

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

Физико-технический институт

Направление подготовки: Техническая физика

Кафедра экспериментальной физики

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Моделирование переноса вещества от мишени к подложке при осаждении покрытий с использованием импульсных магнетронных распылительных систем

УДК 621.647.23-047.58:621.793.182

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОД21	Баженов Андрей Юрьевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор кафедры ЭФ ФТИ	Блейхер Галина Алексеевна	д.ф.-м.н		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. менеджмента	Сечина Ася Александровна	к.х.н		

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав. кафедры ЭФ ФТИ	Кривобоков Валерий Павлович	д.ф.-м.н., профессор		

Томск – 2016 г.

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

Физико-технический институт
Направление подготовки: Техническая физика
Кафедра экспериментальной физики

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой
_____Кривобоков В.П.

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

дипломной работы бакалавра

Студенту:

Группа	ФИО
ОД21	Баженову Андрею Юрьевичу

Тема работы:

Моделирование переноса вещества от мишени к подложке при осаждении покрытий с использованием импульсных магнетронных распылительных систем	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	3223/С от 27.04.2016

Срок сдачи студентом выполненной работы:	16.06.2016
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	1) параметры ИМРС (частота следования импульсов, средняя мощность, время импульса, время периода, скважность); 2) математическая модель тепловых и эрозионных процессов в мишени при работе МРС; 3) геометрические параметры МРС и мишени; 4) пространственно-временная эволюция температуры мишени;
---------------------------------	---

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p>	<p>1) особенности функционирования ИМРС и свойств покрытий (структурных, функциональных и т.п), получаемых с их помощью;</p> <p>3) предполагаемые механизмы формирования покрытий;</p> <p>4) распыление и расчет характеристик потока распыленных частиц; анализ корректного применения используемых допущений;</p> <p>5) математическое моделирование тепловых процессов в мишени ИМРС и испарения с ее поверхности;</p> <p>6) алгоритм и компьютерная программа для расчета переноса вещества от мишени к подложке в режиме молекулярного пучка при работе импульсных магнетронов с испарением мишеней;</p> <p>7) обоснование адекватности разработанной компьютерной программы;</p> <p>8) эволюция плотности потока осаждаемых частиц в течение периода работы ИМРС;</p> <p>9) энергетические свойства осаждаемого потока;</p> <p>10) состав и плотность потока осаждаемых атомов в зависимости от параметров ИМРС;</p> <p>11) поток энергии, поступающей на подложку при осаждении покрытий с использованием магнетронной распылительной системы с теплоизолированной мишенью.</p>
<p>Перечень графического материала</p>	<p>1) актуальность поставленной задачи;</p> <p>2) схема осаждения покрытий с использованием МРС;</p> <p>3) формы импульсов;</p> <p>4) допущения расчетного алгоритма;</p> <p>5) входные данные для разработанной программы impulse mode;</p>

	6) эволюция температуры в мишени; 7) скорость эрозии в течение одного периода тока ИМРС; 8) плотность потока осаждаемых частиц; 9) оценка корректности результатов расчета; 10) энергетическое распределение осаждаемых частиц хрома; 11) средняя кинетическая энергия и среднее время движения частиц; 12) средняя энергия испаренных частиц; 13) поток энергии, поступающей на подложку; 14) выводы.
--	--

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Социальная ответственность	Гоголева Татьяна Сергеевна
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Сечина Ася Александровна

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

Закономерности формирования потока осаждаемых частиц при работе ИМРС на примере получения металлического покрытия

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	10.09.2015
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор кафедры ЭФ ФТИ	Блейхер Галина Алексеевна	д.ф.-м.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОД21	Баженов Андрей Юрьевич		

Результаты обучения бакалавров

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

К од Р езульт ата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
Р 1	Использовать фундаментальные законы природы и естественнонаучных дисциплин, физико-математический аппарат, методы математического анализа, моделирования, оптимизации и статистики для решения задач в различных отраслях технической физики.	Требования ФГОС (ПК-2, 3). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
Р 2	Участвовать в теоретических и экспериментальных исследованиях в различных отраслях технической физики, связанных с современными высокотехнологическими способами обработки материалов, основанными на использовании радиационных и плазменных потоков; самостоятельно осваивать современную физическую аналитическую и технологическую аппаратуру, применять современные методы исследования свойств материалов и различных структур, проводить стандартные и сертификационные испытания технологических процессов, оборудования и изделий, изучать научно-техническую информацию, разрабатывать адекватные физические и математические модели изучаемых объектов.	Требования ФГОС (ПК-4, 10, 11, 12, 13). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
Р 3	Владеть основными методами работы с информацией, самостоятельно работать на компьютере в средах современных операционных систем и наиболее распространенных прикладных программ и программ компьютерной графики, применять современные образовательные и информационные технологии.	Требования ФГОС (ПК-5, 6, 7). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
Р 4	Знать иностранный язык на уровне, позволяющем работать с научно-технической литературой и участвовать в международном сотрудничестве в области технической физики.	Требования ФГОС (ПК-8). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI

К од Р езульт ата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС , критериев и/или заинтересованных сторон
Р 5	Участвовать в производственно-технологической деятельности, определять основные параметры технологических процессов, анализировать свойства физико-технических объектов, изделий и материалов, применять современные информационные технологии, пакеты прикладных программ для расчета технологических параметров, обосновывать принятие конкретного технического решения при разработке технологических процессов и изделий.	Требования ФГОС (ПК-14, 15, 17). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
Р 6	Использовать нормативные документы по качеству, стандартизации и сертификации изделий, элементы экономического анализа производственно-технологических циклов, знать и выполнять правила техники безопасности, производственной санитарии, пожарной безопасности и нормы охраны труда.	Требования ФГОС (ПК-16, 18). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
Р 7	Участвовать в проектно-конструкторской деятельности, разрабатывать функциональные и структурные схемы элементов и узлов экспериментальных и промышленных электрофизических установок, реализующих современные пучковые и плазменные технологии, проектировать технологические процессы и оборудование с использованием современных информационных технологий.	Требования ФГОС (ПК-19, 20). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
Р 8	Участвовать в организационно-управленческой деятельности, уметь работать в команде и организовывать работу исполнителей, находить и принимать управленческие решения.	Требования ФГОС (ОК-3, ПК-21, 22, 23). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
Р 9	Внедрять и коммерциализировать результаты исследований и проектно-конструкторских разработок, уметь оценивать инновационный потенциал новой продукции в области современных технологий, основанных на использовании радиационных и плазменных потоков.	Требования ФГОС (ПК-21, 22, 23, 24). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
Универсальные компетенции		

К од Р езульт ата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС , критериев и/или заинтересованных сторон
Р 10	Осознавать социальную значимость своей профессии, развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень, в течение всей жизни самостоятельно обучаться новым методам исследований, пополнять свои знания в области современной технической физики и смежных наук, расширять и углублять свое научное мировоззрение, повышать свою квалификацию и мастерство, поддерживать здоровый образ жизни	Требования ФГОС (ОК-1, 2, 6, ПК-1). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
Р 11	Свободно и грамотно пользоваться русским и иностранными языками как средством делового и профессионального общения, владеть навыками публичной дискуссии, создавать и редактировать тексты профессионального назначения.	Требования ФГОС (ОК-2). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
Р 12	Уметь критически переосмысливать свой накопленный социальный и профессиональный опыт, изменять при необходимости профиль своей профессиональной деятельности, следовать этическим и правовым нормам и нести ответственность за последствия своей профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ОК-5, 7, ПК-3). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI

Реферат

Работа включает в себя 138 страниц, 35 таблиц, 31 рисунков, 6 глав, 3 приложений, 33 литературных источников.

Ключевые слова: Моделирование, металлические покрытия, импульсные системы, плотность потока, тепловые процессы, поток энергии.

Данная работа посвящена изучению тепловых и эрозионных процессов при работе импульсных магнетронных распылительных систем. В качестве исследуемых характеристик выступают плотность потока осаждаемых частиц (распылительная и испарительная), средняя и наиболее вероятная кинетическая энергия осаждаемых частиц, поток энергии, поступающий на подложку.

Цель работы: создание численной модели и работоспособной компьютерной программы для описания процесса переноса вещества от мишени к подложке при работе импульсной магнетронной распылительной системы с испарением мишени, во-вторых, получение данных об эволюции и характеристиках плотности потока осаждаемых частиц в зависимости от рабочих параметров магнетронов.

Здесь рассматриваются следующие задачи. Во-первых, нужно разработать расчётный алгоритм, компьютерную программу и проверить её работоспособность. Во-вторых, следует провести серию расчётов для ИМРС с существенно различающимися характеристиками (среднечастотные и сильноточечные ИМРС), а также проанализировать характеристики осаждаемого потока и энергии, поступающей при этом на подложку.

