

Школа Инженерная школа ядерных технологий
 Направление подготовки 03.03.02 «Физика»
 Отделение школы (НОЦ) Отделение экспериментальной физики

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Осаждение алмазоподобных покрытий методом вакуумно-дугового испарения
УДК 621.793.74:621.359

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0Б51	Синявский Сергей Владимирович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОЭФ ИЯТШ	Лидер Андрей Маркович	д.т.н., доцент		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав.лаб Научно-образовательный центр Б.П. Вейнберга ТПУ	Юрьев Юрий Николаевич	к.т.н		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Конотопский Владимир Юрьевич	к.э.н. доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД ШБИП	Скачкова Лариса Александровна			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель отделения ЭФ ИЯТШ	Лидер Андрей Маркович	д.т.н., доцент		

Запланированные результаты обучения по программе

Код результата	Результат обучения (выпускник способен)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересован ных сторон
<i>Общекультурные компетенции</i>		
Р1	Использовать основные этапы и закономерности исторического развития общества, основы философских, экономических, правовых знаний для формирования мировоззренческой, гражданской позиций и использования в различных сферах жизнедеятельности	Требования ФГОСЗ+ (ОК-1, ОК-2, ОК-3, ОК-4)
Р2	К самоорганизации и самообразованию, работать в коллективе, к коммуникации в устной и письменной формах, в том числе на иностранном языке, толерантно воспринимать социальные, этические и культурные различия, использовать методы и средства физической культуры, приёмы первой помощи и методы защиты в условиях ЧС.	Требования ФГОСЗ+ (ОК-5, ОК-6, ОК-7, ОК-8, ОК-9)
<i>Общепрофессиональные компетенции</i>		
Р3	Использовать в профессиональной деятельности базовые естественнонаучные знания, современные концепции и ограничения естественных наук, использовать фундаментальные знания разделов общей и теоретической физики, математики для создания моделей и решения типовых профессиональных задач, в том числе с использованием знаний профессионального иностранного языка.	Требования ФГОСЗ+ (ОПК-1, ОПК-2, ОПК-3, ОПК-7)
Р4	Понимать сущность и значение информации, соблюдать основные требования информационной безопасности, использовать методы, способы, средства получения и хранения информации, решать стандартные задачи на основе информационной и библиографической культуры.	Требования ФГОСЗ+ (ОПК-4, ОПК-5, ОПК-6)
Р5	Получить организационно-управленческие навыки при работе в научных группах, критически переосмысливать накопленный опыт, изменять при необходимости профиль своей профессиональной деятельности, нести ответственность за последствия своей инженерной деятельности.	Требования ФГОСЗ+ (ОПК-8, ОПК-9)
<i>Профессиональные компетенции</i>		
Р6	<u>Научно-исследовательская деятельность</u> Проводить научные теоретические и экспериментальные исследования в областях: материаловедения, атомной и ядерной физики, водородной энергетики, физики плазмы с помощью современной приборной базы с использованием специализированных знаний физики и освоенных профильных дисциплин.	Требования ФГОСЗ+ (ПК-1, ПК-2)
Р7	<u>Научно-инновационная деятельность</u> Применять на практике профессиональные знания теории и методов физических исследований, а также профессиональные знания и умения в результате освоения профильных дисциплин для проведения физических исследований в инновационных	Требования ФГОСЗ+ (ПК-3, ПК-4, ПК-5)

	областях науки, используя современные методы обработки, анализа и синтеза информации.	
Р8	<u>Организационно-управленческая</u> Использовать на практике теоретические основы организации и планирования физических исследований, участвовать в подготовке и составлении научной документации по установленной форме, понимать и применять на практике методы управления в сфере природопользования	Требования ФГОСЗ+ (ПК-6, ПК-7, ПК-8)
Р9	<u>Педагогически-просветительская</u> Проектировать, организовывать, анализировать педагогическую деятельность, владеть последовательностью изложения материала с использованием междисциплинарных связей физики с другими дисциплинами, участвовать в информационно-образовательных мероприятиях по пропаганде и распространению научных знаний	Требования ФГОСЗ+ (ПК-9)

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

Школа Инженерная школа ядерных технологий
 Направление подготовки (специальность) 03.03.02 «Физика»
 Отделение школы (НОЦ) Отделение экспериментальной физики

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ Лидер А.М.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
0Б51	Синявскому Сергею Владимировичу

Тема работы:

