается из-за образовавшейся диэлектрической плёнки. При уменьшении подачи газа плёнка медленно распыляется, и мишень очищается, по достижению $1,8 - 0,0$ мл/мин видно резкий скачок напряжения, который обусловлен окончательно очисткой мишени от диэлектрической плёнки. Следующей зависимостью, которую мы исследовали – зависимость мощности от потока реактивного газа (рис. 9).

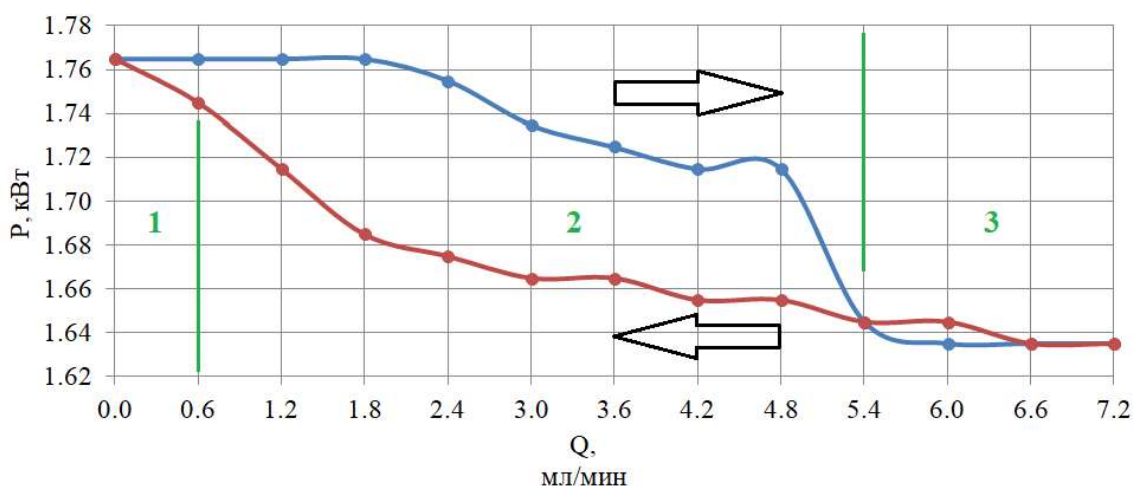


Рисунок 9 – Кривая гистерезиса кислорода, зависимость мощности от напуска реактивного газа

Данный график практически идентичен прошлому, переходной режим начинается и кончается там же, связано это с прямой зависимостью мощности от напряжения. Следующей зависимостью, что мы исследовали является зависимость давления от потока реактивного газа (рис. 10).

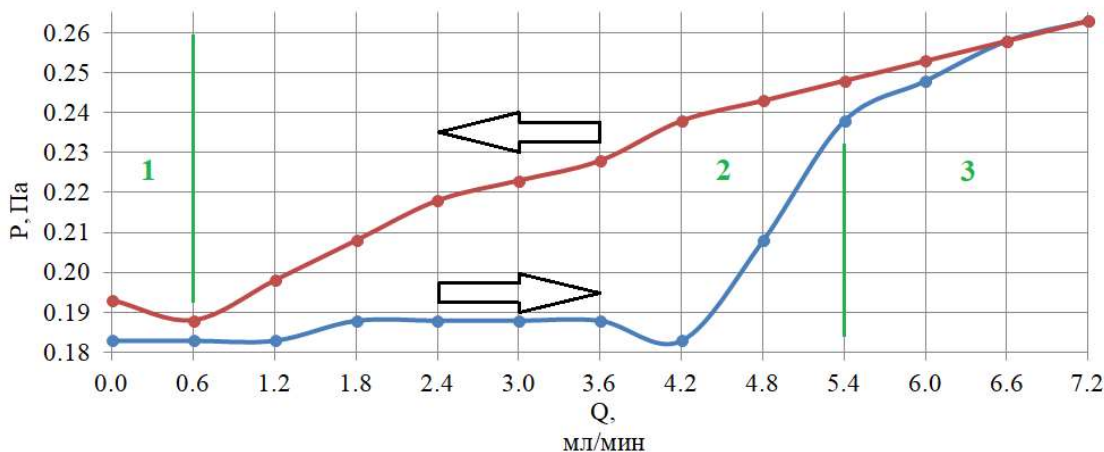


Рисунок 10 – Кривая гистерезиса кислорода, зависимость давления от напуска реактивного газа

На данном графике наблюдается резкое повышение давления при достижении реактивного режима, что обуславливается снижением химической реакции реактивного газа и мишени. Из этого следует, что газ поступает, но хемосорбция снижается и появляется излишний газ, который в свою очередь

вызывает увеличение давления в камере. Также на графике видно, что начало переходного участка из рабочего режима в реактивный находится при напуске реактивного газа равном 4,2 мл/мин.

Таким образом, с помощью данного определения гистерезиса мы способны напылять необходимый материал – диоксид титана в переходном режиме, но, достигнув 4,2-4,8 мл/мин, резко перейдём в зону травления, из-за чего эффективнее держаться на грани переходного режима, предусматривая различные явления, которые могут переместить режим в зону травления.

Ширина петли гистерезиса обуславливается химической активностью кислорода.

3.1.2 Азот

Следующим этапом исследования гистерезиса процесса реактивного магнетронного распыления стало исследование тех же зависимостей, но в среде азота, без добавления кислорода. Последовательность исследуемых зависимостей осталась такой же, а именно первой – зависимость напряжения от потока реактивного газа (рис. 11).

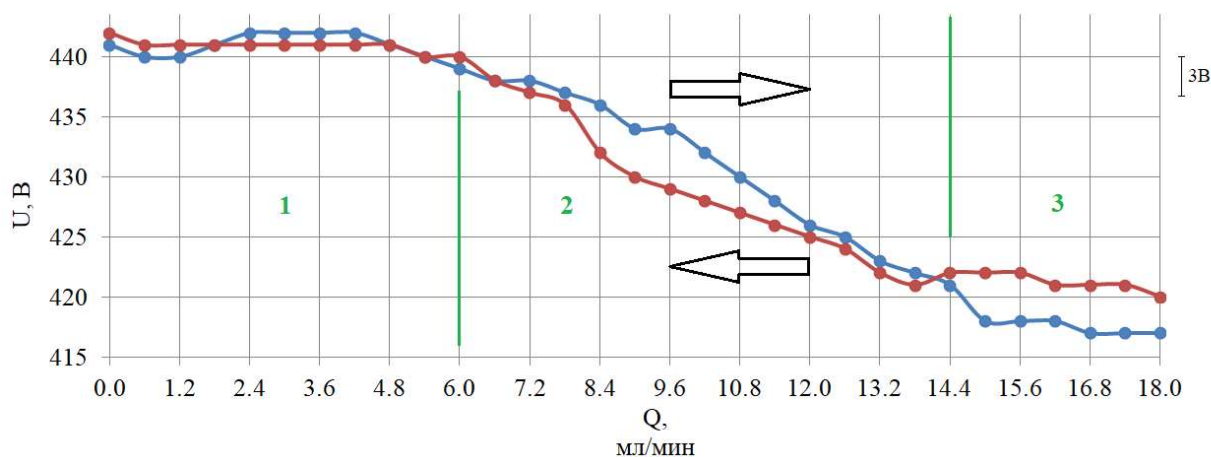


Рисунок 11 – Кривая гистерезиса азота, зависимость напряжения от напуска реактивного газа

На данном графике видно 3 режима работы: металлический, переходной и реактивный.

При $Q = 0,0 - 6,0$ мл/мин мишень остаётся чистой, этот режим является металлическим. Происходит напыление чистого металла – титана.

При $Q = 6,0 - 14,4$ мл/мин мишень покрывается диэлектрической плёнкой, напряжение постепенно уменьшается из-за уменьшения коэффициента электронной эмиссии. Происходит напыление нитрида титана.

При $Q = 14,4 - 18,0$ мл/мин мишень покрывалась диэлектрической плёнкой, из-за чего напряжение резко снизилось. Система перешла в реактивный режим. Происходить напыление нитрида титана. Диэлектрическая плёнка не останавливает распыление из-за того, что она не успевает полностью покрыть мишень из-за биполярного сигнала источника магнетрона.

Участок с самой высокой скоростью распыления, скорее всего, находится на отрезке $12,0 - 14,4$ мл/мин, работать на данном участке трудно, так как при малейшем изменении параметров процесса рабочий режим может перейти в реактивный режим.

Разница обратного пути отличается из-за образовавшейся диэлектрической плёнки. При уменьшении подачи газа плёнка медленно распыляется и мишень очищается, по достижению $7,2 - 6,0$ мл/мин видно резкий скачок напряжения, который обусловлен окончательно очисткой мишени от диэлектрической плёнки.

Следующей исследуемой зависимостью стала зависимость мощности от потока реактивного газа (рис. 12).

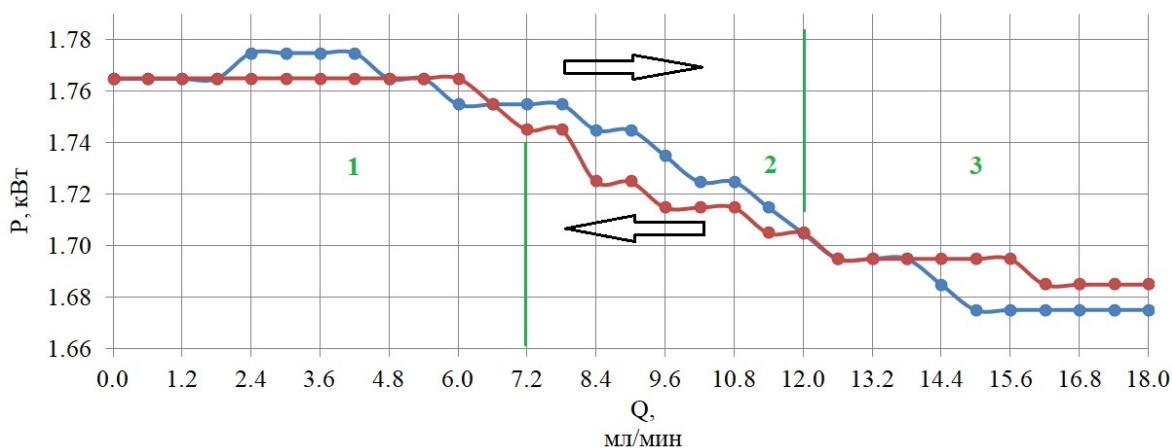


Рисунок 12 – Кривая гистерезиса азота, зависимость мощности от напуска реактивного газа

Данный график формой практически идентичен прошлому, переходной режим начинается и кончается в близком значении потока реактивного газа от прошлой зависимости, связано это с прямой зависимостью мощности от напряжения. Следующей зависимостью, что мы исследовали, стала зависимость давления от потока реактивного газа (рис. 13).

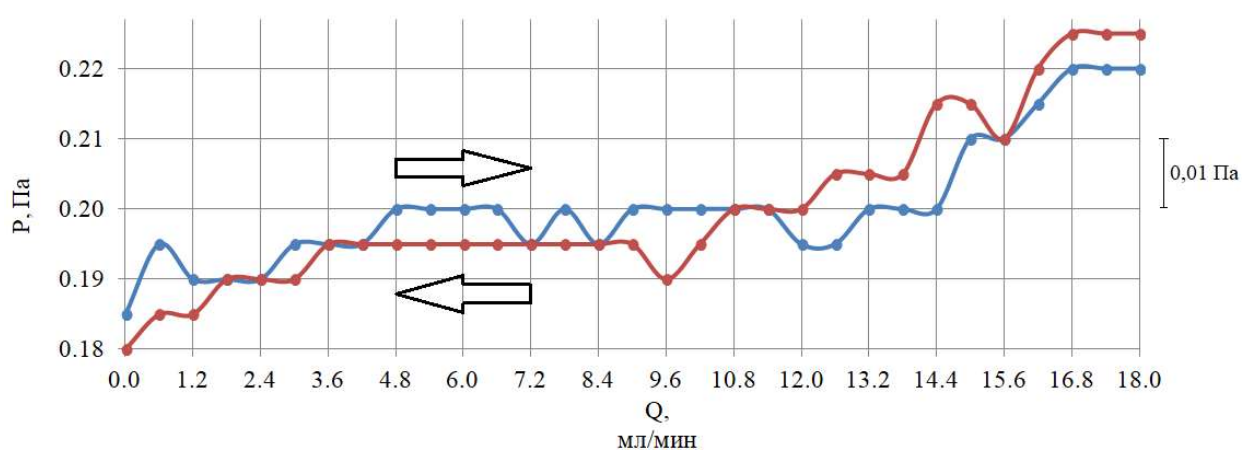


Рисунок 13 – Кривая гистерезиса азота, зависимость давления от напуска реактивного газа

На данном графике наблюдается увеличение давление при достижении потока реактивного газа в 10,8 мл/мин, что обуславливается снижением активности химической реакции реактивного газа и мишени. Газ поступает, но хемосорбция снижается и газ становится лишним, что в свою очередь вызывает увеличение давления в вакуумной камере. Также на графике видно, что гистерезисная петля достаточно узкая и запутанная, что говорит о том, что гистерезис мало влияет на весь процесс, следовательно, данную зависимость можно представить сплошной кривой линией и по достижению 10,8 мл/мин давление начинает расти.