Содержание

Введение.....	10
Глава 1 Особенности осаждения покрытий с использованием импульсных магнетронов.....	12
1.1 Параметры ИМРС, особенности их функционирования.....	12
1.2 Особенности свойств покрытий (структурных, функциональных и т.п.).....	16
1.3 Предполагаемые механизмы формирования покрытий.....	21
1.4 Постановка задачи исследований.....	24
Глава 2 Механизмы эрозии и тепловых процессов в мишени ИМРС.....	27
2.1 Распыление и расчет характеристик потока распыленных частиц. Анализ корректного применения используемых допущений.....	27
2.2 Математическое моделирование тепловых процессов в мишени ИМРС и испарения с ее поверхности.....	31
Глава 3 Математическая модель и компьютерная программа для расчета переноса вещества от мишени к подложке при работе ИМРС.....	34
3.1 Описание алгоритма и разработанного программного модуля для расчета переноса вещества от мишени к подложке в режиме молекулярного пучка.....	34
3.2 Обоснование адекватности разработанного модуля. Сравнение с результатами расчетов других программ.....	37
Глава 4 Закономерности формирования потока осаждаемых частиц при работе ИМРС на примере получения металлического покрытия.....	45
4.1 Эволюция плотности потока осаждаемых частиц в течение периода работы ИМРС.....	45
4.2 Энергетические свойства осаждаемого потока.....	54
4.3 Поток энергии, поступающей на подложку при осаждении покрытий с использованием магнетронной распылительной системы с теплоизолированной мишенью.....	59
Глава 5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	69
5.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....	69
5.1.1 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	69
5.1.2 SWOT анализ.....	72
5.1.3 Технология QuaD.....	76
5.2 Планирование научно-исследовательских работ.....	78
5.2.1 Структура работ в рамках научного исследования.....	78
5.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ.....	79

5.2.3 Разработка графика проведения научного исследования.....	80
5.2.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ).....	84
5.2.5 Расчет материальных затрат НТИ.....	85
5.2.6 Основная заработная плата исполнителей темы.....	86
5.2.7 Дополнительная заработная плата исполнителей темы.....	89
5.2.8 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	89
5.2.9 Накладные расходы.....	90
5.3 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	91
Глава 6 Социальная ответственность.....	95
6.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	95
6.2 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния при работе на ПЭВМ.....	97
6.2.1 Организационные мероприятия.....	97
6.2.2 Технические мероприятия.....	98
6.2.3 Условия безопасной работы.....	99
6.3 Электробезопасность.....	101
6.4 Пожарная и взрывная безопасность.....	102
Заключение.....	105
Список использованных источников.....	107
Приложение А.....	110
Приложение Б.....	111
Приложение В.....	125

Введение

В настоящее время магнетронные распылительные системы (МРС) находят все большее применение для модификации поверхности. С помощью МРС можно улучшать поверхностную структуру материалов, например, повышать твердость покрытия, износостойкость, шероховатость, гладкость и т.д. Поэтому данное средство обработки материалов нашло свое применение в машиностроении, космической промышленности, медицине и т.д.

В настоящее время разработано и эксплуатируется значительное количество разновидностей МРС. Среди них особое место занимают импульсные магнетроны (ИМРС). В экспериментах было обнаружено, что их использование приводит к формированию улучшенных функциональных характеристик покрытий по сравнению с обычными МРС на постоянном токе [1].

ИМРС работают с импульсными источниками питания, которые обеспечивают плотность мощности в течение импульса на 2-3 порядка выше по сравнению с МРС на постоянном токе. Также высокий ток в импульсе приводит к формированию большей концентрации ионизированных частиц в эрозионном потоке с поверхности мишени. Улучшение свойств покрытий при использовании ИМРС связывают с этими обстоятельствами. Например, в работе [2] показано, что высокая плотность энергии в течении импульса приводит к лучшей адгезии и механическим свойствам покрытий, чем при работе магнетронных распылительных систем на постоянном токе.

В настоящее время нет полной ясности того, какие именно механизмы ответственны за значительное улучшение свойств покрытий при использовании ИМРС и как они зависят от рабочих параметров магнетронов. По всей видимости здесь большую роль играют характеристики потоков энергии и осаждаемого вещества на модифицируемой поверхности. Необходим анализ плотности потока осаждаемых частиц и энергии, поступающая на подложку. Так как эволюция эмиссионных процессов и осаждения происходит очень быстро, то для изучения таких процессов используют математические модели.

Есть ещё одно обстоятельство, требующее глубокого анализа, в том числе с привлечением математического моделирования. Дело в том, что производительность современных МРС довольно низкая и часто не удовлетворяет требованиям промышленности. Для ИМРС эта проблема стоит ещё более остро, так как скорость осаждения покрытий с их использованием ещё ниже, чем при работе МРС на постоянном токе. Одним из действенных способов решения этой проблемы считают создание испарения на поверхности мишени дополнительно к распылению [3]. Для этого используют горячую твердотельную или жидкофазную мишень. Как меняются при этом свойства осаждаемого потока частиц по сравнению с обычными режимами работы магнетронов, пока не выяснено. Представляется, что математическое моделирование может оказаться полезным при решении задачи о закономерностях изменения характеристик осаждаемого потока и энергии, поступающей на подложку, в этом случае.

Поэтому, целью данной работы является, во-первых, создание численной модели и работоспособной компьютерной программы для описания процесса переноса вещества от мишени к подложке при работе импульсной магнетронной распылительной системы с испарением мишени, во-вторых, получение данных об эволюции и характеристиках плотности потока осаждаемых частиц в зависимости от рабочих параметров магнетронов.

Здесь рассматриваются следующие задачи. Во-первых, нужно разработать расчётный алгоритм, компьютерную программу и проверить её работоспособность. Во-вторых, следует провести серию расчётов для ИМРС с существенно различающимися характеристиками (среднечастотные и сильноточечные ИМРС), а также проанализировать характеристики осаждаемого потока и энергии, поступающей при этом на подложку.

Глава 1 Особенности осаждения покрытий с использованием импульсных магнетронных распылительных систем (ИМРС)

1.1 Параметры ИМРС, особенности их функционирования

Магнетронная распылительная система, представляет собой диодную систему, где в качестве катода выступает распыляемая мишень, а анод представляет собой подложку, на которое наносится покрытие. В межэлектродном пространстве находится рабочий газ, который необходим для генерации свободных ионов и электронов (плазма). Для повышения степени ионизации и локализации плазмы в прикатодной области, около катода располагают магнитную систему. Таким образом, скрещенное магнитное и электрическое поле, приводит к тому увеличению траектории движения электрона (циклоида) и увеличению степени ионизации плазмы. При подаче в магнетронную распылительную систему напряжение в межэлектродном пространстве зажигается разряд, который приводит к ионизации рабочего газа. Так как на катоде находится отрицательный потенциал, ионы рабочего газа притягиваются к нему, имея кинетическую энергию E_i . Бомбардировка ионами рабочего газа приводит к процессу распыления мишени и нанесения покрытия на подложку.

Получение тонких пленок и покрытий сложного состава с различными функциональными особенностями приводит к необходимости введения различных новых технических приёмов. Например, вводят реакционный газ для получения покрытий из химических соединений. Обычно в этом случае используют разряды переменной частоты, реже на постоянном токе.

Существует множество проблем, связанных с использованием МРС на постоянном токе. Например, данный режим работы не позволяет распылять мишень-диэлектрик, или приводит к возникновению эффекта «исчезающего» анода и т.д. Подобные недостатки можно обойти, если использовать источник питания импульсного (10-1000 кГц) напряжения. Кроме этого, использование ИМРС[2] позволяет снизить тепловую нагрузку на подложке и мишени за счет увеличения скважности импульсов.

К основным преимуществам ИМРС можно привести [4]:

- 1) минимизирование дугообразования на мишени;

- 2) высокая скорость осаждения пленок сложного состава;
- 3) высокая плотность плазмы около подложки;
- 4) улучшение свойств покрытий.

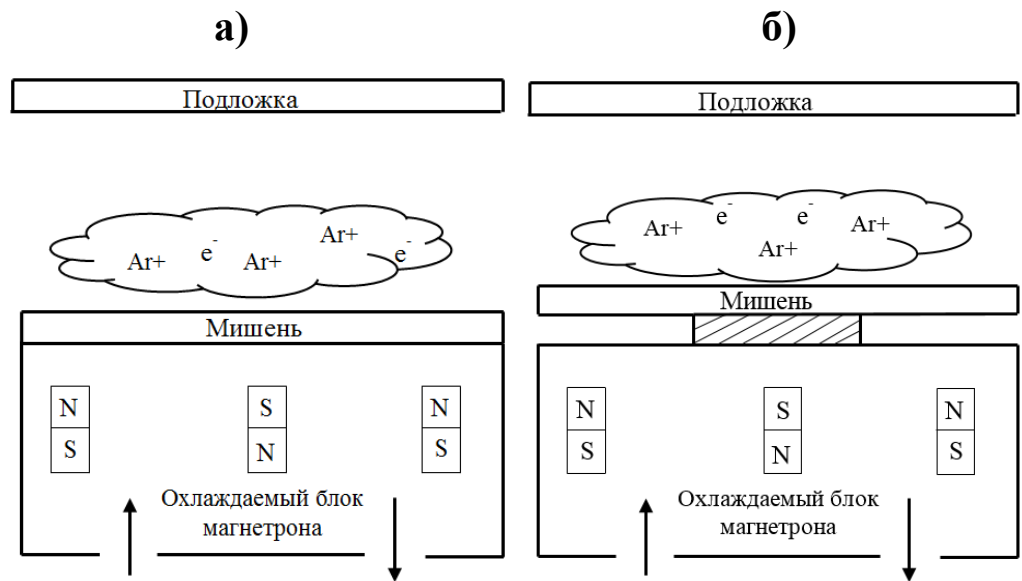


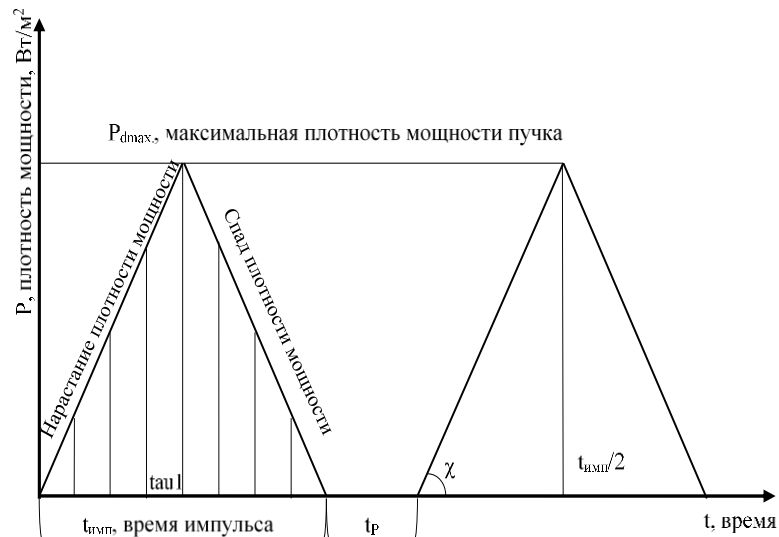
Рисунок 1.1 Магнетронная распылительная система, а – с холодной мишенью; б – с горячей мишенью

В ИМРС также можно наблюдать протекание нелинейных эффектов, которые обуславливаются нелинейной зависимостью некоторых параметров от мгновенной плотности мощности разряда. К примеру, неравномерность в распределении глубины эрозионной канавки вдоль поверхности мишени в импульсном режиме оказывается ещё более значительной, нежели при работе МРС на постоянном токе.

Электрическое питание ИМРС осуществляется униполярным импульсом отрицательной полярности с частотой следования импульсов ν_p , равной обратной величине времени между импульсами $1/t_p$ с длительностью импульса t_{imp} . Импульсы могут отличаться по форме (имеется в виду форма функциональной зависимости тока, напряжения и мощности от времени), см. рисунок 1.2. Это обстоятельство может приводить к различным функциональным особенностям покрытия. Поэтому перед процедурой

нанесения функционального покрытия важно правильно подобрать нужную форму импульса.

а)



б)

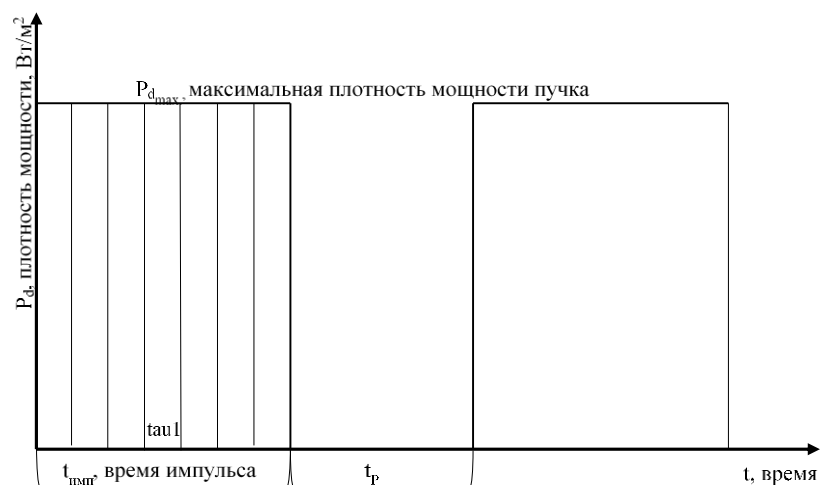


Рисунок 1.2 – Форма плотности мощности импульса, а – треугольная форма импульса; б – прямоугольная форма импульса

Мощность, вкладываемую в разряд, можно усреднить по времени следующими способами:

- 1) мгновенная мощность $P_{inst} = U(t) \cdot I(t)$;

$$2) \text{ мощность, усредненная по периоду } P_{per} = \frac{\int_0^{t_{imp}} U(t) \cdot I(t) dt}{t_{per}};$$

$$3) \text{ мощность, усредненная по импульсу } P_{imp} = \frac{\int_0^{t_{imp}} U(t) \cdot I(t) dt}{t_{imp}}.$$

Очевидно, что между двумя последними выражениями можно записать связь, что $P_{imp} \cdot \delta = P_{per}$, где $\delta = t_{imp}/t_{per}$ – коэффициент заполнения импульса.

Важным фактором для создания покрытия с хорошими качествами является величина плотности потока осаждаемого вещества. Чем выше данная характеристика, тем чище и плотнее образуется покрытие на подложке [1].

Скорость роста покрытия и плотность потока осаждаемых частиц определяется интенсивностью эмиссионных процессов. Обычно в магнетронных распылительных системах эмиссионные процессы создаются столкновением бомбардирующих ионов с атомами мишени. Показателем интенсивности эмиссии является коэффициент распыления S , который часто определяют с использованием модели Зигмунда для первичного выбивания [5]. При этом плотность потока эмитированных частиц линейно зависит от плотности мощности ионного тока, направленного на мишень из области локализации магнетронной плазмы.

Существует проблема повышения скорости осаждения покрытий с использованием МРС. Для импульсных магнетронов она особенно актуальна, так как их производительность часто оказывается ниже, чем при работе МРС на постоянном токе с одинаковой средней мощностью.

Одним из способов решения этой проблемы рассматривают использование так называемых «горячих» твердотельных и жидкофазных мишеней, когда на их поверхности наряду с распылением может появиться испарение.

Отличительной особенностью подобных МРС является минимизация отвода тепла от мишени к охлаждаемым элементам катодного узла. Тогда мишень сильно разогревается, и на её поверхности к распылительной

компоненте эрозии добавляется испарение. Однако стоит отметить, что для горячих твердотельных мишеней пригодны материалы с высокой скоростью сублимации, так как мишень в этом случае не должна расплавляться. На рисунке 1.1 показан схематичный рисунок организации МРС с горячей и холодной мишенью.

В данном случае теплопроводный сток из мишени к охлаждаемым элементам катодного узла будет существенно ограничен по сравнению с обычными МРС. Поэтому мишень будет разогреваться под действием плазмы. В некоторых случаях можно создать значительное испарение атомов и тем самым повысить плотность потока осаждаемых частиц.

1.2 Особенности свойств покрытий

Импульсный разряд имеет ряд преимуществ по сравнению со стационарным. Как уже отмечалось ранее, это - высокая плотность плазмы, воздействующей на мишень, значительная ионизация осаждаемых частиц, возможность уменьшения теплового воздействия на обрабатываемое изделие и др.

В настоящее время для увеличения скорости осаждения, улучшения однородности получаемых покрытий, улучшения их качества широко используются импульсные разряды постоянного тока (dc), высокочастотные разряды (RF) или микроволновые разряды (MW)[6].

Применение импульсной плазмы позволяет также снизить шероховатость, препятствует образованию кластеров, снижает повреждения осаждаемого покрытия, вызываемые накопленным поверхностным зарядом. На рисунке 1.3, показаны образцы, обработанные магнетроном на постоянном токе и импульсном магнетроне [7].

Как видно на рисунке 1.3, рельеф поверхности образца, обработанного магнетроном на постоянном токе, оказался грубее. Таким образом, импульсный режим работы улучшает структуру поверхности.

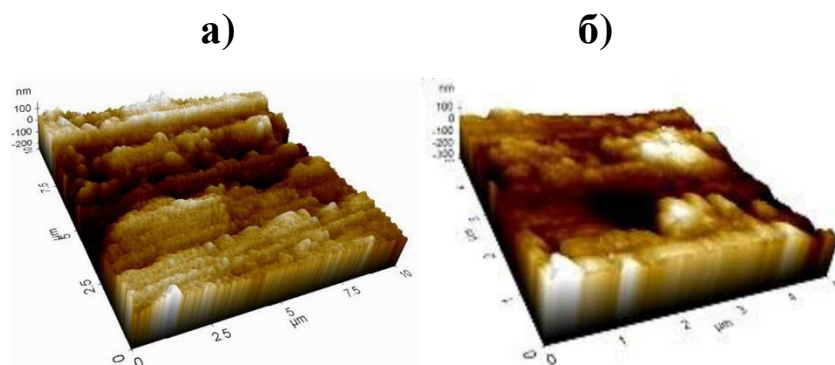


Рисунок 1.3 – Рельеф поверхности: а) поверхность, обработанная магнетроном на постоянном токе, б) поверхность, обработанная импульсным магнетроном

Использование ИМРС позволяет создать покрытия с плотной столбчатой структурой, содержащей минимальное количество дефектов. На рисунке 1.4, показана морфология поверхности CrB_2 покрытия [8].

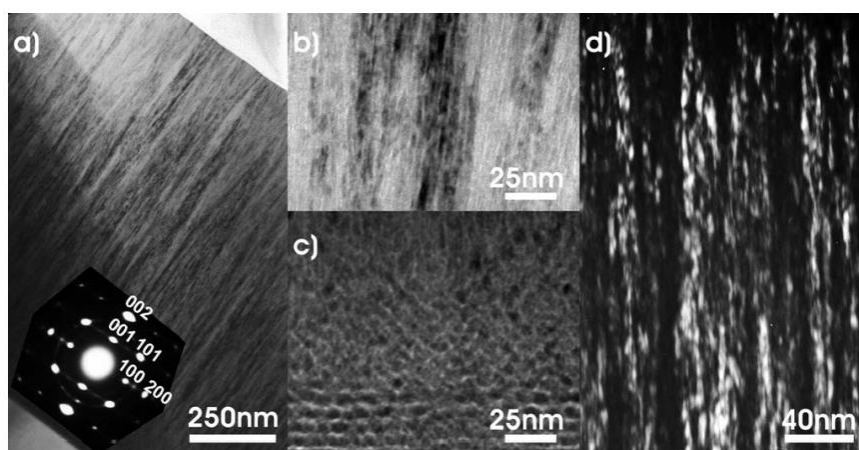


Рисунок 1.4 – Морфология покрытия CrB_2 , нанесенного импульсным магнетроном; а)и б)- срезy покрытия по толщине, d)- наностолбчатая структура покрытия; с)- влияние примеси кислорода на покрытие

Как видно из данного рисунка, импульсный режим работы приводит к образованию нанострубчатой структуры. Диаметр трубок составляет 4-6 нм. При добавление реакционных газов, например, кислорода, приводит к изменению структуры поверхности, а именно к образованию концентрических колец с поликристаллической структурой.

Использование dc-магнетронной распылительной системы, приводит к изменению стехиометрического состава поверхности. Изменяется соотношения количества Cr к В. Увеличение количество бора в структуре, приводит к повышению количества дефектов. Рельеф данного покрытия, как и ИМРС является столбчатой, но так как повышается внутреннее напряжение и плотность покрытия, такая структура приводит к образования большого числа дефектов, рисунок 1.5 [9].

Основной особенностью ИМРС является то, что с ее помощью можно легко контролировать свойствами покрытий. Меняя частоту импульса, коэффициент заполнения, напряжение на мишени и плотность мощности, можно легко варьировать стехиометрическим составом пленки и механическими свойствами.