Таким образом, с помощью определения гистерезиса мы можем напылять необходимый материал – нитрид титана, в переходном режиме, но,

достигнув 12,0 мл/мин, резко перейдем в зону травления. Из-за чего логичнее будет держаться не дальше 10,8 мл/мин, так как кривая гистерезиса азота оказалась сложнее – контролировать и удерживать систему в рабочем режиме проблематичнее, но из-за узости петли гистерезиса данные зависимости можно приравнять к сплошной кривой линии.

Малая ширина петли гистерезиса азота по сравнению с кислородом обуславливается низкой химической активностью азота в сравнении с кислородом.

3.2 Исследование зависимости температуры плазмы и атмосферы вакуумной камеры от состава газовой смеси

Данная глава посвящена измерению температуры в двух зонах вакуумной камеры при добавлении разных газовых смесей, ниже будет представлен график зависимости температуры термопары в зоне плазмы от времени, при добавлении разных газовых смесей (рис. 14).

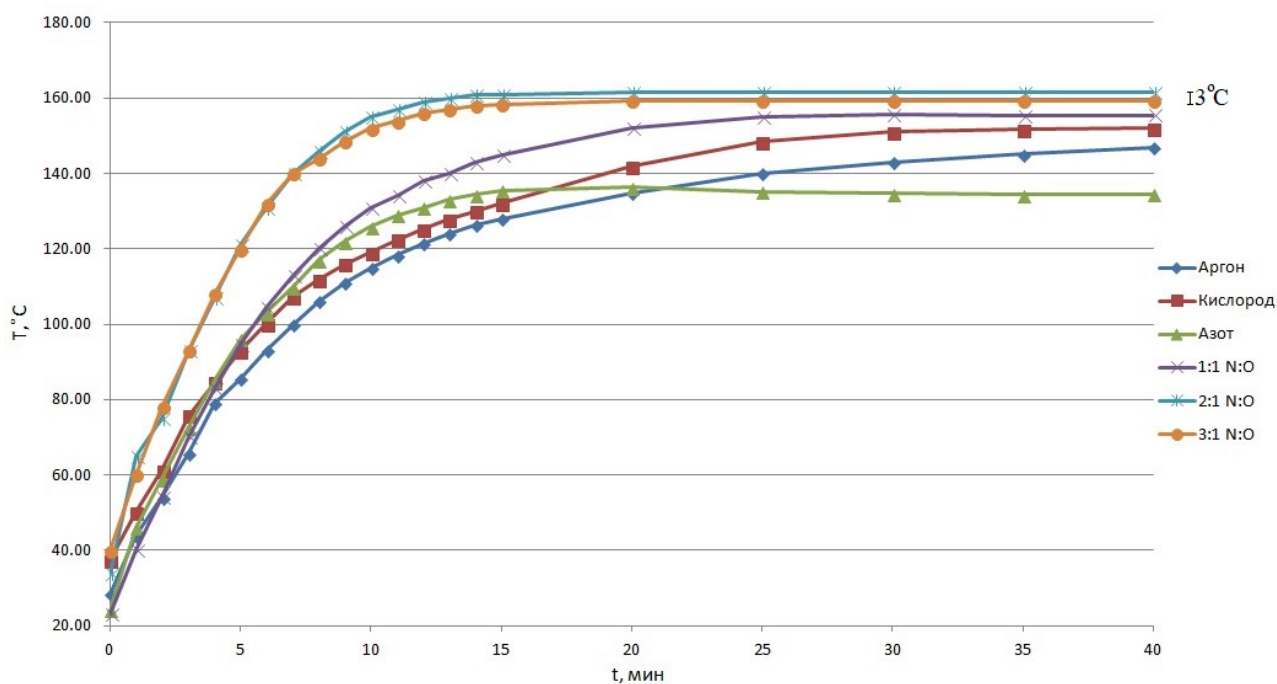


Рисунок 14 – Зависимость температуры термопары при различной газовой среде от времени

На данном графике видно, что температура термопары входит в равновесие с температурой плазмы в диапазоне 15-20 минут, после этого момента можно утверждать, что температура газового разряда при данных газовых смесях равняется:

- Аргон – 147 °C;
- Кислород – 152 °C;
- Азот – 134 °C;
- Смесь 1:1 N:O – 155 °C;

- Смесь 2:1 N:O – 161 °С;
- Смесь 3:1 N:O – 159 °С;

Можно заметить, что температура термопары не достигла равновесия с температурой плазмы в среде аргона, но была близка к этому, это связано с ограничением времени эксперимента в 40 минут, так как ожидалось, что данного времени хватит, предположительно температура плазмы в среде аргона может достигать 155 °С.

Разница в температуре вызвана разной энергией ионизации определённых атомов, участвующих в процессе газового разряда, это лучше всего видно при рассмотрении температуры в среде азота и в среде кислорода, температура в среде кислорода больше на 13 °С. Энергия ионизации азота равняется 14,53 эВ, а энергия ионизации кислорода – 13,61 эВ [9].

Также видно, что газовый разряд в газовых смесях кислорода и азота обладает более высокой температурой, чем газовый разряд в среде только кислорода или только азота.

Во время эксперимента измерялось давление, и была построена следующая зависимость (рис. 15).

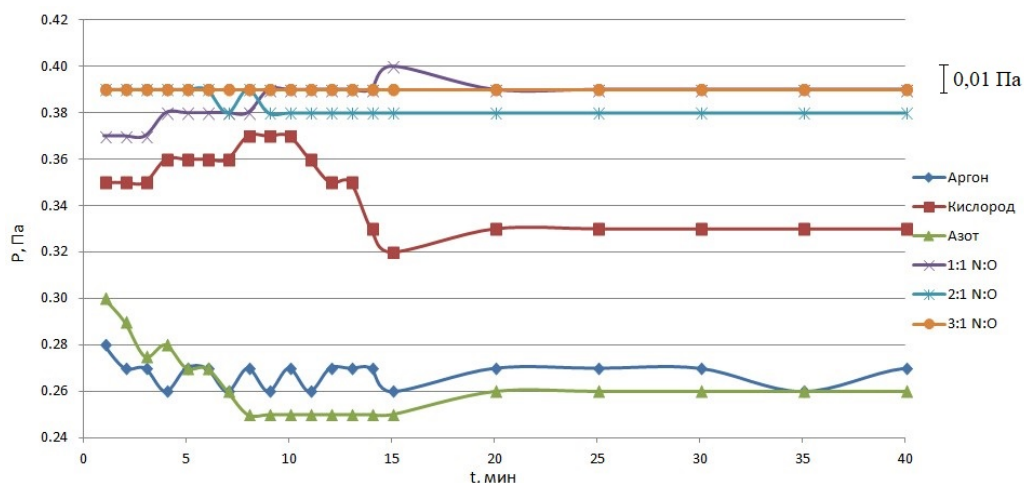


Рисунок 15 – Зависимость давления от времени при добавлении различных газовых смесей

Полученные данные пригодятся в верификации метода оценки температуры из соотношения расхода газа и давления.

Далее было решено измерить температуру атмосферы вакуумной камеры при добавлении газов без примесей азота и кислорода (рис. 16), для этого термопара была помещена в место, где располагаются подложки, расстояние от крышки вакуумной камеры составило 17 см.

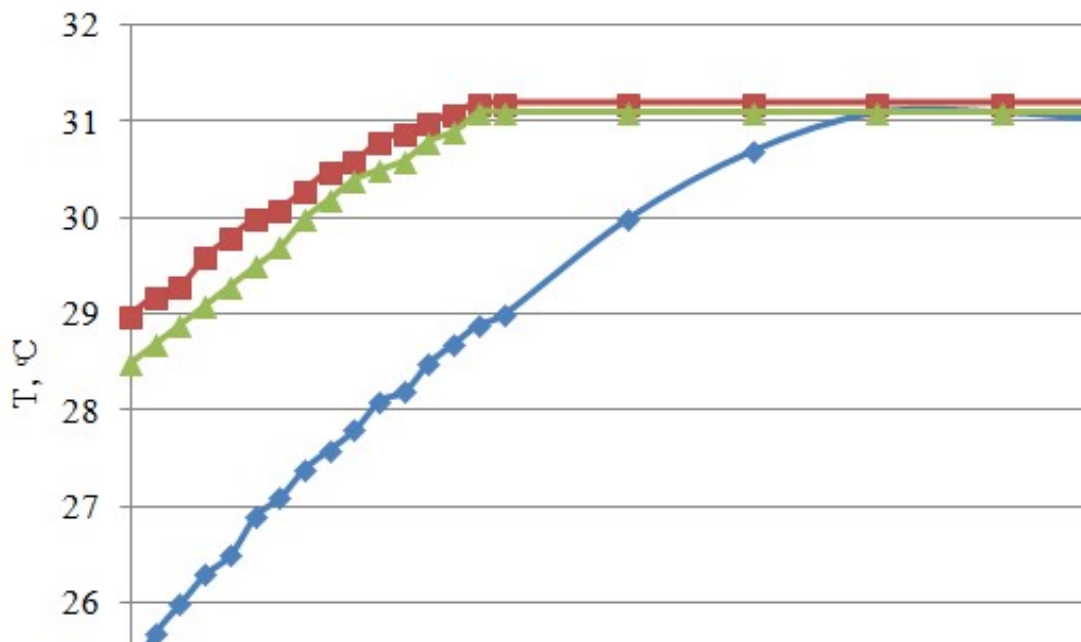


Рисунок 16 – Зависимость температуры термопары от времени в зоне подложкодержателя при добавлении различных газовых смесей

На данном графике видно, что температура термопары входит в равновесие с температурой среды вакуумной камеры в диапазоне 15-30 минут, после этого момента можно утверждать, что температура вакуумной камеры при данных газовых смесях равняется 31 °C.

Далее, при помощи уравнения состояния идеального газа, была посчитана концентрация молекул:

$$P = nkT$$

Так как температура растёт только у термопары, а температура атмосферы вакуумной камеры и плазмы относительно постоянна, то было решено для расчётов использовать температуру термопары, когда она вошла в равновесие с плазмой или атмосферой вакуумной камеры в зоне подложкодержателя.

В зоне плазмы:

$$\text{Аргон} - n = \frac{P}{kT} = \frac{0,15}{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 421} = 25,82 \cdot 10^{12} \text{ см}^3;$$

$$\text{Кислород} - n = \frac{P}{kT} = \frac{0,19}{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 425} = 32,40 \cdot 10^{12} \text{ см}^3;$$

$$\text{Азот} - n = \frac{P}{kT} = \frac{0,12}{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 409} = 21,33 \cdot 10^{12} \text{ см}^3;$$

$$\text{Смесь 1:1 N:O} - n = \frac{P}{kT} = \frac{0,23}{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 429} = 38,90 \cdot 10^{12} \text{ см}^3;$$

$$\text{Смесь 2:1 N:O} - n = \frac{P}{kT} = \frac{0,23}{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 434} = 38,35 \cdot 10^{12} \text{ см}^3;$$

$$\text{Смесь 3:1 N:O} - n = \frac{P}{kT} = \frac{0,23}{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 432} = 38,54 \cdot 10^{12} \text{ см}^3.$$

В зоне подложкодержателя:

$$\text{Аргон} - n = \frac{P}{kT} = \frac{0,17}{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 304} = 40,52 \cdot 10^{12} \text{ см}^3;$$

$$\text{Кислород} - n = \frac{P}{kT} = \frac{0,05}{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 304} = 11,91 \cdot 10^{12} \text{ см}^3;$$

$$\text{Азот} - n = \frac{P}{kT} = \frac{0,05}{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 304} = 11,91 \cdot 10^{12} \text{ см}^3.$$

Получив значение температуры плазмы, можно оценить энергию, а также использовать полученные данные для моделирования реактивного магнетронного распыления. Также существует метод оценки температуры из соотношения расхода газа и давления, если наши экспериментальные данные совпадут с расчётными данными, то можно будет подтвердить эффективность использования данного метода и не использовать дополнительные модификации для оценки температуры.

Интересным замечанием является то, что плазма в среде смеси N:O обладает большей энергией, чем плазма в среде без примесей, разница в 2 °C между смесью 2:1 и 3:1 может быть вызвана погрешностью измерительных приборов, так как использовалась термопара и измерительный прибор, погрешность которых в сумме составляет около 2-3 °C.

С помощью уравнения состояния идеального газа была определена концентрация молекул при различных газовых средах, а также в разных областях, рассматривая изначально уравнение можно сделать вывод, что

концентрация, при одинаковых давлениях, будет больше в зоне подложкодержателя, так как температура атмосферы вакуумной камеры на порядок ниже температуры плазмы, но давление может отличаться в разных зонах вакуумной камеры, таким образом полученные данные являются вторичными для данной работы, но могут понадобиться в дальнейшей научной работе.

Графики давления при различных газовых смесях показали, что давление на протяжении всего эксперимента практически не изменялось, а резкий скачок давления в средах кислорода и азота отдельно, вероятнее всего, связан с тем, что перед данным экспериментом проводился эксперимент в среде аргона. Все стенки вакуумной камеры были покрыты тонкой плёнкой из чистого титана, вследствие чего кислород и азот активно хемосорбировался стенками камеры и спустя некоторое время титан, расплывённый на стенки вакуумной камеры, в большей мере вступил в химическую реакцию с реактивным газом и хемосорбция снизилась, вследствие чего давление начало выравниваться.