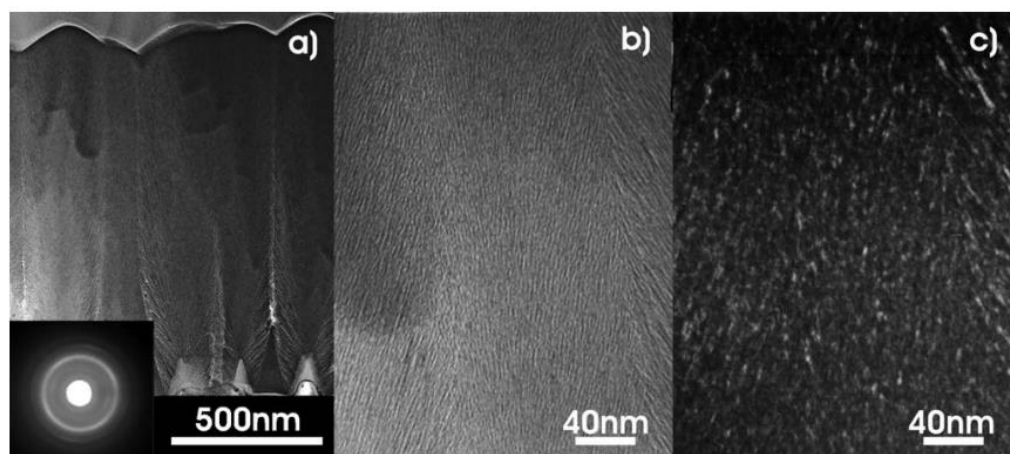
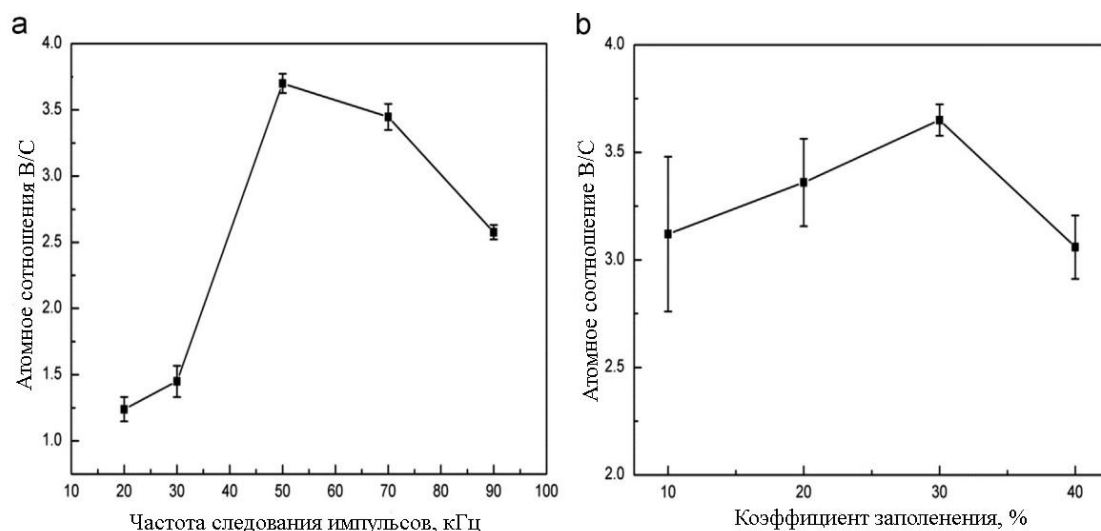


Рисунок 1.5 – Морфология покрытия CrB_2 , нанесенного магнетроном на постоянном токе; а) и b) - срез покрытия по толщине, с)- наноструктура поверхности

Так, например, в работе [10] рассматривается влияние ИМРС на такие свойства покрытий, как микроструктура, твердость и прочность тонких пленок. В данной работе рассматривались два режима работы ИМРС.



*Рисунок 1.6 – Влияние ИМРС на атомное соотношение бора и углерода;
а)- от частоты следования импульсов при фиксированном коэффициенте
заполнения 30%, б)- от коэффициента заполнения при фиксированной
частоте следования импульсов 50 кГц*

В первом режиме работы, изменяли частоту следования импульса от 20-90 кГц с зафиксированной величиной коэффициента заполнения 30%. Во втором режиме, изменяли уже коэффициент заполнения от 10 до 40% с фиксированной величиной частоты следования импульса 50 кГц. Было замечено, что эти два параметра очень сильно влияют на стехиометрический состав бора и углерода в покрытиях, рисунок 1.6.

При увеличении следования импульса концентрация бора резко увеличивается, достигая максимума примерно при 50 кГц, затем начинает медленно уменьшаться. Такая же зависимость наблюдается при изменении коэффициента заполнения, т.е. кривая имеет ярко выраженный максимум при 30%, после чего концентрация бора начинает падать. Таким образом, меняя соотношения данных параметров, можно варьировать составом покрытия.

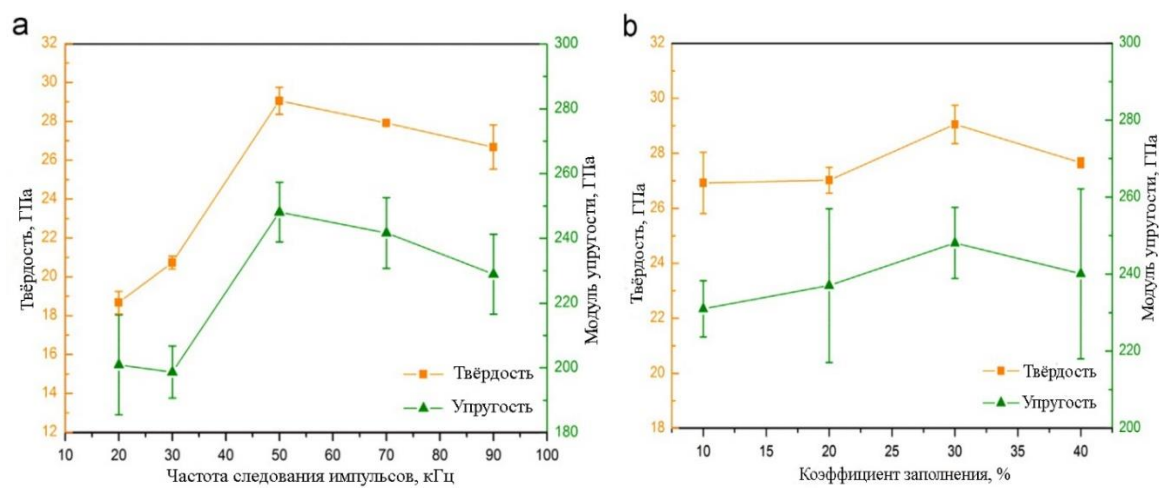


Рисунок 1.7 – Зависимость механической свойств покрытий от параметров ИМРС; а)- от частоты следования импульсов при 30% коэффициента заполнения, б)- от коэффициента заполнения при частоте следования импульсов 50 кГц

При изменении состава подложки необходимо учесть тот факт, что изменяются при этом и механические свойства покрытий. Поэтому можно предположить, что твердость, и прочность материала также сильно зависят от данных параметров. В подтверждение этого на рис. 1.7 показаны зависимости твёрдости и модуля упругости полученных покрытий от частоты следования импульсов и коэффициента заполнения.

Как видно на рис. 1.7, твердость и модуль упругости имеют максимумы при изменении указанных выше параметров ИМРС, и очень сильно зависят от них. Так, твердость можно варьировать от 15 до 30 ГПа при изменении частоты импульсов.

Наряду с твердостью и изменением микроструктуры поверхности происходит и изменения прочности покрытия при изменении параметров ИМРС. Увеличение концентрации бора в составе пленки приводит к внедрению бора в кристаллическую структуру углерода. Тем самым создаются более сильные связи в ней. Таким образом, варьируя составом бора в пленки, можно изменять прочность данной поверхности. Например, при 50 кГц частоты следования импульсов и 30% коэффициента заполнения импульса наблюдается максимум

концентрации бора. Следовательно, пленка должна иметь наивысшую прочность. Она составляет около 3.3 МПа.

1.3 Этапы формирования покрытий при работе МРС и способы их моделирования

Одна из главных задач при осаждении покрытий направлена на то, чтобы научиться управлять свойствами пленок и поверхности при формировании покрытий на подложках. Для этого, необходимо создавать различные средства или инструменты для прогноза свойств получаемого покрытия и определения оптимального режима облучения поверхности. Для решения такого рода задач пытаются использовать численное моделирование явлений, начиная с формирования ионного потока, направленного на мишень, до получения пленки.

Формирование пленки включает в себя три основных процесса. Во-первых, формирование эрозионного потока частиц путем воздействия высокоэнергетических ионов на мишень. Воздействием высокоэнергетических ионов на мишень приводит к множеству эффектов, таким как распыление, испарение, ионно-ионная эмиссия, ионно-стимулированная десорбция, ионно-электронная эмиссия и излучение в различном диапазоне частот. При образовании пленки, учитываются только процессы распыления и испарения [11].

На втором этапе происходит перенос вещества от поверхности мишени к подложке с учетом их взаимодействий с плазмой.

Третий этап - осаждение атомов вещества мишени на поверхности подложки, образование адсорбированного дублета, что приводит к образованию центра кристаллизации и росту пленки.

На величину скорости эрозии (темпа роста покрытия) влияет множество факторов и параметров. Один из них - коэффициент распыления. Расчет коэффициента распыления часто производится из модели Зигмунда [12].

В качестве первого этапа математического моделирования, необходимо оценить эффективность распылительной компоненты данного процесса. Для ее учета, ввели характеристику коэффициента распыления [13].

Коэффициент распыления, в первичной записи имеет следующий вид:

$$S = N_{расп} / N_0^+ \quad (1.1)$$

где N_0^+ – число ионов первичного пучка, попавших на образец за время облучения; $N_{расп}$ – число атомов, распыленных (выбитых) из образца в результате облучения.

Для вычисления коэффициента распыления, в модели Зигмунда используются несколько основных допущений:

- 1) средний пробег иона в твердом теле от одного столкновения с атомом до другого зависит только от ядерной плотности;
- 2) столкновения иона происходят с каждым атомом мишени по ходу движения иона;
- 3) направление движения выбитых атомов – изотропно, поэтому к поверхности движется $n/3$ атомов.

Схема осаждения эрозионного материала, генерируемого с поверхности мишени под действием мощных пучков заряженных частиц, приведена на рисунке 1.8.

Пучки заряженных частиц генерируются из плазмы в прикатодной области. Подложка и мишень находятся, как правило, параллельно друг к другу.

Процесс эрозии и нанесения покрытия можно моделировать несколькими способами. В работе [14] и в программном комплексе «Simtra» процесс нанесения покрытия моделируется статистическим методом Монте-Карло.

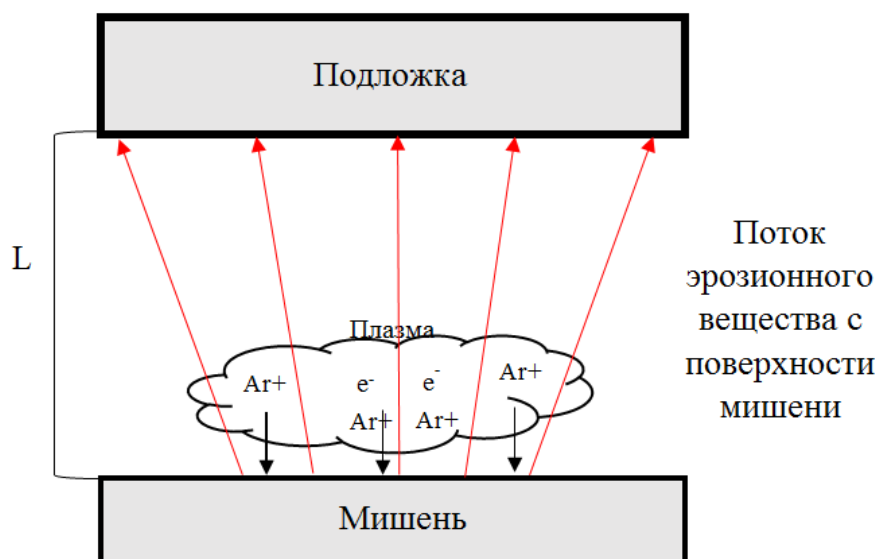


Рисунок 1.8 – Схема осаждения покрытий из эрозионного материала, удаляемого с поверхности твердотельной мишени МРС

Данный метод является довольно сложным. Он построен на предположении, что распыляемые частицы испытывают неоднократные столкновения при движении от мишени к подложке. Описание учёта этих столкновений, производимое, данным методом, не всегда приводит к значительному повышению точности, так как мы имеем дело с таким давлением рабочего газа в камере, при котором длина свободного пробега частиц больше расстояния между мишенью и подложкой. Поэтому целесообразность использования метода Монте-Карло, в особенности для оценочных расчётов, не всегда оправданна. Имеется необходимость в более простых моделях, учитывающих только самые важные факторы.

К примеру, интенсивность потока атомов и молекул в первом приближении можно рассматривать как косинусоидальное распределение, формула 1.2.

$$I = I_0 \cos(\varphi) \quad (1.2)$$

где φ – угол между нормалью к поверхности элементарной площадки на поверхности мишени и вектором соединяющие центры элементарных площадок мишени и подложки.

Плотность потока осаждаемых частиц на элементарной площадке подложки, расположенной параллельно поверхности мишени, эмитированных из элементарной площадки на поверхности мишени, может быть описана с использованием второго закона Ламберта-Кнудсена [15]:

$$v_{dep} = \frac{v_i dS_i \cos^4 \varphi_i}{\pi n_0 L^2} \quad (1.3)$$

Подобный подход использован авторами статьи [16] при расчёте скорости роста покрытий при работе МРС на постоянном токе.

Этот подход был использован и в настоящей работе. Но он был переработан с тем, чтобы учесть эволюцию плотности потока осаждаемых частиц в течение периода ИМРС.

1.4 Постановка задачи исследования

Целью данной работы является, во-первых, создание численной модели и компьютерной программы, описывающей перенос вещества от мишени к подложке при работе импульсной магнетронной распылительной системы с испарением мишени, во-вторых, получение с её помощью закономерностей формирования плотности потока осаждаемых частиц и потока энергии, поступающей на подложку при осаждении покрытия, в зависимости от параметров ИМРС.

Принципиальные условия для задачи:

- 1) импульсная подача мощности в цепь МРС и импульсный характер распыления,
- 2) на поверхности мишени существует испарение;
- 3) мишень и подложка соизмеримы по площади поверхности.

Алгоритм расчёта плотности потока осаждаемых частиц должен быть построен на основе использования косинусоидального распределения эмитированных частиц и второго закона Ламберта-Кнудсена.

Дана импульсная магнетронная распылительная система, для которой параметры функционирования задаются в широких пределах:

- 1) плотность мощности в импульсе $P_d=10\div 10^3$;
- 2) длительность импульса $10^{-5}\div 10^{-3}$ с;
- 3) временная форма импульса близка к треугольной и прямоугольной;
- 4) частота следования импульсов $10\div 10^3$ Гц.

Мишень и подложка расположены параллельно друг другу. Мишень представляет собой плоский диск радиуса R . В общем случае эрозионный поток атомов с поверхности мишени может состоять из двух независимых компонентов: распылительной и испарительной. Необходимо получить временное распределение плотности потока атомов, осаждаемых в любую заданную точку на подложке.

Результаты необходимо было проанализировать на примере двух существенно отличающихся режимов работы импульсной магнетронной распылительной системы: сильноточного и среднечастотного с относительно невысокой плотностью мощности в импульсе.

Для сильноточного режима характерны частоты следования импульсов 100 Гц и коэффициент заполнения 5%; для среднечастотного - 15кГц и 24%.

Для обоих режимов работы рассмотреть диапазон мощности, усреднённой по периоду, от 400-3000 Вт.

Необходимо получить временные зависимости мгновенных скоростей эрозии и роста покрытия. Причем, следует учесть тот факт, что при одинаковой мощности, усреднённой по периоду, значения мощности, усреднённой по импульсу, будут сильно различаться для этих двух режимов.

Необходимо произвести расчет средней и наиболее вероятной кинетической энергии распыленных и испаренных частиц, сделать анализ зависимости средней энергии осаждаемых частиц и энергии, поступающей на подложку, от параметров ИМРС.

Для расчета потока энергии, поступающей на подложку, необходимо учесть наиболее значимые компоненты, а именно: кинетическую энергию распыленных и испаренных частиц, энергию, выделяющуюся при конденсации осаждаемых атомов, а также энергию теплового излучения мишени.

Расчёты выполнить на примере металлической мишени.

При разработке алгоритма расчётов нужно использовать следующие допущения:

- 1) эмитированные атомы летят в режиме молекулярного пучка, то есть расстояние между мишенью и подложкой меньше чем длина свободного пробега эмитированных атомов, $L < \lambda$;
- 2) пренебречь разностью во времени прилета частиц, т.е. предположить, что справедливо соотношение $\Delta L/v \ll t_{imp}$, где ΔL – разница в расстоянии, которая имеется в движении частиц, эмитированных с разных участков на поверхности мишени;
- 3) интенсивность потока описывается по закону косинуса, формула 1.2;
- 4) для описания испарения использовать закон Ламберта-Кнудсена.

Глава 2 Механизмы эрозии в ИМРС

2.1. Распыление и расчет характеристик потока распыленных частиц. Анализ корректного применения используемых допущений

Изучение процессов магнетронного распыления и исследование баланса энергии показало, что ионный ток является основным носителем энергии от плазмы к мишени [17]. Таким образом, работу МРС, а именно скорость эрозии поверхности мишени, описывают в терминах бомбардировкой поверхности ионным пучком.

При бомбардировке поверхности ионы с энергиями, превышающими несколько десятков эВ, распыляют поверхность мишени. Энергия ионов, за исключением той, которая отразилась и которую унесли распылённые атомы, идёт на нагрев мишени. Причём температура нагрева может быть очень высокой. Мишень крепится к корпусу магнетрона, внутри которого находятся магниты. Если корпус магнетрона специально не охлаждать, то магнитная система может выйти из строя. Поэтому магнетроны охлаждают в процессе их работы. В обычных МРС, где мишень плотно прикреплена к корпусу магнетрона, она тоже охлаждается. В этом случае механизм эрозии её поверхности – столкновительное распыление. Распыление происходит при любой мощности разряда. Его интенсивность пропорциональна коэффициенту распыления и плотности потока бомбардирующих ионов:

$$V_s = \frac{S \cdot I_{ion}}{e \cdot n_0} \quad (2.1)$$

где V_s – скорость распыления, I_{ion} – плотность ионного тока, e – заряд электрона; n_0 – ядерная плотность вещества мишени.

В формуле (2.1) легко можно учесть и многозарядные ионы.

Так как энергия ионов в МРС не превышает нескольких сотен эВ, то для расчёта коэффициента распыления можно использовать формулу, предложенную Зигмундом для режима первичного выбивания [13]:

$$S = \frac{3}{4\pi^2} \alpha \frac{\gamma E_0}{U_s} \quad (2.2)$$

где $\gamma = \frac{4M_1M_2}{(M_1+M_2)^2}$ (M_1 – масса налетающего иона, M_2 – масса атомов мишени); α – параметр, зависящий от отношения массы атомов мишени и налетающих ионов.

Значение параметра α , аппроксимируют следующим образом [5]:

$$\alpha = \begin{cases} 0,1 + 0,155(M_2/M_1)^{0,73} & \text{при } (M_2/M_1) \leq 50 \\ 0,321 + 0,0332(M_2/M_1)^{1,1} & \text{при } (M_2/M_1) > 50 \end{cases} \quad (2.3)$$

Коэффициент распыления (2.2) с учетом параметра α , описываемого формулой (2.3), будет использоваться для расчёта скорости распыления.

Коэффициент распыления зависит от множества факторов: от энергии падающих ионов, от направления пучка ионов по отношению к поверхности мишени, от кристаллической структурой мишени, от природы взаимодействующих частиц и т.д. [18]. Также незначительную роль может играть температура мишени [19]. Однако коэффициент распыления поверхности металла мало различается для твёрдого и жидкого состояния [20].

Будем полагать, что плотность мощности ионного тока P_{ion} и плотность мощности, вкладываемой в разряд, P_d связаны следующим приближённым соотношением [17]:

$$P_{ion} = 0.6U_d \cdot 0.95I_d = 0.57P_d \quad (2.4)$$

Тогда скорость удаления частиц с элементарной площадки мишени за счёт распыления будет рассчитываться по формуле 2.5.

$$V_s = \frac{3\alpha M_1 M_2 \cdot 0.57 P_d}{\pi^2 (M_1 + M_2)^2 n_0 U_s} \quad (2.5)$$

Расчет скорости осаждаемого покрытия будет происходить с использованием закона Ламберта-Кнудсена.