3.3 Верификация метода оценки температуры из соотношения расхода газа и давления

Мой научный руководитель вывел уравнение, которое способно оценить температуру из соотношения расхода газа и давления в вакуумной камере, так как в моей работе есть необходимые экспериментальные данные, было решено дать мне данное уравнение на верификацию:

$$T = \frac{S_p T_0 p_n}{\eta_{Ar} P_0 Q}$$

где S_p – эффективная производительность насоса, равная $4,5 \cdot 10^6$ мл/мин; T_0 и P_0 – температура и давление в нормальных условиях; P_n – давление показанное вакуумметром; η_{Ar} – коэффициент чувствительности вакуумметра к аргону, равный 1,31; Q – поток газа, в данном случае аргона, равный 3,615 мл/мин.

Данное уравнение справедливо для эксперимента с добавлением только аргона, так как химическая активность и поток, состоящий из нескольких газов, не учитывается, поэтому полученные результаты расчёта будут сравниваться с температурой плазмы, которую мы получили экспериментально при добавлении только аргона.

Во время определения температуры плазмы в среде аргона, давление находилось в диапазоне 0,13 – 0,16 Па, а поток газа был постоянным и равнялся 3,615 мл/мин, было решено рассчитать температуру для всего диапазона давления, получились следующие результаты:

$$T = \frac{4,5 \cdot 10^6 \cdot 293 \cdot 0,13}{1,31 \cdot 101325 \cdot 3,615} = 357 \text{ K} = 84 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T = \frac{4,5 \cdot 10^6 \cdot 293 \cdot 0,14}{1,31 \cdot 101325 \cdot 3,615} = 385 \text{ K} = 112 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T = \frac{4,5 \cdot 10^6 \cdot 293 \cdot 0,15}{1,31 \cdot 101325 \cdot 3,615} = 412 \text{ K} = 139 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T = \frac{4,5 \cdot 10^6 \cdot 293 \cdot 0,16}{1,31 \cdot 101325 \cdot 3,615} = 440 \text{ K} = 167 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T = \frac{4,5 * 10^6 * 293 * 0,17}{1,31 * 101325 * 3,615} = 467 \text{ K} = 194 \text{ }^\circ\text{C}$$

Эксперимент по измерению температуры показал, что температура плазмы в среде аргона равняется 147 °С, ближе всего к этому значению рассчитанная температура при давлении в 0,15 Па. Если обратить внимание на зависимость давления от времени при добавлении только аргона, то можно увидеть, что большую часть времени давление равняется 0,15 Па, что подтверждает работоспособность данного метода для оценки температуры плазмы из соотношения расхода газа и давления. Даже если учесть, что во время эксперимента температура термопары не успела войти в равновесие с температурой плазмы, то по зависимости температуры от времени видно, что достижение равновесия было близко и температура плазмы может находиться в близком значении к 150-155 °С, данное значение также входит в диапазон рассчитанных температур.

3.4 Анализ оптических спектров

В данной главе будут продемонстрированы полученные оптические спектры и их расшифровка, главной целью данной главы и задачи является подтверждение справедливости утверждения о газовом составе в вакуумной камере во время проведения экспериментов по измерению температуры плазмы.

Спектры будут последовательно представляться таким образом: спектр в начале работы, спектр спустя некоторое время, анализ данных спектров.

3.4.1 Аргон и азот

Первым были проанализированы оптические спектры в среде аргона и азота (рис.17 и рис. 18):

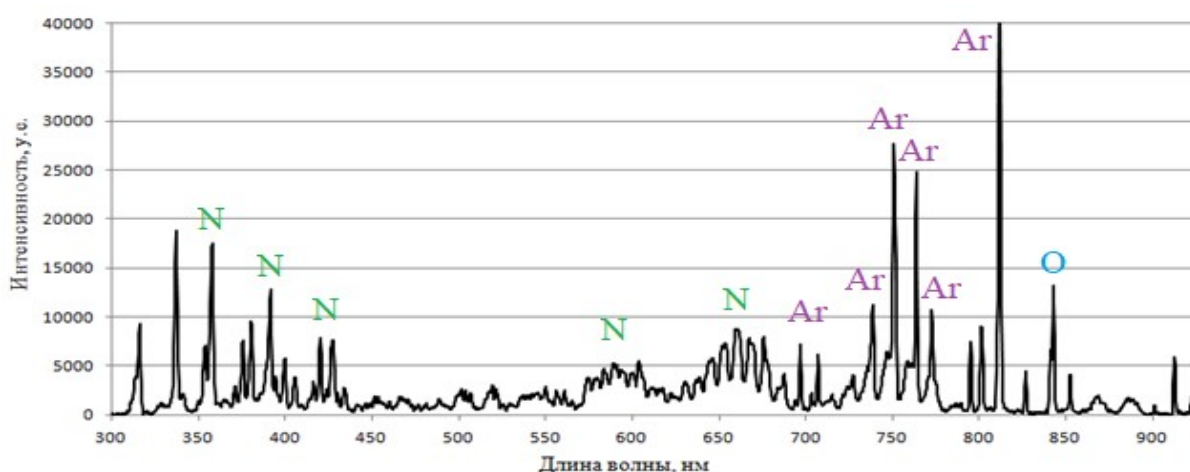


Рисунок 17 – Оптический спектр в среде аргона и азота, 3 минуты с начала эксперимента

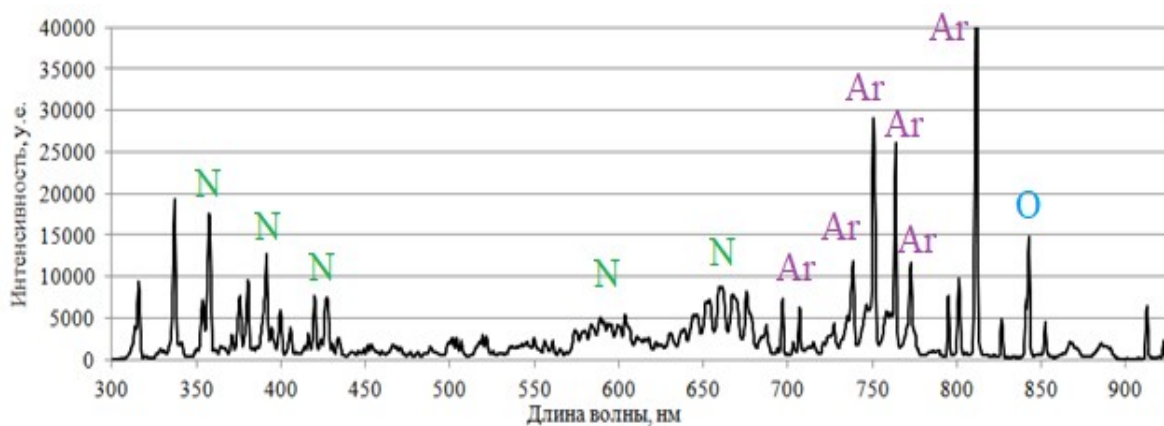


Рисунок 18 – Оптический спектр в среде аргона и азота, 12 минут с начала эксперимента

На данных оптических спектрах не видно сильного изменения интенсивности пиков или появления новых, что является также положительным результатом, так как в следующем оптическом спектре в среде кислорода будет наблюдаться обратная картина (рис. 19 и рис. 20).

3.4.2 Аргон и кислород

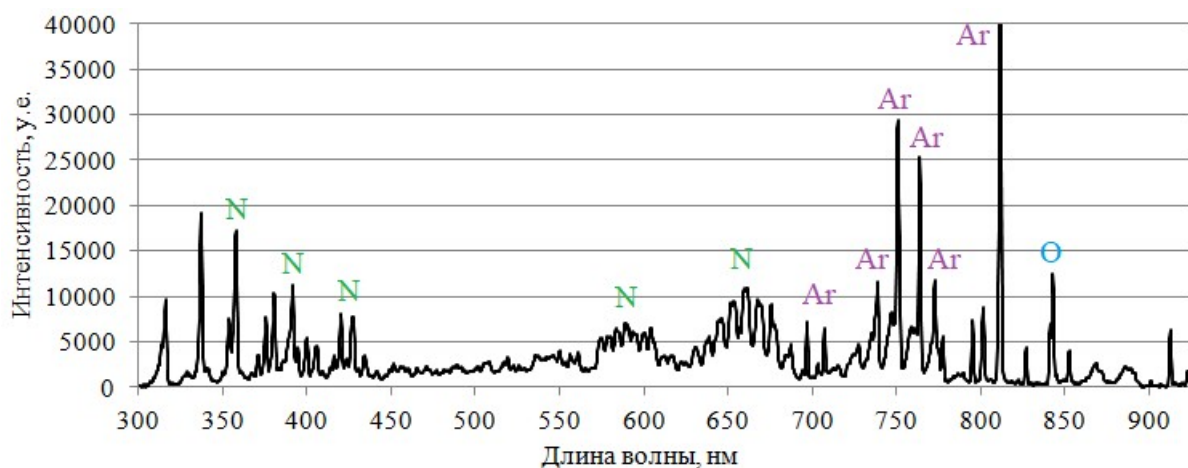


Рисунок 19 – Оптический спектр в среде аргона и кислорода, 3 минуты с начала эксперимента

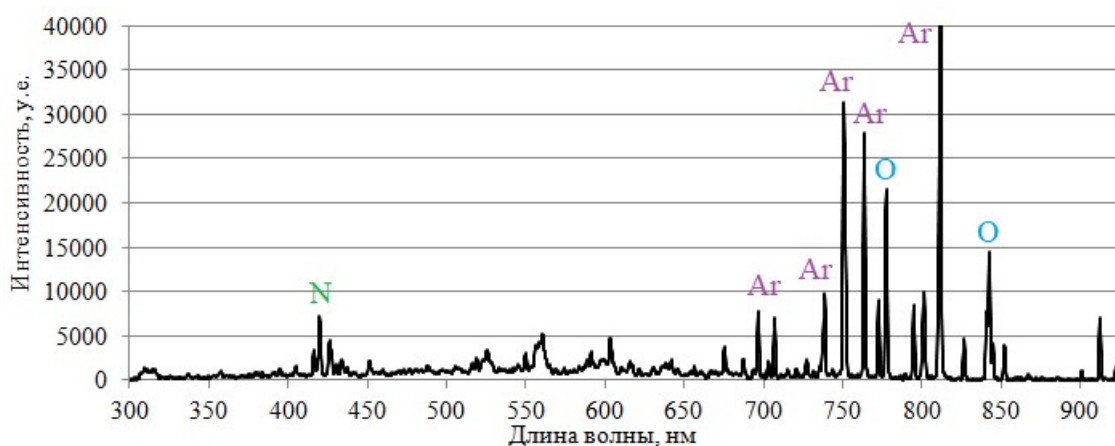


Рисунок 20 – Оптический спектр в среде аргона и кислорода, 40 минут с начала эксперимента

Видно, что со временем появился новый пик кислорода высокой интенсивности, а также большинство полос и пиков азота уменьшилось в интенсивности, либо пропало вовсе, что свидетельствует о том, что в вакуумной камере находится крайне мало азота.

Далее будут рассматриваться оптические спектры в среде смеси N:O. Начнём с соотношения 1:1 (рис.21 и рис. 22).