Кинетическая энергия распылённых частиц оценивается с помощью спектра Томпсона для распылённых атомов $N(E)$ [19]. С его помощью можно рассчитать наиболее вероятную кинетическую энергию, которую имеют распыленные атомы.

$$N(E)dE \sim \frac{E}{(E+U_s)^{3-2m}} dE \quad (2.6)$$

где E – кинетическая энергия распылённых атомов твёрдого тела; U_s – энергия связи атомов в поверхностных слоях мишени; m – коэффициент, характеризующий парные атомные взаимодействия, лежащий в интервале 0-0.2.

Из уравнения (2.6) видно, что вид распределения зависит только от энергии связи атомов. Это значит, что его максимум будет постоянной величиной.

Из данного выражения можно определить наиболее вероятную кинетическую энергию распылённых частиц:

$$E_p = \frac{U_s}{2-2m}. \quad (2.7)$$

Для линейного каскада смещения, характерны низкие энергии ионов, а значит m , в выражение (2.7), можно принять равным 0 [19]. Таким образом, скорость движения распыленных частиц, будет равна:

$$v_{cp} = \sqrt{U_s/M_1} \quad (2.8)$$

Энергия связи атомов в мишени U_s , представляет собой ту энергию, которую необходимо приложить, чтобы разделить твердое тело на составляющие атомы. Её часто определяют через энергию когезии, или энергию сублимации вещества [5].

На основе скорости образования эрозийного материала, которая находится из выражения 2.3, можно рассчитать скорость роста толщины осаждаемого покрытия, в любой точке на подложке. Пока в работе будут лишь рассчитываться, скорость роста толщины на поверхности подложки перпендикулярной точки распыления, с элементарной площадки дисковой мишени радиуса R .

Скорость роста толщины осаждаемого покрытия при распылении с некоторой элементарной площадки с координатами (x;y) при параллельном расположении мишени и подложки определяется из выражение Ламберта-Кнудсена, формула 2.7.

$$v_{dep} = \frac{v_{cp} dS_i \cos \varphi_i^4}{\pi L^2} \quad (2.9)$$

где v_{cp} – скорость движения распылённых частиц с элементарной площадки dS_i ; φ_i – угол между нормалью от элементарной площадки dS_i и центром осаждения на элементарную площадку dS_{xy} ; L – расстояние между мишенью и подложкой.

Если площадь мишени, с которой происходит удаление материала соизмерима с размерами подложки, то скорость роста покрытия можно рассчитать, формула 15.

$$v_{dep}(x, y) = \frac{L^2}{\pi} \iint_{S_c} \frac{v_p(t - t_{fly}) dx_c dy_c}{(L^2 + (x - x_c)^2 + (y - y_c)^2)} \quad (2.10)$$

где S_c – площадь следа пучка на мишени, t_{fly} – время лета частиц от мишени до подложки.

Стоит отметить, что тут рассматривается случай, когда скорость движения распыленных частиц постоянна на всех поверхности пучка мишени, а, следовательно, можно пренебречь разностью прихода частиц с dS_i площади, на подложку и считать, что порции частиц, имитируемых с мишени потоком частиц, приходят в один момент, схема осаждения покрытия в любой точке на подложке из элементарной области на мишени представлена на рисунке 2.1.

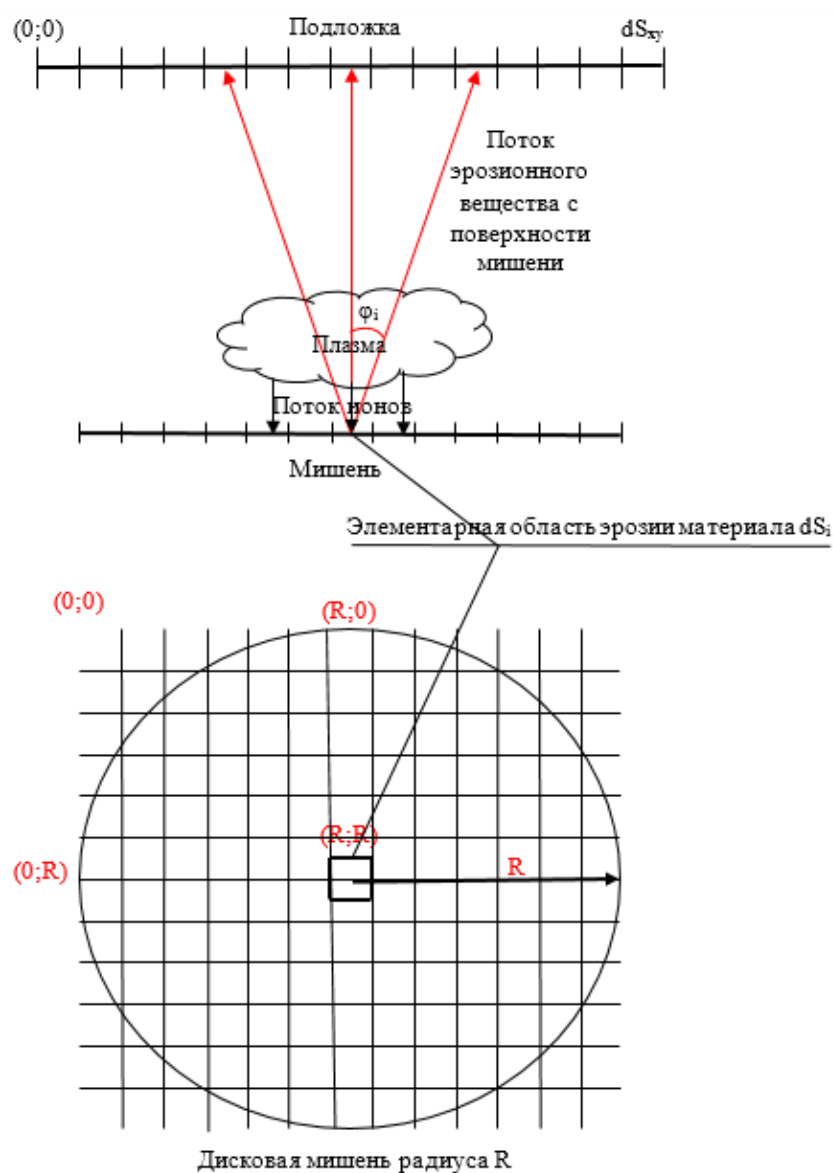


Рисунок 2.1 – Схема осаждения покрытия в любой точке на подложке из элементарной области на мишени

2.2. Математическое моделирование тепловых процессов в мишени ИМРС и испарения с ее поверхности

Главная особенность МРС с теплоизолированной мишенью состоит в том, что происходит минимизация отвода тепла от мишени за счёт теплопроводности к охлаждаемым элементам катодного узла. Из-за этого мишень может сильно разогреться и испытывать плавление. Тогда наряду с

распылительным компонентом в эрозионном потоке появятся испарённые атомы.

С повышением температуры мишени атомы кристаллической решетки начинают получать дополнительную тепловую энергию, тем самым тепловые колебания атомов усиливаются. Начиная с некоторой температуры, энергия колебания атомов превосходит энергию связи атомов в кристаллической решетке, и атомы могут разорвать связь с решёткой. Если энергия атомов достаточна для преодоления поверхностного потенциального барьера, то они начинают испаряться. Таким образом, процесс испарения атомов очень сильно зависит от температуры мишени.

Для описания скорости испарения в вакууме v_{ev} используют уравнение Герца-Кнудсена [15]:

$$v_{ev}(T) = \frac{1}{n_0(2\pi kT)^{\frac{1}{2}}} (p_{sat}(T) - P^*), \quad (2.11)$$

где n_0 – ядерная плотность вещества мишени; $p_{sat}(T)$ – давление насыщенного пара при температуре поверхности T ; P^* – гидростатическое давление над поверхностью испарения;

Для определения давления насыщенного пара воспользуемся уравнением состояния идеального газа:

$$p_{sat}(T) = n_{sat}kT_s, \quad (2.12)$$

n_{sat} – плотность насыщенных паров; T_s – температура поверхности.

Для нахождения плотности насыщенных паров над поверхностью мишени, воспользуемся приближением Эйнштейна для модели твердого тела. В ней твердое тело представляет собой совокупность гармонических осцилляторов, совершающих колебания с одинаковой частотой и энергия осцилляторов изменяется порциями в соответствии с постулатами Планка. Плотность насыщенных паров для такой модели, определяется по формуле 2.13.

$$n_{sat} = \left(\frac{mk\theta_0^2}{2\pi\hbar^2T_s} \right)^{3/2} \exp\left(-\frac{U_s}{kT_s} - 1\right), \quad (2.13)$$

где $\theta_0 = 2\nu_0/k$ – температура Дебая (температура при которой возбуждаются все моды колебаний в данном твёрдом теле); \hbar – постоянная Планка;

Для определения температуры поверхности решается уравнение теплопроводности с фазовыми переходами. Эта задача очень хорошо описана в монографии [17].

Величина гидростатического давления над поверхностью испарения складывается из давления испарившегося вещества P , находящегося над поверхностью, и давления рабочего газа в камере P_{res} . Однако, стоит отметить, что давление рабочего газа в камере составляет десятые доли Па, что на порядки меньше значений давления насыщенных паров, поэтому можно считать, что гидростатическое давление над поверхностью есть давление испарившегося вещества. Давление испарившегося вещества, тоже не всегда можно брать в расчет. Данная величина играет роль только при больших скоростях испарения [16]. При работе МРС обычно считают, что испаряющиеся атомы разлетаются в режиме молекулярного течения [16], тем самым величиной P^* можно пренебречь.