3.4.3 Газовая смесь 1:1 N:O

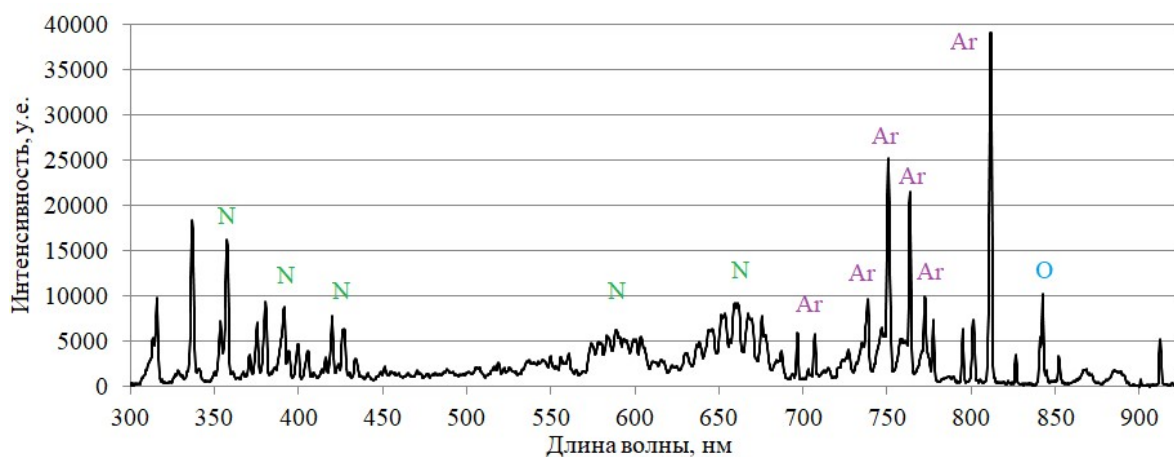


Рисунок 21 – Оптический спектр в среде смеси азота и кислорода 1:1, 3 минуты с начала эксперимента

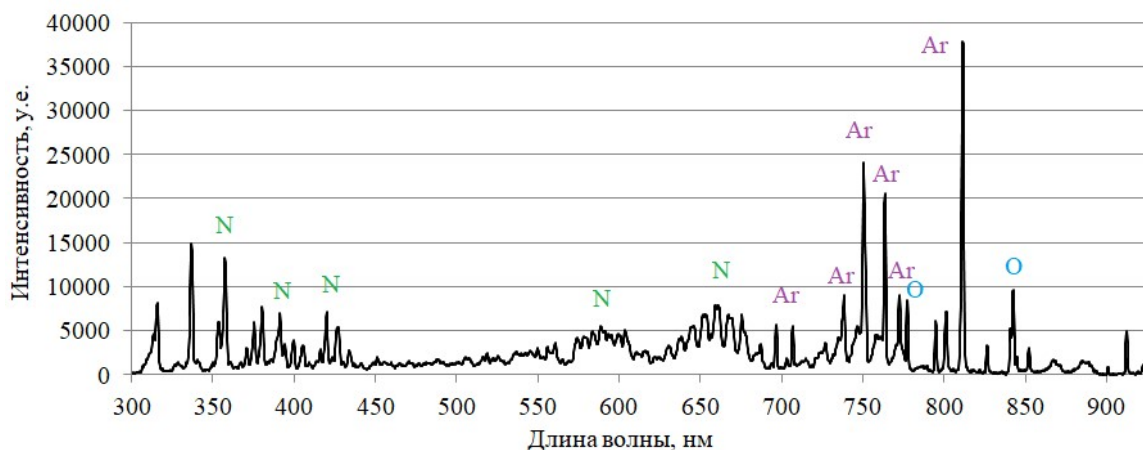


Рисунок 22 – Оптический спектр в среде смеси азота и кислорода 1:1, 12 минут с начала эксперимента

На данном спектре наблюдается малое изменение в интенсивности пиков с течением времени, пики азота едва уменьшились в интенсивности, появился новый пик кислорода, что говорит об увеличении его содержания в атмосфере вакуумной камеры. В оптическом спектре в среде кислорода видно, что со временем азота стало крайне мало в вакуумной камере, в данном же случае он лишь уменьшился в интенсивности, что подтверждает утверждение о нахождении смеси азота и кислорода в вакуумной камере во время проведения эксперимента. Далее будут рассмотрены оптические спектры (рис. 23 и рис. 24), в которых соотношение газовой смеси из азота и кислорода изменили, соотношение азота и кислорода стало 2:1.

3.4.4 Газовая смесь 2:1 N:O

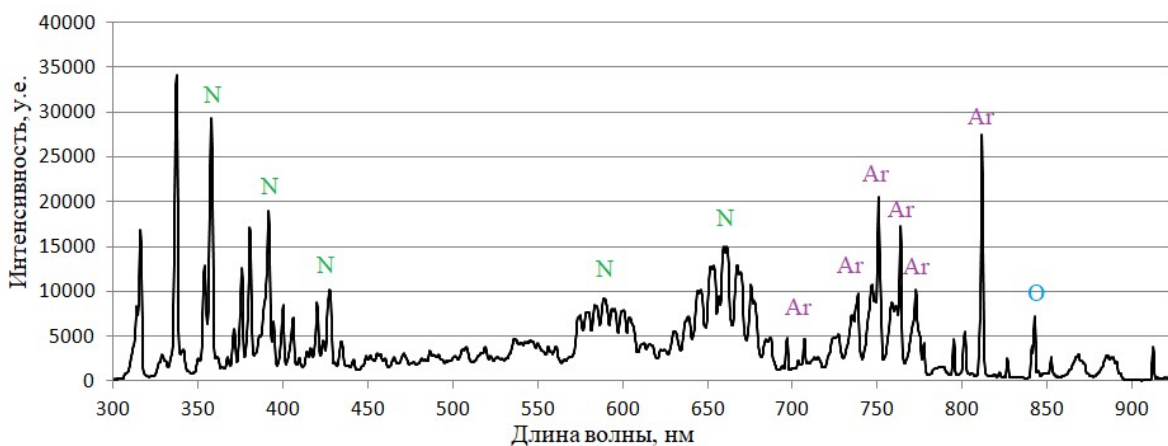


Рисунок 23 – Оптический спектр в среде смеси азота и кислорода 2:1, 3 минуты с начала эксперимента

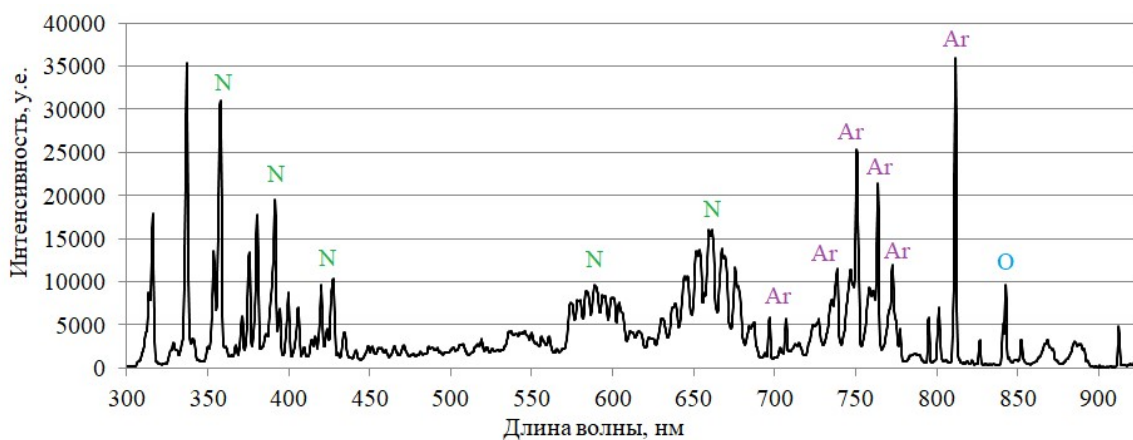


Рисунок 24 – Оптический спектр в среде смеси азота и кислорода 2:1, 12 минут с начала эксперимента

В случае соотношения газовой смеси азота и кислорода 2:1 наблюдается изменение интенсивности пиков аргона, а также стабильное состояние пиков азота, пик кислорода стал интенсивнее. Если сравнить с прошлыми оптическими спектрами, можно заметить отличие:

Интенсивность пиков азота намного больше, интенсивность самого большого пика аргона снизилась, новый пик кислорода не появился. Всё это нам говорит о том, что кислород с азотом всё ещё содержится в вакуумной камере, но азота в данном эксперименте стало больше.

3.4.5 Газовая смесь 3:1 N:O

В последнем эксперименте соотношение расхода азота и кислорода равнялось 3:1, далее будут представлены и проанализированы полученные оптические спектры (рис. 25 и рис. 26).

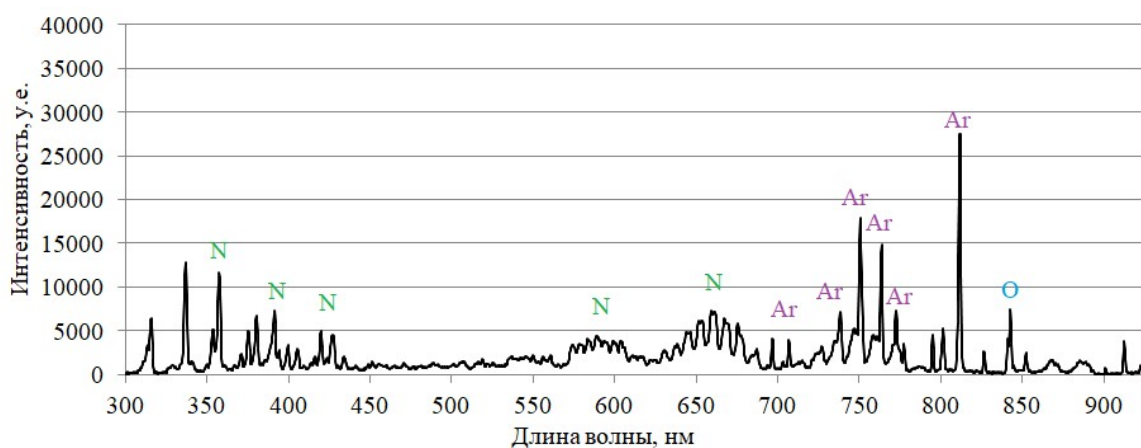


Рисунок 25 – Оптический спектр в среде смеси азота и кислорода 3:1, 3 минуты с начала эксперимента

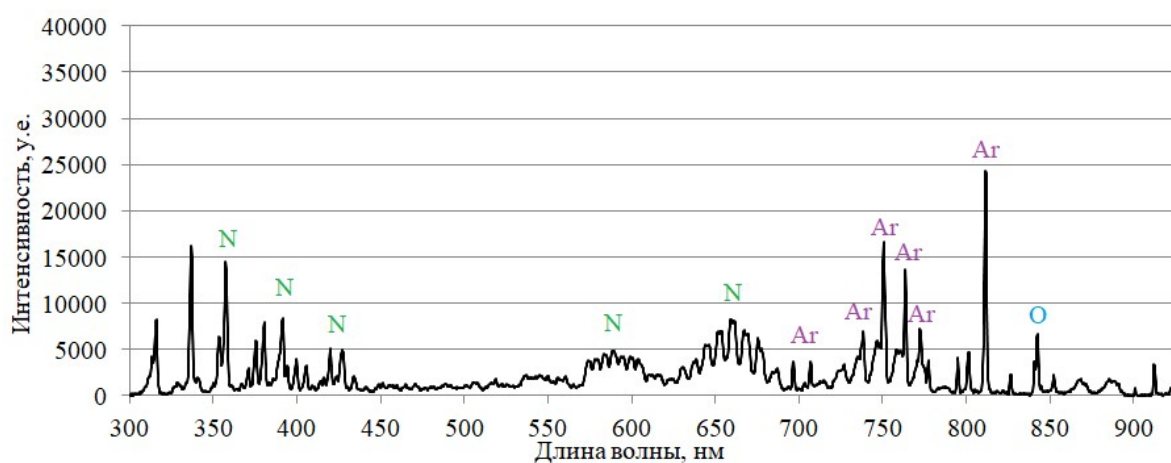


Рисунок 26 – Оптический спектр в среде смеси азота и кислорода 3:1, 12 минут с начала эксперимента

В данных оптических спектрах наблюдается следующее: интенсивность пиков азота оказалась меньше, чем в прошлых оптических спектрах, но также снизилась интенсивность всех пиков аргона, а интенсивность пика кислорода оказалась низкой и не изменилась со временем. Это всё говорит о том, что содержание кислорода в вакуумной камере оказалось малым по сравнению с азотом, что подходит к указанному соотношению 3:1 азота и кислорода.

В заключении, данной главы можно сделать вывод, что все оптические спектры подтверждают справедливость утверждения о составе атмосферы вакуумной камеры во время экспериментов по определению температуры.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
0A95	Гавриленко Александру Вячеславовичу

Школа	ИЯТШ	Отделение	Отделение ядерно-топливного цикла
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/ специальность	14.03.02 Ядерные физика и технологии

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость материальных ресурсов в соответствии с рыночными ценами г. Томска. Тарифные ставки исполнителей в соответствии со штатным расписанием НИ ТПУ.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Районный коэффициент- 1,3; Коэффициент дополнительной заработной платы 1,15; Накладные расходы – 16%
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды – 30 %.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT-анализа проекта
2. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований	Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение заинтересованных сторон и их ожиданий.
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Составление календарного плана проекта. Определение бюджета НТИ
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Проведение оценки экономической эффективности определения отношений между пользователями социальной сети Twitter на основе анализа текста сообщений.
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):	
1. Оценка конкурентоспособности технических решений 2. Матрица SWOT 3. График проведения и бюджет НТИ 4. Расчёт денежного потока 5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	13.03.2023 г.
---	---------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОСГН	Гасанов М.А.	д. экон. наук		13.03.2023

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0A95	Гавриленко Александр Вячеславович		13.03.2023

Глава 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Разработка научного исследования производится группой из двух человек – научного руководителя и студента.

Данная выпускная квалификационная работа посвящена исследованию зависимости температуры атмосферы реактивного магнетронного разряда от состава газовой смеси.

Основная цель данного раздела – определение перспективности и успешности технологии, оценка её эффективности, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

Данный раздел включает в себя рассмотрение следующих задач:

1. Оценить коммерческий потенциал и перспективность технологии;
2. Спланировать этапы выполнения исследования;
3. Выполнить расчёт бюджета научно-исследовательской работы;
4. Определить ресурсную, финансовую и бюджетную эффективность исследования.

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

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Главной задачей является исследование зависимости температуры атмосферы реактивного магнетронного разряда от состава газовой смеси. Полученные данные позволят в дальнейшем создать модель реактивного процесса и уменьшить количество калибровочных экспериментов, что говорит о хорошем потенциале и перспективе исследования. Целевым рынком является исследовательские центры, научно-технические лаборатории, которые занимаются реактивным магнетронным распылением, а также такие сферы, как машиностроение, авиастроение, судостроение, ювелирное дело, медицина, военная промышленность и многие другие. Новая технология, основанная на полученных результатах данной работы, позволит упростить и ускорить процесс получения тонких плёнок, состоящих из химических соединений, что подтверждает перспективность данной работы.