Расчет скорости роста толщины покрытия за счет испарительной компоненты будет производиться тем же способом, что и распыление. Однако ввиду того, что испарение происходит непрерывно, формулу 2.8 для скорости роста толщины покрытия можно переписать как:

$$v_{dep}(x, y) = \frac{L^2 v_{ev}(t)}{\pi} \iint_{S_c} \frac{dx_c dy_c}{(L^2 + (x - x_c)^2 + (y - y_c)^2)} \quad (2.14)$$

Таким образом, с учетом формул (2.11 и 2.14) можно проследить эволюцию плотностей потоков частиц.

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

Студенту:

Группа	ФИО
0Д21	Баженов Андрей Юрьевич

Институт	ФТИ	Кафедра	ЭФ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Техническая физика

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

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

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

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

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

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

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	18.03.2016
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры менеджмента ИСГТ	Сечина Ася Александровна	к.х.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0Д21	Баженов Андрей Юрьевич		

Глава 5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

5.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Целевой рынок – сегменты рынка, на котором будет продаваться в будущем разработка. В свою очередь, сегмент рынка – это особым образом выделенная часть рынка, группы потребителей, обладающих определенными общими признаками.

Сегментирование – это разделение покупателей на однородные группы, для каждой из которых может потребоваться определённый товар или услуга.

Исследование процессов импульсной магнетронной распылительной системы с горячей мишенью, позволят получать улучшенные покрытия с точки зрения их механических свойств. Разработанный программный комплекс, позволит провести компьютерный эксперимент и предсказать свойства покрытия.

Потенциальными потребителями являются университеты, исследовательские институты и корпоративные лаборатории исследовательскими системами, а промышленные предприятия промышленными установками и интегрированными системами производства.

5.1.1 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

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

реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов. В качестве конкурентов, будут выступать аналогичные программные модули Шведов Simtra и разработанная ранее программный комплекс для жидкофазного магнетрона hot target.

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения. Поэтому, целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты. Оценочная карта данного анализа приведена в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений.

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1.Повышение производительности труда пользователя	0,1	4	4	5	0,4	0,4	0,5
2. Удобство в эксплуатации	0,1	4	3	4	0,4	0,3	0,4
3. Надежность	0,1	4	3	4	0,4	0,3	0,4
4. Уровень шума	0,01	5	5	5	0,05	0,05	0,05
5. Безопасность	0,01	5	5	5	0,05	0,05	0,05
6. Простота в эксплуатации	0,11	5	4	4	0,55	0,44	0,44
7.Качество интеллектуального интерфейса	0,1	5	5	5	0,5	0,5	0,5

8.Возможность подключения в сеть ЭВМ	0,1	5	5	5	0,5	0,5	0,5
Экономические критерии оценки эффективности							
1.Конкурентоспособность продукта	0,05	3	4	3	0,15	0,2	0,15
2. Цена	0,1	4	4	4	0,4	0,4	0,4
3.Послепродажное обслуживание	0,05	2	4	3	0,1	0,2	0,15
4. Финансирование научной разработки	0,05	3	4	2	0,15	0,2	0,1
5. Срок выхода на рынок	0,02	2	4	2	0,04	0,08	0,04
6.Наличие сертификации разработки	0,1	5	4	5	0,5	0,4	0,5
Итого	1				4,19	4,02	4,18

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в табл. 1, подбираются, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot b_i \quad (5.1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента; B_i – вес показателя (в долях единицы); b_i – балл i -го показателя.

Итогом данного анализа, действительно способным заинтересовать партнеров и инвесторов, может стать выработка конкурентных преимуществ,

которые помогут создаваемому продукту завоевать доверие покупателей посредством предложения товаров, заметно отличающихся либо высоким уровнем качества при стандартном наборе определяющих его параметров, либо нестандартным набором свойств, интересующих покупателя. К конкурентным преимуществам производимого продукта, можно отнести простота эксплуатации, качество интеллектуального интерфейса и удобство в эксплуатации. Эти качества помогут завоевать доверие покупателей путем предложения товара высокого качества со стандартным набором определяющих его параметров.

5.1.2 SWOT анализ

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

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

Результаты первого этапа SWOT-анализа представлены таблице 5.2.

Таблица 5.2 - SWOT-анализ

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта:	Слабые стороны научно-исследовательского проекта:
	С1. Заявленная экономичность и эффективность технологии	Сл1. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой
	С2. Простота эксплуатации технологии	Сл2. Отсутствие полного технического аспекта в разработке
		Сл2. Узконаправленная разработка

	<p>С3. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями.</p> <p>С4. Качество интеллектуального интерфейса разработки</p> <p>С5. Квалифицированный персонал.</p>	<p>Сл4. Недостаток финансовых средств</p> <p>Сл5. Слабая маркетинговая политика</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ</p> <p>В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт</p> <p>В3. Повышение стоимости конкурентных разработок</p>		
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства</p> <p>У2. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства</p> <p>У3. Развитие альтернативных технологий и аналогов оборудования.</p>		

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. В

рамках данного этапа необходимо построить интерактивную матрицу проекта. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-». Интерактивная матрица проекта представлен в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	0	+	+	+	0
	B2	+	+	+	+	0
	B3	+	-	-	-	0
Сильные стороны проекта						
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	+	+	+	+	-
	У2	+	-	-	-	-
	У3	+	+	+	+	+
Слабые стороны проекта						
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	B1	+	+	+	+	+
	B2	+	-	-	+	+
	B3	+	-	-	+	+
Слабые стороны проекта						
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	B1	+	+	+	-	+
	B2	+	-	-	-	+
	B3	-	+	+	+	-

В рамках третьего этапа составлена итоговая матрица SWOT-анализа, таблица 5.4.

Таблица 5.4 - Итоговая матрица SWOT-анализ

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Заявленная экономичность и эффективность технологии.</p> <p>С2. Простота эксплуатации технологии</p> <p>С3. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями.</p> <p>С4. Качество интеллектуального интерфейса разработки</p> <p>С5. Квалифицированный персонал.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой</p> <p>Сл2. Отсутствие полного технического аспекта в разработке</p> <p>Сл2. Узконаправленная разработка</p> <p>Сл4. Недостаток финансовых средств</p> <p>Сл5. Слабая маркетинговая политика</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ</p> <p>В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт</p> <p>В3. Повышение стоимости конкурентных разработок</p>	<p>Использование инновационной структуры ТПУ, а также появления дополнительного спроса на новый продукт, являются основополагающими для продвижения продукции и повышения его качества.</p>	<p>Инновационная структура ТПУ, поможет в преодолении слабой маркетинговой политики изготавливаемого продукта, а также в проблеме поиска потенциальных потребителей. Дальнейшая модернизация данной разработки, а также квалифицированный персонал, поможет справиться с узкой направленностью данного продукта, а также повысить технический пакет данного продукта.</p>

Угрозы:	Изготовленный продукт,	Главной угрозой данной
У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства	имеет основополагающие сильные стороны, для предотвращения угроз.	разработки являются отсутствие спроса на новые технологии и развития альтернативных технологий.
У2. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства	Экономичность, простота эксплуатации и низкая стоимость производства, а также квалифицированный персонал, могут создать желаемый спрос на технологию, а также повысить качество продукта, что устранил развитие альтернативных технологий.	При устранении слабой маркетинговой политики, а также повышение технологического пакета данной разработке, помогут решить проблему с поиском потребителей и созданием альтернативных технологий.
У3. Развитие альтернативных технологий и аналогов оборудования.		

5.1.3 Технология QuaD

Технология QuaD представляет собой гибкий инструмент измерения характеристик, описывающих качество новой разработки и ее перспективность на рынке и позволяющие принимать решение целесообразности вложения денежных средств в научно-исследовательский проект. Показатели оценки качества и перспективности новой разработки подбираются исходя из выбранного объекта исследования с учетом его технических и экономических особенностей разработки, создания и коммерциализации.

Для упрощения процедуры проведения QuaD рекомендуется оценку проводить в табличной форме, таблица 5.5.

Таблица 5.5 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение (3/4)	Средневзвешенное значение (5x2)
1	2	3	4	5	0,018
Показатели оценки качества разработки					
1. Энергоэффективность	0,02	90	100	0,9	0,018
2. Помехоустойчивость	0,02	90	100	0,9	0,018
3. Надежность	0,15	90	100	0,9	0,135
4. Унифицированность	0,05	70	100	0,7	0,035
5. Уровень материалоемкости разработки	0,1	80	100	0,8	0,08
6. Уровень шума	0,01	100	100	1	0,01
7. Безопасность	0,02	100	100	1	0,02
8. Потребность в ресурсах памяти	0,05	100	100	1	0,05
9. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,05	80	100	0,8	0,04
10. Простота эксплуатации	0,05	100	100	1	0,05
11. Качество интеллектуального интерфейса	0,15	90	100	0,9	0,135
12. Ремонтопригодность	0,05	90	100	0,9	0,045
Показатели оценки коммерческого потенциала разработки					
13. Конкурентоспособность продукта	0,05	70	100	0,7	0,035
14. Уровень проникновения на рынок	0,02	60	100	0,6	0,012
15. Перспективность рынка	0,02	60	100	0,6	0,012
16. Цена	0,02	50	100	0,5	0,01
17. Послепродажное обслуживание	0,03	50	100	0,5	0,015
18. Финансовая эффективность научной разработки	0,05	60	100	0,6	0,03

19. Срок выхода на рынок	0,02	40	100	0,4	0,008
20. Наличие сертификации разработки	0,05	70	100	0,7	0,035
Итого	1				0,811

Оценка качества и перспективности по технологии QuaD определяется по формуле:

$$П_{\text{ср}} = \sum B_i \cdot B_i, \quad (5.2)$$

где $П_{\text{ср}}$ – средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки; B_i – вес показателя (в долях единицы); B_i – средневзвешенное значение i -го показателя.

5.2 Планирование научно-исследовательских работ

5.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

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

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты, численность групп может варьироваться. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей, таблица 5.6.