4.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Было проанализировано две статьи на схожую тематику из разных источников и далее они рассматриваются, как конкуренты:

1 – Наша работа; 2 – ФГУП ”Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов”; 3 – Белорусский государственный университет.

Таблица 1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б ₁	Б ₂	Б ₃	К ₁	К ₂	К ₃
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
Повышение производительности труда пользователя	0,2	5	1	2	1	0,2	0,4
Удобство в эксплуатации	0,05	4	3	3	0,2	0,15	0,15
Надёжность	0,06	4	3	4	0,24	0,18	0,24

Качество интеллектуального интерфейса	0,06	4	2	3	0,24	0,12	0,18
Экономия электроэнергии	0,11	5	3	2	0,55	0,33	0,22
Экономия газа	0,12	5	3	4	0,6	0,36	0,48
Долговечность	0,1	4	2	3	0,4	0,2	0,3
Экономические критерии оценки эффективности							
Уровень проникновения на рынок	0,01	1	5	5	0,01	0,05	0,05
Цена	0,01	3	2	2	0,03	0,02	0,02
Предполагаемый срок эксплуатации	0,08	4	4	4	0,32	0,32	0,32
Финансирование научной разработки	0,1	4	1	1	0,4	0,1	0,1
Срок выхода на рынок	0,06	1	5	5	0,06	0,3	0,3
Наличие сертификации разработки	0,05	3	5	5	0,15	0,25	0,25
Итого	1	43	34	41	4,02	2,58	3,01

Исходя из полученной таблицы можно сделать вывод, что предлагаемый метод исследования параметров плазмы, для дальнейшего моделирования, имеет более высокий показатель конкурентоспособности. Это обусловлено следующим рядом факторов: технология повышает производительность труда пользователя, позволяет экономить на расходных материалах за счёт уменьшения количества калибровочных экспериментов, а также упрощает процесс, что способствует более низкому минимальному техническому образованию для работы с системой реактивного магнетронного распыления.

4.1.3 SWOT-анализ

Для исследования коммерциализации проекта и для расчёта бюджета необходимо провести SWOT-анализ.

Анализ проводится в несколько этапов.

Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в раскрытии возможностей и угроз для реализации проекта, которые могут появиться в его внешней среде.

Таблица 2 – SWOT-анализ

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта:	Слабые стороны научно-исследовательского проекта:
	С1. Заявленная	Сл1. Длительный период

	<p>экономичность технологии.</p> <p>С2. Востребованность проекта для предприятий и лабораторий, связанных с реактивным распылением титана.</p> <p>С3. Квалифицированный персонал.</p> <p>С4. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями.</p> <p>С5. Оптимизация процесса нанесения тонкой плёнки титана в реактивной среде кислорода и азота.</p>	<p>при некоторых видах исследований.</p> <p>Сл2. Отсутствие необходимого оборудования для проведения исследований.</p> <p>Сл3. Недостаток финансовых средств.</p> <p>Сл4. Работа является этапом для дальнейшей работы.</p>
Возможности:		
<p>В1. Универсальность модели в использовании другими установками.</p> <p>В2. Использование промышленными предприятиями.</p> <p>В3. Использование научно-исследовательских достижений ТПУ.</p>	<p>Оптимизация процесса позволит быстро внедрить новую технологию в различные промышленные предприятия. Используя научно-исследовательские достижения ТПУ можно добиться более высокого уровня технологии, что окажет положительное влияние на распространение новой технологии.</p>	<p>Так как работа является этапом для дальнейшей работы, то нельзя утверждать об эффективности новой технологии, так как она начнёт внедряться в разные предприятия только в будущем.</p>
Угрозы:		
<p>У1. Вероятное опережение в разработке конкурентами.</p> <p>У2. Ограничение доступа к научной литературе.</p> <p>У3. Ограничение на экспорт технологии.</p>	<p>Заявленная экономичность, энергоэффективность и оптимизация может быть не оправдана при ограничении технологии на экспорт, но это не мешает распространению на в отечественных отраслях.</p>	<p>Длительный период исследования, разработки и проверки модели может оказаться достаточно длинным, чтобы другая лаборатория или институт опередила разработку.</p>

После того, как сформулированы четыре области SWOT-анализа, переходим к реализации второго этапа.

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

интерактивной матрицы помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей SWOT.

Таблица 3 – Интерактивная матрица работы с возможностями и сильными сторонами проекта

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		С1	С2	С3	С4	С5
	В1	0	+	-	-	+
	В2	+	+	-	+	+
	В3	-	-	+	-	+

Таблица 4 – Интерактивная матрица работы с возможностями и слабыми сторонами проекта

Слабые стороны проекта					
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	В1	0	+	0	+
	В2	0	0	-	+
	В3	-	+	+	-

Таблица 5 – Интерактивная матрица работы с угрозами и сильными сторонами проекта

Сильные стороны проекта						
Угрозы проекта		С1	С2	С3	С4	С5
	У1	0	0	+	0	+
	У2	0	-	-	+	+
	У3	+	-	-	-	0

Таблица 6 – Интерактивная матрица работы с угрозами и слабыми сторонами проекта

Слабые стороны проекта					
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	У1	0	-	-	-
	У2	+	+	-	+
	У3	-	0	+	-

Приведённый анализ показал, что технология, находясь на этапе разработки, имеет хорошие шансы на коммерциализацию, с учётом проявляемого интереса партнёров и успешных исследований. При этом, если переход разработки в стадию коммерциализации окажется слишком длительным, то возможно опережение в разработке конкурентами.

4.2 Планирование научно-исследовательских работ

4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

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

Таблица 7 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Студент
	3	Проведение патентных исследований	Студент
	4	Выбор направления исследований	Руководитель, студент
	5	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, студент
Теоретические и экспериментальные исследования	6	Проведение теоретических расчётов и обоснований	Студент
	7	Построение макетов и проведение экспериментов	Студент
	8	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Руководитель, студент
	9	Построение графиков различных зависимостей и дальнейших их анализ	Студент
Обобщение и оценка результатов	10	Оценка эффективности полученных результатов	Студент
	11	Определение целесообразности проведения ОКР	Студент

4.2.2 Определение трудоёмкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоёмкости работ каждого из участников научного исследования.

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

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5}$$

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

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}$$

4.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

При выполнении дипломных работ студенты в основном становятся участниками сравнительно небольших по объему научных тем. Поэтому наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ. Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из

рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} * k_{\text{кал}}$$

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,48$$

Все рассчитанные значения сведены в таблицу ниже (таб. 8).

Таблица 8 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{pi}		Длительность работ в календарных днях T_{ki}	
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{\text{ож}}$, чел-дни		Исп 1	Исп 2	Исп 1	Исп 2
	Исп 1	Исп 2	Исп 1	Исп 2	Исп 1	Исп 2				
Составление и утверждение технического задания	0	2	0	5	0	3,2	0	3,2	0	4,7
Подбор и изучение материалов по теме	4	0	7	0	5,2	0	5,2	0	7,7	0
Проведение патентных исследований	7	0	21	0	12,6	0	12,6	0	18,6	0
Выбор направления исследований	3	3	5	5	3,8	3,8	1,9	1,9	2,8	2,8
Календарное планирование работ по теме	2	2	6	6	3,6	3,6	1,8	1,8	2,7	2,7
Проведение теоретических расчётов и обоснований	3	0	5	0	3,8	0	3,8	0	5,6	0
Построение макетов и проведение экспериментов	10	0	20	0	14	0	14	0	20,7	0
Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	3	3	6	6	4,2	4,2	2,1	2,1	3,1	3,1
Построение	6	0	10	0	7,6	0	7,6	0	11,3	0

графиков различных зависимостей и дальнейших их анализ										
Оценка эффективности полученных результатов	4	0	10	0	6,4	0	6,4	0	9,5	0
Определение целесообразности и проведения ОКР	5	0	12	0	7,8	0	7,8	0	11,5	0

Исп 1 – студент, Исп 2 – руководитель.

На основе данной таблицы строится календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта на основе таблицы 6 с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования.

Таблица 9 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№	Вид работы	Исполнители	T _{кi} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ													
				Февр		Март			Апрель			Май			Июнь		
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1	Сост. и утвержд. тех. задания	Руководитель (красный)	5														
2	Подбор и изучение материалов по теме	Студент (синий)	8														
3	Проведение патентных исследований	Студент	19														
4	Выбор направления исследований	Руководитель, студент	6														
5	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, студент	6														
6	Проведение теоретических расчётов	Студент	6														

	обоснований																	
7	Построение макетов и проведение экспериментов	Студент	21															
8	Сопоставление резул. эксперим. с теор. исследований.	Руководитель, студент	7															
9	Построение графиков различной зависимости и дальнейших их анализ	Студент	12															
10	Оценка эффективности полученных результатов	Студент	10															
11	Определение целесообразности проведения ОКР	Студент	12															

4.3 Бюджет научно-технического исследования

При планировании бюджета научного исследования учитывается полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения. В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

1. материальные затраты НТИ;
2. затраты на специальное оборудование;
3. амортизационные отчисления;
4. основная заработная плата исполнителей;
5. дополнительная заработная плата исполнителей;
6. отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
7. накладные расходы.

4.3.1 Расчёт материальных затрат

В данную статью включаются затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ по данной теме.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_M = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхi}$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{расхi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы (3-5% от стоимости материалов).

Значения цен на материальные ресурсы были установлены по действующим прейскурантам или договорным ценам.

Таблица 10 – материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за единицу, руб.	Затраты на материалы, руб.
Газ аргон	л.	40	9 100	9 100
Газ азот	л.	40	8 400	8 400
Газ кислород	л.	40	7 850	7 850
Титановая мишень	шт.	1	1 700	1 700
Всего за материалы				27 050
Транспортно-изготовительные расходы (3-5%)				1 352
Итого по статье за материалы				28 402

4.3.2 Расчёт затрат на специальное оборудование для научных работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры и т.п.), необходимого для проведения работ. Однако, при выполнении данного исследования дополнительное оборудование для проведения исследований не было приобретено. Все использованное оборудование являлось собственностью отделения экспериментальной физики НИИ ТПУ. Поэтому необходимо рассчитать амортизационные отчисления для использованного оборудования.

Расчет амортизации производился следующим образом:

$$H_a = \frac{1}{n}$$

где n – срок полезного использования (СПИ) в количестве лет.

Ежемесячные амортизационные отчисления:

$$A_M = \frac{H_a \cdot И}{12}$$

где И – первоначальная стоимость оборудования (ПСО), тыс. руб.

Таблица 11 – амортизационные отчисления

№	Наименование оборудования	СПИ	ПСО, тыс. руб.	Ежемесячные амортизационные отложения, тыс. руб.
1	Установка ТИОН-2М	15	15 000	83,33
2	Установка УВН-200МИ	15	9 000	50
3	Ноутбук Lenovo IdeaPad S340	4	60	1,25
4	Вакуумметр ионизационно-термопарный ВИТ-3	14	10	0,06
5	Измеритель-регулятор микропроцессорный двухканальный 2ТРМ1	14	7	0,04
6	Оптический спектрометр AvaSpec-3648	10	42	0,35
Итого по статье				135,03

4.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме и дополнительная заработная плата научно-производственного персонала.

Таблица 12 – баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней	66	66
Потери рабочего времени	48	48

Действительный годовой фонд рабочего времени	251	251
--	-----	-----

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИИ и дополнительную заработную плату:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}$$

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

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата (12-15% от $Z_{осн}$).

Основная заработная плата $Z_{осн}$ одного работника рассчитывается по следующей формуле

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб}$$

где $T_{раб}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года (при отпуске в 24 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя);

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{тс} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p$$

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

$k_{пр}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3;

k_d – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5;

k_p – районный коэффициент, равный 1,3

Руководителем в данном случае выступает Конищев М.Е. старший преподаватель, оклад которого равен 29000, оклад инженера примем равным 13900. Премии коэффициент и коэффициент доплат учитывать не будем.

Таблица 13 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_{мс}$	$k_{пр}$	$k_{д}$	$k_{р}$	$Z_{м},$ руб.	$Z_{дн},$ руб.	$T_p,$ раб. дн.	$Z_{осн},$ руб.	$Z_{доп},$ руб.	$Z_{зн},$ руб.
Руководитель	29000	-	-	1,3	37700	1562	14	21869	2624	24493
Инженер	13900	-	-	1,3	18070	866	97	84002	12600	96602
Итого по статье								105871	15224	121095

4.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат связанных с обеспечением гарантий и компенсаций.

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}$$

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

4.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

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

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

Отчисления во внебюджетные фонды (30% от статьи заработной платы) составили 36328 рублей.

4.3.6 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии и т.д. Их величина определяется по формуле:

$$Z_{\text{накл}} = k_{\text{нр}} \cdot (\text{сумма статей 1:7})$$

$k_{\text{накл}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов возьмём в размере 16%.

$$Z_{\text{накл}} = 0,16 \cdot (28402 + 135030 + 121095 + 36328) = 51337 \text{ руб.}$$

4.3.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

В результате данного раздела была составлена таблица со всеми результатами расчёта бюджета НИИ, она будет представлена ниже (таб. 14).

Таблица 14 – Расчёт бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб
Материальные затраты	28 402
Амортизационные отчисления	135 030
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	105 871
Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	15 224
Страховые отчисления	36 328
Накладные расходы	51 337
Бюджет затрат НИИ	372 192

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

Эффективность научного ресурсосберегающего проекта включает в себя социальную эффективность, экономическую и бюджетную эффективность. Показатели общественной эффективности учитывают социально-экономические последствия осуществления инвестиционного проекта как для общества в целом, в том числе непосредственные результаты и затраты проекта, так и затраты, и результаты в смежных секторах экономики, экологические, социальные и иные внеэкономические эффекты.

Показатели экономической эффективности проекта учитывают финансовые последствия его осуществления для предприятия, реализующего данный проект. В этом случае показатели эффективности проекта в целом характеризуют с экономической точки зрения технические, технологические и организационные проектные решения. Бюджетная эффективность характеризуется участием государства в проекте с точки зрения расходов и доходов бюджетов всех уровней.

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

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп}}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

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

Φ_{max} —максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

В качестве вариантов исполнения были выбраны ближайшие аналоги процесса исследования реактивного магнетронного разряда: Использование в основном вакуумной установки УВН-200МИ($\Phi_{p1}=372\ 192$), использование в основном вакуумной установки ТИОН-2М($\Phi_{p2}=420\ 000$), использование в основном вакуумной установки КВО($\Phi_{p2}=500\ 000$).

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп1}} = \frac{372\ 192}{372\ 192} = 1$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп2}} = \frac{420\ 000}{372\ 192} = 1,13$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп3}} = \frac{500\ 000}{372\ 192} = 1,34$$

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное удешевление стоимости разработки в разы.

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

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i – балльная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Таблица 15 – сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
Критерии				
1.Экономичность	0,2	3	5	1
2.Экологичность	0,1	4	4	2
3.Надежность	0,25	4	2	5

4.Безопасность	0,2	4	4	5
5.Простота эксплуатации	0,25	5	1	3
Итого	1	20	16	16

Расчет интегрального показателя для разрабатываемого проекта:

$$I_{p1} = 0,2 \cdot 3 + 0,1 \cdot 4 + 0,25 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,25 \cdot 5 = 4,05$$

$$I_{p2} = 0,2 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 + 0,25 \cdot 2 + 0,2 \cdot 4 + 0,25 \cdot 1 = 2,95$$

$$I_{p3} = 0,2 \cdot 1 + 0,1 \cdot 2 + 0,25 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5 + 0,25 \cdot 3 = 3,40$$

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

$$I_{\text{фин}}^p = \frac{I_m^p}{I_{\phi}^p} = \frac{4,05}{1} = 4,05$$

$$I_{\text{фин}}^{a1} = \frac{I_m^{a1}}{I_{\phi}^p} = \frac{2,95}{1,13} = 2,61$$

$$I_{\text{фин}}^{a2} = \frac{I_m^p}{I_{\phi}^p} = \frac{3,40}{1,34} = 2,54$$

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

Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{фин}}^p}{I_{\text{фин}}^{ai}}$$

где $\mathcal{E}_{\text{ср}}$ – сравнительная эффективность проекта;

$I_{\text{фин}}^p$ – интегральный показатель разработки;

$I_{\text{фин}}^{ai}$ – интегральный технико-экономический показатель аналога.

Таблица 16 – сравнительная эффективность разработки

№	Показатели	Разработка	Аналог 1	Аналог 2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	1,13	1,34
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,05	2,95	3,40

3	Интегральный показатель эффективности	4,05	2,61	2,54
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,88	0,75

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет судить о приемлемости существующего варианта решения, поставленного в данной технической задаче с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

4.5 Вывод по разделу ”Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение”

1. В ходе выполнения раздела «Финансовый менеджмент» был выполнен анализ конкурентоспособности. Данный анализ подтвердил конкурентоспособность применения технологии исследования зависимости температуры атмосферы реактивного магнетронного разряда от состава газовой смеси при использовании УВН-200МИ, в связи с более высокой достоверностью полученных результатов, экономичностью и простотой эксплуатации установки.

2. Проведен SWOT-анализ проекта, в ходе которого были выявлены потенциальные внутренние и внешние сильные и слабые стороны, возможности и угрозы. Анализ показал, что потенциальных сильных сторон у проекта больше, чем слабых, что доказывает перспективность разработок проекта.

3. Установлено, что в календарных днях длительность работ для научного руководителя составило 14 дней, а для инженера 97 дней. На основе временных показателей по каждой из произведенных работ был построен календарный план-график, по которому можно увидеть, что самые продолжительные по времени работы – подготовка макетов и проведение экспериментов, построение графиков зависимостей и их анализ.

4. Составлен бюджет проектирования, позволяющий оценить затраты на реализацию проекта, которые составляют 372 192 рублей;

5. Определены показатели ресурсоэффективности, интегральный финансовый показатель, интегральный показатель эффективности и сравнительная эффективность вариантов исполнения, значения которых свидетельствуют о достаточно высокой эффективности реализации технического проекта.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Обучающемуся:

Группа	ФИО
0А95	Гавриленко Александру Вячеславовичу

Школа	ИЯТШ	Отделение школы (НОЦ)	НОЦ Б.П. Вейнберга
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	14.03.02 Ядерные физика и технологии

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</p> <ul style="list-style-type: none"> – вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения) – опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы) – негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу) – чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера) 	<p>Область применения: машиностроение, автомобилестроение. Рабочая зона: 19 корпус ТПУ, лаборатория 131 Размеры помещения: 40,5 м² Наименование оборудования рабочей зоны: ТИОН-2М, УВН-200МИ, пластинчатороторный насос, турбомолекулярный насос, вакуумная камера. Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в зоне экспериментальной ионно-плазменной установки.</p>
<p>2. Перечень законодательных и нормативных документов по теме</p>	<p>–ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ Оборудование производственное. Общие эргономические требования. – ГОСТ Р ИСО 6385-2016. Эргономика. Применение эргономических принципов при проектировании производственных систем.</p>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды:</p> <ul style="list-style-type: none"> – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства) 	<p>Вредные производственные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Недостаточная освещенность рабочей зоны; – Повышенный уровень шума; – Повышенный уровень шума; – Химическое воздействие на организм человека. <p>Опасные производственные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Замыкание электрической цепи. <p>Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов:</p>
<p>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды:</p> <ul style="list-style-type: none"> – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства 	<ul style="list-style-type: none"> – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);

защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)	пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)
3. Защита в аварийных и чрезвычайных ситуациях: – перечень возможных АС и ЧС на объекте; – выбор наиболее типичной АС и ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению АС и ЧС; – разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной АС и ЧС; – разработка действий в результате возникшей АС или ЧС и мер по ликвидации её последствий	– перечень возможных АС и ЧС на объекте; – выбор наиболее типичной АС и ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению АС и ЧС; – разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной АС и ЧС; – разработка действий в результате возникшей АС или ЧС и мер по ликвидации её последствий
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	– специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны
Перечень графического материала:	
При необходимости представить эскизные графические материалы к расчётному заданию (обязательно для специалистов и магистров)	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	13.03.2023 г.
---	---------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ	Передерин Ю.В.	к.т.н		13.03.2023 г.

Задание принял к исполнению обучающийся:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А95	Гавриленко Александр Вячеславович		13.03.2023 г.

Глава 5. Социальная ответственность

Настоящая выпускная работа посвящена исследованию реактивного реактивного распыления покрытий TiO_2 и TiN . Процесс относится к процессам химико-термической обработки поверхности изделий и предполагает работу с высоким напряжением, а также различными газами (аргон, кислород и азот).

Научно-технической базой для проведения исследования стала лаборатория 131 19-го корпуса ТПУ. При выполнении данной бакалаврской работы были использованы: экспериментальные установки для проведения процесса реактивного магнетронного распыления (ТИОН-2М и УВМ-200МИ), ЭВМ, газовые баллоны со сжатым аргоном, кислородом и азотом. В помещении 131 19-го корпуса ТПУ приведём анализ присутствующих вредных и опасных производственных факторов, а также комплекс защитных мероприятий.

5.1 Правовые вопросы обеспечения безопасности

5.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства

Знание и строгое соблюдение правил техники безопасности являются обязательными для всего персонала. Обучение персонала технике безопасности и производственной санитарии состоит из вводного инструктажа, и инструктажа на рабочем месте ответственным лицом [10].

5.1.2 Организация рабочей зоны исследователя

Рациональная планировка рабочего места предусматривает чёткий порядок и постоянство размещения предметов, средств труда и документации. Ниже будет представлен рисунок (рис. 27), что именно требуется для выполнения работ за ЭВМ.

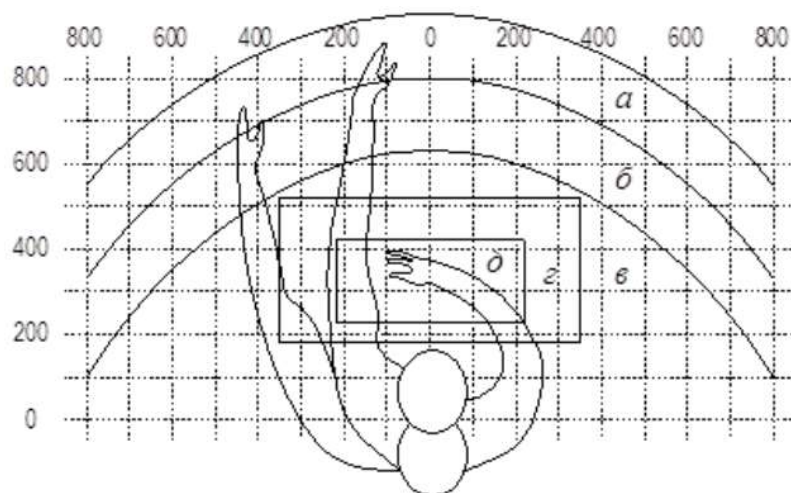


Рисунок 27 – зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости: а – зона максимальной досягаемости рук; б – зона досягаемости пальцев при вытянутой руке – зона легкой досягаемости ладони; г – оптимальное пространство для грубой ручной работы; д – оптимальное пространство для тонкой ручной работы.

Оптимальное размещение предметов труда и документации в зонах досягаемости рук:

- дисплей размещается в зоне а (в центре);
- клавиатура – в зонах г/д;
- системный блок размещается в зоне б (слева);
- принтер находится в зоне а (справа);
- документация – в зоне легкой досягаемости ладони;
- слева в зоне в(слева) размещается литература и документация, необходимая при работе;
- в выдвижных ящиках стола размещается литература, которая не используется постоянно.

Для проектирования письменного стола должны быть учтены следующие требования:

- высота рабочей поверхности стола рекомендуется в пределах 680-800 мм;

– высота рабочей поверхности, на которую устанавливается клавиатура, должна быть 650 мм;

– рабочий стол должен быть шириной не менее 700 мм и длиной не менее 1400 мм;

– пространство для ног высотой не менее 600 мм, шириной – не менее 500 мм, глубиной на уровне колен – не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног – не менее 650 мм.

Рабочее кресло должно быть подъёмно–поворотным и регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки. Рекомендуется высота сиденья над уровнем пола 420-550 мм. Конструкция рабочего кресла должна обеспечивать: ширину и глубину поверхности сиденья не менее 400 мм; поверхность сиденья с заглублённым передним краем. Монитор должен быть расположен на уровне глаз оператора на расстоянии 500-600 мм. Согласно нормам, угол наблюдения в горизонтальной плоскости должен быть не более 45 градусов к нормали экрана. Лучше если угол обзора будет составлять 30 градусов. Кроме того, должна быть возможность выбирать уровень контрастности и яркости изображения на экране [11].

Должна предусматриваться возможность регулирования экрана:

– по высоте +3 см;

– по наклону от 10 до 20 градусов относительно вертикали;

– в левом и правом направлениях.

В помещении 131 соблюдены нормы по организации рабочей зоны исследователя [11].

5.2 Производственная безопасность

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

Сотрудник, допущенный к работе на лабораторной экспериментальной ионно-плазменной установке, должен быть не моложе 18 лет, не иметь медицинских противопоказаний, пройти вводный инструктаж и инструктаж по безопасности труда на рабочем месте. К самостоятельной работе может быть допущен работник после специального обучения и проверки знаний правил электробезопасности, приобретенных навыков и безопасных способов выполнения работы и имеющий не менее II группы по электробезопасности.

Повторную проверку знаний норм и правил электробезопасности, правил безопасной работы с химическими веществами необходимо проводить с работниками не реже 1 раза в 12 месяцев, повторный инструктаж на рабочем месте – не реже 1 раза в 3 месяца.

Проведение всех видов инструктажа должно оформляться в журнале регистрации инструктажа установленного образца, с обязательными подписями получившего и проводившего инструктаж, с указанием даты проведения инструктажа, наименования и номеров инструкции на виды работ, по которым проводится инструктаж.

При введении в эксплуатацию нового оборудования сотрудники, которые будут работать на нем, должны пройти внеплановый инструктаж по правилам эксплуатации и безопасной работе на данном оборудовании [10].