Таблица 5.6 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Разработка ТЗ на ВКР	Руководитель
	2	Составление технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	3	Подбор и изучение материалов по теме	Руководитель, бакалавр
	4	Выбор направления исследований	Руководитель
	5	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, бакалавр
	6	Разработка методики теоретических исследований	Руководитель, бакалавр
Теоретические и экспериментальные исследования	7	Проведение теоретических расчетов и обоснований	бакалавр
	8	Анализ и обработка полученных результатов	
	9	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	бакалавр
	10	Получить закономерности параметров теоретических исследований от параметров оборудования	бакалавр
Обобщение и оценка результатов	11	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, бакалавр
	12	Определение целесообразности проведения ОКР	Руководитель
<i>Проведение ОКР</i>			
Разработка технической документации и проектирование	13	Разработка блок-схемы, принципиальной схемы	Руководитель, бакалавр
	14	Сравнение эффективности разработанного продукта с другими	бакалавр
Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ОКР)	15	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	Руководитель, бакалавр
	16	Подготовка к защите	бакалавр

5.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит

от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожі}$ используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (5.3)$$

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

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , 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 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i} \quad (5.4)$$

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

5.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками,

характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ, таблица 7.

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

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (5.5)$$

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

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{366}{366 - 119} = 1.48 \quad (5.6)$$

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

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

Все рассчитанные значения необходимо свести в таблицу 5.7.

Таблица 5.7 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}
	t_{\min} , чел-дни	t_{\max} , чел-дни	$t_{\text{ожид}}$, чел-дни			
Разработка ТЗ на ВКР	2	4	3	Руководитель	3	4
Составление технического задания	2	4	3	Руководитель	3	4
Подбор и изучение материалов по теме	6	10	8	Руководитель, бакалавр	4	6
Выбор направления исследования и способов решения задач	8	10	9	Руководитель	9	13
Календарное	2	4	3	Руководитель,	1.5	2

планирование работ по теме				бакалавр		
Разработка методики теоретических исследований	12	16	14	Руководитель, бакалавр	7	10
Проведение теоретических расчетов	20	22	21	бакалавр	21	31
Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	4	6	5	бакалавр	5	7
Анализ и обработка полученных результатов	4	186	5	бакалавр	5	7
Получить закономерности параметров теоретических исследований от параметров оборудования	10	12	11	бакалавр	5.5	8
Оценка эффективности полученных результатов	6	10	8	Руководитель, бакалавр	4	6
Определение целесообразности проведения ОКР	6	10	8	Руководитель	8	12
Разработка блок-схемы, принципиальной схемы	4	6	5	Руководитель, бакалавр	2.5	4
Сравнение эффективности разработанного продукта с другими	6	8	7	Руководитель, бакалавр	3.5	5
Составление и оформление ПЗ	14	16	15	бакалавр	15	22
Подготовка к защите	25	30	27	Руководитель, бакалавр	13.5	20

	принципиальной схемы																	
14	Сравнение эффективности разработанного продукта другими	Руководител ь, бакалавр	5															
15	Составление и оформление ПЗ	бакалавр	22															
16	Подготовка к защите	Руководител ь, бакалавр	20															
<div style="display: flex; align-items: center; gap: 10px;"> <div style="border: 2px solid black; width: 30px; height: 20px; display: inline-block;"></div> – руководитель; <div style="border: 2px dashed black; width: 30px; height: 20px; display: inline-block;"></div> – бакалавр. </div>																		

5.2.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- 1) материальные затраты НТИ;
- 2) затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- 3) основная заработная плата исполнителей темы;
- 4) дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- 5) отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- 6) затраты научные и производственные командировки;
- 7) контрагентные расходы;
- 8) накладные расходы.

5.2.5 Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m \Pi_i \cdot N_{\text{расх}i}, \quad (5.7)$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования; $N_{\text{расх}i}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.); Π_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.

Значения цен на материальные ресурсы могут быть установлены по данным, размещенным на соответствующих сайтах в Интернете предприятиями-изготовителями (либо организациями-поставщиками).

Величина коэффициента (k_T), отражающего соотношение затрат по доставке материальных ресурсов и цен на их приобретение, зависит от условий договоров поставки, видов материальных ресурсов, территориальной удаленности поставщиков и т.д. Транспортные расходы принимаются в пределах 15-25% от стоимости материалов. Материальные затраты, необходимые для данной разработки, заносятся в таблицу 5.9.

Таблица 5.9 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (Z_m), руб.
ЭВМ	шт	2	20000	40000
Хромовая мишень	45 см ²	2	660	1584
Титановая подложка	75x25 мм	2	1344	3225.6
Итого			44809.6	

Из затрат на материальные ресурсы, включаемых в себестоимость продукции, исключается стоимость возвратных отходов.

Под возвратными отходами производства понимаются остатки сырья, материалов, полуфабрикатов, теплоносителей и других видов материальных ресурсов, образовавшиеся в процессе производства научно-технической продукции, утратившие полностью или частично потребительские качества исходного ресурса (химические или физические свойства) и в силу этого используемые с повышенными затратами (понижением выхода продукции) или вовсе не используемые по прямому назначению.

5.2.6 Основная заработная плата исполнителей темы

В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада. Расчет основной заработной платы сводится в табл. 5.10.

Таблица 5.10 – Расчет основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудоемко сть, чел.- дн.	Заработная плата, приходящаяся на один чел.-дн., руб.	Всего заработная плата по тарифу (окладам), тыс. руб.
1		Руководитель	1	607,4	18221,96
2		Бакалавр	1	70	2100
Итого:				677,4	20321,96

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

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп}, \quad (5.8)$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата; $З_{доп}$ – дополнительная заработная плата (12-20 % от $З_{осн}$).

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

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p, \quad (5.9)$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника; T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (табл. 8); $Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (5.9)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года; F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (табл. 5.11).

При отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя. При отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

Таблица 5.11 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Магистр
Календарное число дней	366	366
Количество нерабочих дней -выходные дни -праздничные дни	119	119
Потери рабочего времени -отпуск -невыходы по болезни	48 –	48 –
Действительный годовой фонд рабочего времени	199	199

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_d) \cdot k_p, \quad (5.10)$$

где $Z_{\text{тс}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.; $k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от $Z_{\text{тс}}$); k_d – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за

расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15-20 % от $Z_{тс}$); k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Тарифная заработная плата $Z_{тс}$ находится из произведения тарифной ставки работника 1-го разряда $T_{ci} = 600$ руб. на тарифный коэффициент k_t и учитывается по единой для бюджетных организаций тарифной сетке. Для предприятий, не относящихся к бюджетной сфере, тарифная заработная плата (оклад) рассчитывается по тарифной сетке, принятой на данном предприятии. Расчёт основной заработной платы приведён в табл. 5.12.

Таблица 5.12 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_б$,руб.	k_p	Z_m ,руб	$Z_{дн}$, руб.	$T_{раб}$ раб.дн.	$Z_{осн}$,руб.
Руководитель	18221,96	1,3	23688,55	952,3	59	56185,7
Бакалавр	2100	1,3	2730	109,74	73	8429,19

Основная заработная плата руководителя (от ТПУ) рассчитывается на основании отраслевой оплаты труда. Отраслевая система оплаты труда в ТПУ предполагает следующий состав заработной платы:

1) оклад – определяется предприятием. В ТПУ оклады распределены в соответствии с занимаемыми должностями, например, ассистент, ст. преподаватель, доцент, профессор.

2) стимулирующие выплаты – устанавливаются руководителем подразделений за эффективный труд, выполнение дополнительных обязанностей и т.д.

3) иные выплаты: районный коэффициент.

5.2.7 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 (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}} \quad (5.11)$$

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

Таблица 5.13 – Заработная плата

Заработная плата	Руководитель	Бакалавр
Основная зарплата	56185,7	8429,19
Дополнительная зарплата	5618,57	–
Зарплата исполнителя	61804,24	8429,19
Итого по статье $C_{\text{зн}}$, руб	70233,43	

5.2.8 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:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}), \quad (5.12)$$

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

На 2014 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2014 году водится пониженная ставка – 27,1%¹.

$$C_{внеб}=0,3 \cdot (56185,7+5618,57)=18541,28 \text{ руб.}$$

5.2.9 Накладные расходы

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

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

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{накл} = k_{накл} \cdot (З_{осн} + З_{доп}) \quad (5.13)$$

где $k_{накл}$ – коэффициент накладных расходов, руб.

$$C_{накл}=0,8 \cdot (56185,7+5618,57)=49443,42 \text{ руб.}$$

¹ Федеральный закон от 24.07.2009 №212-ФЗ «О страховых взносах в Пенсионный фонд Российской Федерации, Фонд социального страхования Российской Федерации, Федеральный фонд обязательного медицинского страхования»

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

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

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

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}} \quad (5.14)$$

где I_{Φ}^p - интегральный финансовый показатель разработки; Φ_{pi} - стоимость i – го варианта исполнения; Φ_{max} - максимальная стоимость исполнения научно – исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

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

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a, I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i b_i^p \quad (5.15)$$

где I_m - интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов; a_i - весовой коэффициент i – го варианта параметра; b_i^a, b_i^p - бальная оценка i -го варианта параметра для аналога и разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания; n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведено в таблице 5.14.

Таблица 5.14 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

ПО Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,2	4
2. Удобство в эксплуатации	0,15	5
3. Безопасность	0,1	5
4. Энергосбережение	0,2	4
5. Надежность	0,2	5
6. Материалоемкость	0,15	4
ИТОГО	1	4,45

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

$$I_{\text{финр}}^p = \frac{I_m^p}{I_{\phi}^p}; \quad I_{\text{финр}}^a = \frac{I_m^a}{I_{\phi}^a} \quad (5.16)$$

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

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{финр}}^p}{I_{\text{финр}}^a}, \quad (5.17)$$

Таблица 5.15 – Сравнительная эффективность анализа

№ п/п	Показатели	Разработка
1	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,45
2	Интегральный показатель эффективности	4,3

3	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,03
---	--	------

В данной части работы рассмотрены экономическая эффективность данной работы. С точки зрения анализа конкурирующих технических решений, был проведен SWAT анализ, который помог выявить сильные и слабые стороны данного проекта, а также сравнить данный проект с другими проектами и выявить преимущества. Также, для формирования заработной платы руководителю данного проекта и инженеру, был проведён анализ разделения работ, трудовых дней, график работы и подсчет реальной заработной платы. Для того, чтобы показать, что данный проект имеет место быть в научной и экономической сфере, был проведен анализ эффективностью данной работы и сравнен с эффективностью других работ.