При работе на экспериментальной установке, предназначенной для процессов ионно-плазменного азотирования и магнетронного осаждения, имеют место опасные и вредные производственные факторы [12]. Возможные опасные и вредные факторы при работе с экспериментальной установкой и

нормативные документы, их регулирующие сведены в таблице 17, расположенной ниже:

Таблица 17 – Возможные опасные и вредные факторы при работе с экспериментальной ионно-плазменной установкой

Факторы		Нормативные документы
Вредные	Опасные	
Повышенный уровень шума		ГОСТ 12.1.029-80 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства и методы защиты от шума. Классификация» [13]
Отсутствие естественного света		СанПин 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение» [14]
	Электрический ток	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность» [15]
Отклонение показателей микроклимата		СанПин 2.2.4.548-96. «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» [16]
	Химическое воздействие на организм	Пожаро- и взрывобезопасность промышленных объектов. ГОСТ Р 12.1.004-85 ССБТ. Пожарная безопасность [17]

5.2.1 Опасные и вредные производственные факторы

1. Повышенный уровень шума

Основными источниками шума при работе на ионно-плазменной установке являются форвакуумный и высоковакуумный насос. Форвакуумный пластинчато-роторный насос работает во время создания и поддержания вакуума в камере, шум от которого не более 72 дБ [18], что соответствует допустимому уровню шума в лабораториях для проведения научных экспериментов, который не должен превышать 75 дБ [13]. Шум от турбомолекулярного насоса также не превышает 50 дБ. Поэтому вклад в изменении уровня шума форвакуумные и высоковакуумные насосы не вносят.

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

Рекомендуется использовать следующие средства коллективной защиты: акустические экраны, перегородки, объемные поглотители звука, виброизолирующие опоры; средства индивидуальной защиты: специальные наушники, вкладыши в ушную раковину, противошумные каски. В качестве материалов для шумозащитных экранов применяют минеральную вату, композитные материалы, пластмассы, поликарбонаты, древесина, металлы, кирпичную кладку, бетон.

В помещении 131 19-го корпуса ТПУ соблюдены рамки допустимого повышенного уровня шума [13].

2. Освещение

Согласно [14] в лаборатории, где происходит периодическое наблюдение за ходом производственного процесса при постоянном нахождении людей в помещении освещенность при системе общего освещения должна быть 150 Лк.

Правильно спроектированное и выполненное освещение обеспечивает высокий уровень работоспособности, оказывает положительное психологическое действие на человека и способствует повышению производительности труда. На рабочей поверхности должны отсутствовать резкие тени, которые создают неравномерное распределение поверхностей с

различной яркостью в поле зрения, искажает размеры и формы объектов различия, в результате повышается утомляемость и снижается производительность труда.

Для защиты от слепящей яркости видимого излучения (факел плазмы в камере с катализатором) применяют защитные очки, щитки, шлемы. Очки на должны ограничивать поле зрения, должны быть легкими, не раздражать кожу, хорошо прилегать к лицу и не покрываться влагой.

При анализе структурных и функциональных свойств материалов использовался персональный компьютер. Освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 300 – 500 лк. Освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана. Освещенность поверхности экрана должна быть не более 300 лк.

2.1. Расчет искусственного освещения

Расчёт общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока, учитывающим световой поток, отражённый от потолка и стен. Производственное помещение, где располагается экспериментальная ионно-плазменная установка, имеет следующие параметры, которые указаны в таблице далее:

Таблица 18 – Параметры помещения

Длина (A), м	Ширина (B), м	Высота (H), м	Высота рабочей поверхности над полом (h_{pn}), м
9	4,5	4	0,8

Рассчитаем площадь помещения S:

$$S = A \cdot B = 9 \cdot 4,5 = 40,5 \text{ м}^2.$$

Выбираем светильник SENAT Apollo L, световой поток которого равен $\Phi_{лд} = 4250$ Лм, длина светильника равна 1200 мм, ширина – 180 мм.

Интегральным критерием оптимальности расположения светильников является величина λ . Принимаем $\lambda=1,3$, расстояние светильников от перекрытия $h_c = 0,2$ м. Определяем расчетную высоту светильника над рабочей поверхностью по формуле:

$$h = H - h_c - h_{\text{рп}} = 4 - 0,2 - 0,8 = 3 \text{ м.}$$

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

$$L = \lambda \cdot h = 1,3 \cdot 3 = 3,9 \text{ м.}$$

Расстояние от крайнего ряда светильников до стены:

$$I = L/3 = 1,3 \text{ м.}$$

Определяем индекс помещения определяется по формуле:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)} = \frac{9 \cdot 4,5}{3 \cdot (9 + 4,5)} = 1.$$

Зная коэффициент отражения свежепобеленных стен с окнами, без штор $\rho_c=50\%$, свежепобеленного потолка $\rho_{\text{п}}=70\%$ и пола – 20 %, коэффициент использования светильника равен 0,5. Коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, для помещений с малым выделением пыли K_3 равен = 1,5. Коэффициент неравномерности для люминесцентных ламп $Z = 1,1$.

Тогда количество светильников, необходимых для установки в лаборатории 131 равно

$$N = \frac{E \cdot S \cdot K_3}{\eta \cdot n \cdot \Phi_{\text{л}}} = \frac{200 \cdot 40,5 \cdot 1,5}{0,5 \cdot 1 \cdot 4250} = 5,72 \approx 6 \text{ шт.}$$

где E – требуемая горизонтальная освещенность, лк; S – площадь помещения, м; K_3 – коэффициент запаса; U – коэффициент использования; $\Phi_{\text{лд}}$ – световой поток одной лампы, лм; η – коэффициент использования светильника.

Световой поток группы ламп светильника определяется по формуле:

$$\Phi = \frac{E \cdot A \cdot B \cdot K_3 \cdot Z}{N \cdot n \cdot \eta} = \frac{200 \cdot 9 \cdot 4,5 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{6 \cdot 1 \cdot 0,5} = 4455 \text{ лм.}$$

Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{лд}} - \Phi}{\Phi_{\text{лд}}} \leq 20\% = -10\% \leq \frac{4250 - 4455}{4250} \leq 20\%$$

Таким образом: $-10\% \leq -4,8\% \leq 20\%$, необходимый световой поток светильника не выходит за пределы требуемого диапазона.

Размещаем светильники в ряд 6 штук. В помещении 131 19-го корпуса размещено 6 светильников и уровень освещения является допустимым [14].

3. Электробезопасность

Неисправность проводки установки может стать причиной поражения электрическим током. Прохождение тока может вызывать у человека раздражение и повреждение различных органов. Пороговый не отпускающий ток составляет 6–16 мА. Защита от воздействия электрического тока осуществляется путем проведения организационных, инженерно-технических и лечебно-профилактических мероприятий [20]. Источником опасности в помещении лаборатории 131 является ионно-плазменная установка. Так как поражение электрическим током может произойти при прикосновении к токоведущим частям, находящимся под напряжением, на которых остался заряд или появилось напряжение.

Электробезопасность должна обеспечиваться конструкцией электроустановок, техническими способами и средствами защиты. Электроустановки и их части выполнены таким образом, чтобы работающие не подвергались опасным и вредным воздействиям электрического тока и электромагнитных полей, и соответствовать требованиям электробезопасности.

Согласно [20] помещения по электробезопасности помещения классифицируются

- безопасные;
- с повышенной опасностью;
- особо опасные.

Используемое помещение относится к классу помещений с повышенной опасностью, так как в данном помещении возможно одновременное

прикосновения человека к имеющей соединение с землей металлоконструкцией здания с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования, с другой стороны. Также присутствует ядовитый взрывоопасный газ. Граничные значения напряжений, при повышении которых требуется выполнение защиты от косвенного прикосновения для помещений с повышенной опасностью составляет >25 В переменного тока и >60 В постоянного тока [20].

Для предотвращения поражения электрическим током следует проводить следующие мероприятия:

1. содержать оборудование в работоспособном состоянии и эксплуатировать его в соответствии с нормативно-техническими документами;
2. своевременно проводить техническое обслуживание;
3. соблюдать технику безопасности при работе с оборудованием;
4. проводить инструктаж для работников.

В качестве мероприятий по обеспечению безопасности работы с электрооборудованием могут быть использованы:

1. изоляция токоведущих частей;
2. малое напряжение в электрических цепях;
3. защитное заземление, зануление, защитное отключение;
4. применение разделяющих трансформаторов;
5. использование оболочек и блокировок для предотвращения возможности случайного прикосновения к токоведущим частям и ошибочных действий или операций;
6. защитные средства и предохранительные приспособления.

В лаборатории 131, где проводилась работа на ионно-плазменной установке, имеются следующие индивидуальные средства защиты:

—основные: изолирующие клещи и электроизмерительные указатели напряжения, диэлектрические перчатки;

—дополнительные: диэлектрические галоши, диэлектрические коврики, изолирующие подставки.

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.

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

Так как в помещении 131 19-го корпуса ТПУ нет электроустановок с напряжением 1000 В и выше, а также относительная влажность не превышает 60%, то помещение обладает 1 классом опасности по электробезопасности [20].

4. Отклонение показателей микроклимата в помещении

При работе установки включены охлаждающие системы и одновременно с этим процессом происходит нагрев вакуумной камеры, что приводит к изменению микроклимата в помещении. Параметрами, характеризующими микроклимат, являются:

1. температура воздуха;
2. относительная влажность воздуха;
3. скорость движения воздуха.

Выполняемые работы относятся к Iб категории работ. К данной категории относятся работы с интенсивностью энергозатрат 121–150 ккал/ч (140–174 Вт), производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой и сопровождающиеся некоторым физическим напряжением. Температура наружных поверхностей технологического оборудования, ограждающих устройств, с которыми соприкасается в процессе труда человек, не превышает 45 °С.

Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений представлены в таблице ниже.

Таблица 19 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	21-23	60-40	0,1
Тёплый	22-24	60-40	0,1

В лаборатории нет кондиционера, есть окно, которое можно открыть и специальная модификация к окну в виде блока с фильтрами, предположительно это некоторого рода вентиляция.

Объём помещения равен 162 м³. Кратность воздухообмена определяется формулой:

$$K_{\text{в}} = \frac{L_{\text{возд}}}{V_{\text{помещ}}},$$

где $L_{\text{возд}}$ – расчётный воздухообмен помещения, м³/ч; $V_{\text{помещ}}$ – объём помещения, м³.

Расчётный воздухообмен помещения вычисляют по формуле:

$$L = L_0 \cdot N,$$

где L_0 — нормативный воздухообмен на 1 человека, м³/(чел·ч); N – количество людей в помещении.

Для лабораторий нормативный воздухообмен на 1 человека в производственных помещениях с естественным проветриванием составляет 30 м³/(чел·ч) [21], в лаборатории 131 19-го корпуса Томского политехнического университета редко находится кто-то постоянно, а если и появляется, то 1 или 2 человека, крайне редко 4, так что рассчитаем для 4 человек:

$$L = 30 \cdot 4 = 120 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Следовательно кратность воздухообмена равняется:

$$K_{\text{в}} = \frac{120}{162} = 0,74$$

Округляем полученное значение до большего целого значения и получаем 1.

Подберём систему кондиционирования со следующей производительностью:

$$L = 1 \cdot 162 = 162 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Необходимо подобрать систему кондиционирования с производительностью такого диапазона, чтобы значение $162 \text{ м}^3/\text{ч}$ помещалось в него.

Кондиционер Haier Tundra обладает производительностью в $450 \text{ м}^3/\text{ч}$, что говорит о возможности его использовать [28].

5. Фактор, обладающий свойствами химического воздействия на организм

Химические вещества, используемые в данной работе, находятся в газообразном состоянии. При выполнении работ на установке, есть опасность проникновения этих химических веществ в организм человека через органы дыхания, глаза, поверхности ран, желудочно-кишечный тракт, кожу, и возникновения при этом местных или общих поражений. В результате этого могут быть поражены внутренние органы, нервная система и головной мозг. В таблице 4 приведены характеристик веществ, используемых при работе на ионно-плазменной вакуумной установке, их характеристики, воздействие данных веществ на человека и меры оказания первой медицинской помощи при проявлении признаков отравления данными веществами.

Для обеспечения безопасности при работе на вакуумной установке используются следующие технические способы и средства коллективной и индивидуальной защиты:

- средства защиты органов дыхания (респираторы, противогаз, защитная маска);
- вытяжная вентиляция;
- дополнительная вытяжная вентиляция над камерой;
- средство защиты глаз (очки).

Также персонал, при работе на установке, должен быть обеспечен спецодеждой (халат х/б, перчатки резиновые, нарукавники пластиковые (дежурные), спецобувь (сапоги) [24].

Таблица 20 – Характеристики веществ, используемых при работе на ионно-плазменной установке

Наименования	Характеристика	ПДК в воздухе рабочей зоны, мг/м ³	Класс опасности	Оказание первой медицинской помощи при отравлении
Аргон	Газ без цвета и запаха	0,1 – 1,0	2 класс опасности	Свежий воздух, покой. Обратиться за медицинской помощью.
Кислород				
Азот	Газ без цвета и запаха	Более 10,0	4 класс опасности	Свежий воздух, покой. Обратиться за медицинской помощью.

5.3 Пожаровзрывоопасность

Пожар - неконтролируемое горение вне специального очага, наносящее материальный ущерб и способное вызвать травмы и гибель людей.

Согласно [26] выделяют следующие опасные факторы пожара.

1. Открытый огонь и искры;
2. Повышенная температура окружающей среды;
3. Токсичные продукты горения полимерных материалов;
4. Пониженная концентрация кислорода;
5. Дым;
6. Обрушение конструкций.

Помещения подразделяются на категории А, Б, В1 – В4, Г и Д, а здания – на категории А, Б, В, Г и Д [27]. Определение категорий помещений осуществляется путем последовательной проверки принадлежности помещения к категориям от высшей (А) к низшей (Д).

Таблица 21 – Классификация помещений по степени их пожаровзрывоопасности

Категория	Характеристика веществ и материалов помещения, находящихся (образующихся) в помещении
А	Горючие газы (ГГ), легковоспламеняющиеся взрывопожароопасные жидкости (ЛВЖ) 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 кПа.
Б	Горючие пыли или волокна, ЛВЖ взрывопожароопасные с температурой вспышки более 28°С, горючие жидкости (ГЖ) в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные пылевоздушные или паровоздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчетное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 кПа.
В1-В4	ГЖ и трудногорючие жидкости, твердые пожароопасные горючие и трудногорючие вещества и материалы (в том числе пыли и волокна), веществ и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом только гореть, при условии, что помещения, в которых они имеются в наличии или обращаются, не относятся к категориям А или Б.
Г	Негорючие вещества и материалы в горячем, раскаленном или расплавленном состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистого тепла, искр и пламени; ГГ, ГЖ и твердые вещества, которые сжигаются или утилизируются в качестве топлива.
Д	Негорючие вещества и материалы в холодном состоянии.

К пожароопасной категории В следует относить помещения, в технологическом процессе которых находятся или обращаются горючие

материалы, при этом уровень пожарной опасности учитывается введением такого критерия как пожарная нагрузка и устанавливается дифференцированной классификацией, в соответствии с которой помещения категории В разделяются на 4 категории (В1, В2, В3, В4) в зависимости от удельной временной пожарной нагрузки (в помещении).

Лаборатория 131 19-го корпуса ТПУ относится к категории помещения В4, удельная пожарная нагрузка в котором составляет $1 - 180 \text{ мДж/м}^2$. Приведём классификацию пожароопасных зон [27].

Таблица 22 – Классификация взрывоопасных зон

Класс	Характеристика помещения
П-I	зоны, расположенные в помещениях, в которых обращаются горючие жидкости с $T_{\text{всп.}}$ выше 61°C .
П-II	зоны, расположенные в помещениях, в которых выделяются горючие пыль или волокна с НКПВ более 65 г/м^3 к объему воздуха.
П-IIa	зоны, расположенные в помещениях, в которых обращаются твердые горючие вещества.
П-III	расположенные вне помещений зоны, в которых обращаются горючие жидкости с $T_{\text{всп.}}$ выше 61°C или твердые горючие вещества

Лаборатория 131 19-го корпуса ТПУ относится к П-I классу [27].

5.4 Снижение воздействие опасных и вредных факторов

Условия эксплуатации вакуумной установки:

- численность работающих на установке: 1-2 человека;
- производственный шум: менее 65 дБ;
- уровень вибрации: отсутствует;
- загрязненность и запыленность воздушной среды: отсутствует;
- влажность воздуха: 65%;
- электромагнитные излучения: отсутствуют;
- классификация помещения по степени опасности поражения электрическим током: повышенной опасности;
- наличие химических веществ в сжатом виде в отдельных секторах с дополнительной вентиляцией.

В производственном помещении, где расположена вакуумная установка, оптимальные величины температуры воздуха и его относительной влажности соблюдаются.

Для защиты от высокого напряжения, формируемому узлами установки, используются коллективные и индивидуальные средства защиты. Предлагаемыми средствами коллективной защиты от данного опасного фактора являются: информационные таблички, размыкатели и встроенная в генераторе система отключения при коротком замыкании, защитное заземление. В качестве средств индивидуальной защиты должны использоваться диэлектрические перчатки, штанги для снятия остаточного напряжения, и диэлектрические коврики [20]. Также на узлах проводки находятся электрические изоляторы, которые снимаются при необходимости.

5.5 Безопасность в аварийных и чрезвычайных ситуациях

В данном помещении используются (обращаются) негорючие вещества и горючие газы, жидкости и твердые вещества. Также в данном помещении расположены баллоны с инертными и реакционными газами (азот, аргон, кислород).

В таблице ниже приведены возможные чрезвычайные и аварийные ситуации, которые могут возникнуть в лаборатории 131 19-го корпуса ТПУ, меры предосторожности, меры по ликвидации последствий АС/ЧС.

Таблица 23 – Возможные АС/ЧС, которые могут возникнуть в лаборатории 131 19-го корпуса ТПУ, меры предосторожности, меры по ликвидации последствий АС/ЧС

№	Тип АС/ЧС	Меры предосторожности	Меры по ликвидации последствий АС/ЧС
1	Удушение человека, либо взрыв вследствие разгерметизации газовых баллонов	Проведение периодических инструктажей по работе с газовыми баллонами; устанавливать баллоны вертикально и на расстоянии не менее 1 метра от радиаторов и не менее 5 метров от источников тепла с открытым огнём [19].	Покинуть помещение, оставив включенной вентиляцию до полного исчезновения запаха; вызвать МЧС (моб. 112).
2	Пожар	Использование только исправного оборудования; проведение периодических инструктажей по пожарной безопасности; отключение электрооборудования, освещения и	Вызвать пожарный расчет (тел. 01, моб. 101, 112); отключить электропитание, выключить вентиляцию; закрыть двери и окна, чтобы убрать доступ кислорода для горения; воспользоваться первичными средствами пожаротушения (огнетушитель ВП,

		электропитания при предполагаемом отсутствии обслуживающего персонала или по окончании работ.	УК или П) или песком. При невозможности – начать эвакуацию людей из помещения; сообщить о пожаре администрации лаборатории и института.
3	Поражение током	Использование только исправного оборудования и проводки; проводить периодическую проверку целостности электрических проводов; проводить инструктаж по электробезопасности; использовать защитные непроводящие кожухи для узлов проводки, где человек вероятнее всего может коснуться проводов; использовать индивидуальные средства защиты от электричества.	Устранить источник тока; вызвать скорую медицинскую помощь (моб. 112); пострадавший вероятнее всего будет без сознания, необходимо тщательно контролировать его текущее состояние: измерять пульс и слушать сердцебиение; при остановке сердца, немедленно приступить к искусственному дыханию и непрямому массажу сердца.

5.6 Заключение по разделу ”Социальная ответственность”

В данном разделе были рассмотрены вредные и опасные факторы при эксплуатации экспериментальной ионно-плазменной установки, а именно: повышенный уровень шума [13]; освещение [14]; микроклимат [16], электробезопасность [20]; повышенная пожаро- и взрывоопасность [26].

Помещение 131 19-го корпуса ТПУ отнесено:

по электробезопасности к первому классу [20];

по пожаровзрывоопасности к категории В4 [26].

Приведены возможные аварийные и чрезвычайные ситуации, которые могут возникнуть в лаборатории 131 19-го корпуса ТПУ, меры предосторожности, меры по ликвидации последствий АС/ЧС.

Заключение

В ходе выполнения представленной работы были получены кривые гистерезиса характерные для реактивного магнетронного разряда. Определены режимы работы установки ТиОН-2М при том или ином соотношении реактивных и рабочего газа:

Для кислорода: 0,0 – 0,6 мл/мин – металлический режим; 0,6 – 5,4 мл/мин – переходной режим; 5,4 – 7,2 мл/мин – реактивный режим.

Для азота: 0,0 – 6,0 мл/мин – металлический режим; 6,0 – 14,4 мл/мин – переходной режим; 14,4 – 18,0 мл/мин – реактивный режим.

Гистерезисная петля в атмосфере кислорода имеет большую ширину с чёткими границами режимов работы, петля азота существенно уже и не имеет чётких границ режимов работы.

Температура плазмы разряда в атмосфере аргона составила 147 °С, температура термопары не вошла в равновесие с температурой плазмы и следует считать температуру плазмы в данном случае около 155 °С. Для магнетронного разряда полученного в атмосфере чистого газа либо смеси составило: кислород – 152 °С; азот – 134 °С; смесь 1:1 N:O – 155 °С; смесь 2:1 N:O – 161 °С; смесь 3:1 N:O – 159 °С.

Температура атмосферы вакуумной камеры в зоне подложкодержателя при напуске аргона, азота или кислорода составила 31 °С.

Верификация оценки температуры из соотношения расхода газа и давления показала, что давление аргона находилось в диапазоне 0,13 – 0,16 Па, расчет температуры показал значения равное 139 °С, при давлении 0,16 Па, температура составила 167 °С.

Были расшифрованы и проанализированы оптические спектры реактивного магнетронного разряда. Все оптические спектры подтверждают нахождение системы в том или ином режиме работы, полученные спектры являются характеристическими для магнетронного разряда полученного в атмосфере кислорода и/или азота.

В ходе выполнения раздела "Финансовый менеджмент" был выполнен анализ конкурентоспособности, который подтвердил конкурентоспособность данной работы. Проведён SWOT-анализ проекта, который показал, что потенциальных сильных сторон у проекта больше, чем слабых, что доказывает перспективность данного проекта. Бюджет научно-технического исследования составил 372192 рубля.

В ходе выполнения раздела "Социальная ответственность" были рассмотрены вредные и опасные факторы при эксплуатации экспериментальной ионно-плазменной установки. Приведены возможные аварийные и чрезвычайные ситуации, которые могут возникнуть в лаборатории 131 19-го корпуса ТПУ, меры предосторожности, а также меры по ликвидации последствий АС/ЧС. Было определено, что все вредные и опасные факторы находились в допустимом диапазоне.

Список источников

1. Е.В. Берлин, Л.А. Сейдман Ионно-плазменные процессы в тонкоплёночной технологии. М.: Техносфера, 2010. - 528 с.
2. Разновидности магнетронных распылительных систем (мрс), [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://studfile.net/preview/2113745/page:4/> (Дата обращения 07.06.2023)
3. А.И. Кузьмичёв Магнетронные распылительные системы. Кн. 1. Введение в физику и технику магнетронного распыления. - К.: Аверс, 2008. - 244 с.
4. Самарский национальный исследовательский университет имени академика С. П. Королева, [Электронный ресурс]: учебное пособие. - Знакомство с вакуумно-технологической установкой магнетронного распыления "Caroline D12A" и исследование технологических режимов получения аморфных и поликристаллических слоёв неорганических материалов. - Режим доступа: <https://ipsiras.ru/Lab/CKPO/Nanofot/doc/D12APosobie.pdf> (Дата обращения 07.06.2023)
5. Е.В. Берлин, Л.А. Сейдман Получение тонких плёнок реактивным магнетронным распылением М.: Техносфера, 2014. - 256 с.
6. Н.Н. Никитенков Исследование структуры, элементного и фазового состава покрытий на основе оксинитридов титана, осаждённых методом реактивного магнетронного распыления / Е.С. Киселева, М.Е. Конищев, В.С. Сыпченко, А.Н. Никитенков, В.Ф. Пичугин, И.А. Шулепов, М. Эппле // Поверхность, рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования, 2014, № 12, 5 с.
7. Н. Никонов Термопары. Типы, характеристики, конструкции, производство / Никонов Н.В. - М.: ООО "МТК "МЕТОТЕХНИКА", 2015. - 62 с.

8. Н.А. Романов Эффект Зеебека и Пельтье / И.В. Романовский // Минск: Актуальные проблемы энергетики, 2022. - 4 с.
9. С.Н. Янин Лекции по основам физики плазмы. Часть 1 / С.Н. Янин; Томский политехнический университет. - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. - 78 с.
10. ГОСТ 12.0.004-2015 ССБТ. Организация обучения безопасности труда. Общие положения
11. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 "Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы" (с изменениями на 21 июня 2016 года)
12. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация
13. ГОСТ 12.1.003–83 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности
14. СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение»
15. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность»
16. СанПин 2.2.4.548-96. «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений»
17. ГОСТ 12.1.004-85 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования
18. Пластинчато-роторный насос 2НВР-5ДМ1 [Электронный ресурс] // Интернет-магазин «VacuumID» Режим доступа: <https://vacuum-id.net/catalogue/vakuumnye-nasosy/vakuummash-2nvr-5dm1/> (Дата обращения 04.05.2023)
19. ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты
20. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов
21. СНиП 41-01-2003 «Отопление, вентиляция и кондиционирование»
22. ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация

23. ГОСТ 10157-2016 Агон газообразный и жидкий. Технические условия
24. ГОСТ 9293-74 Азот газообразный и жидкий. Технические условия
25. ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования
26. СП 12.13130.2009 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывоопасной и пожарной безопасности
27. Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. Инструкция по охране труда при хранении и эксплуатации газовых баллонов [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200039245> (Дата обращения 04.05.2023)
28. Кондиционер Haier Tundra HSU-07HTDN03/R2 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://haieronline.ru/catalog/ventilation-and-heating/acs/konditsioner-haier-tundra-hsu-07htdn03-r2/#properties> (Дата обращения 04.05.2023)