Осаждение алмазоподобных покрытий методом вакуумно-дугового испарения	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	07.05.2019 № 3562/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объектом исследования являются углеродные покрытия, полученные с помощью вакуумно-дугового испарителя при различных параметрах осаждения. Все покрытия должны иметь одинаковую толщину для правильного сопоставления свойств полученных покрытий. В качестве подслоя использовать Ti толщиной не более 150 нм для улучшения адгезии основного покрытия.</p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной</i></p>	<p>Обзор литературы по разделам: алмазоподобные покрытия, их виды, свойства и применение; способы получения углеродных покрытий (CVD и PVD); методы исследования свойств покрытий: твердость, модуль упругости, адгезия, структура, коэффициент трения.</p>

<i>работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	<p>Описание экспериментального оборудования, с помощью которого были получены и исследованы покрытия.</p> <p>Главной задачей считать получение углеродных покрытий с высокими механическими свойствами при помощи вакуумно-дугового осаждения, изменяя при этом параметры работы вакуумно-дугового испарителя - давление рабочего газа.</p> <p>В результате должны быть: получены углеродные покрытия и описана методика их получения; описаны механические свойства полученных покрытий в зависимости от давления рабочего газа, определена структура полученных покрытий.</p>
--	---

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Социальная ответственность	Скачкова Лариса Александровна, старший преподаватель ООД ШБИП
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Конотопский Владимир Юрьевич, доцент ОСГН ШБИП

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

--

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику

--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав.лаб Научно-образовательный центр Б.П. Вейнберга ТПУ	Юрьев Юрий Николаевич	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0Б51	Синявский Сергей Владимирович		

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

Студенту:

Группа	ФИО
0Б51	Синявскому Сергею Владимировичу

Школа	ИЯТШ	Отделение школы (НОЦ)	ОЭФ
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	03.03.02 Физика

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Принять по действующим ценам
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления во внебюджетные фонды – 30%; НДС – 20%

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Разработка анализа конкурентоспособности
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Составление календарного плана проекта. Определение бюджета НИ
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Выполнить

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

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

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Конотопский Владимир Юрьевич	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0Б51	Синявский Сергей Владимирович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
0Б51	Синявскому Сергею Владимировичу

Школа	ИЯТШ	Отделение (НОЦ)	ОЭФ
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	03.03.02. Физика

Тема ВКР:

Осаждение алмазоподобных покрытий методом вакуумно-дугового испарения	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p>Объектом исследования являются алмазоподобные покрытия, нанесённые при помощи вакуумной установки «Булат». Данная установка предназначена для модификации поверхности образцов, а именно увеличения срока службы механизмов путём напыления износостойких покрытий. Установка находится в научном образовательном центре Б.П. Вейнберга.</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<ul style="list-style-type: none"> – Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019) – инструкция № 2-14 по охране труда при работе с электрооборудованием напряжением до 1000 В; – инструкция № 2-07 по охране труда при работе с баллонами, работающими под давлением. Документы по воздействию ПЭВМ: <ul style="list-style-type: none"> – инструкция № 2-08 по охране труда при работе с ПЭВМ и ВДТ; – ГОСТ 22269-76. Система «человек-машина». Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования. – ГОСТ Р 50923-96. Дисплей. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения. – ПНД Ф 12.13.1-03. Методические рекомендации. Техника безопасности

	при работе в аналитических лабораториях (общие положения). – СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	Анализ опасных факторов производственной среды: – электробезопасность; – термическая опасность; – пожаровзрывобезопасность. Анализ вредных факторов производственной среды: – Воздействие электрического напряжения на организм человека; – Воздействие высокой температуры на организм человека; – Воздействие химических веществ на дыхательные пути и организм человека в целом; – Утечка газа из баллона; – Микроклимат.
3. Экологическая безопасность:	– Выброс в атмосферу рабочего газа; – Выброс в атмосферу химических веществ; – Выброс паров масла из фильтра пластинчато-роторного насоса.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Возможные чрезвычайные ситуации: – Утечка газа из баллона; – Возникновение возгорания; – Поражение оператора установки электрическим током; Наиболее типичная ЧС: Возникновение возгорания.

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД ШБИП	Скачкова Лариса Александровна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОБ51	Синявский Сергей Владимирович		

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

Уровень образования бакалавриат

Направление подготовки 03.03.02 «Физика»

Отделение школы (НОЦ) Отделение экспериментальной физики

Период выполнения _____

Форма представления работы:

бакалаврская работа

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
01.03.2019	Аналитический обзор литературы	15
20.03.2019	Получение экспериментальных образцов плёнок при различных режимах работы вакуумно-дугового испарения	15
05.04.2019	Исследование механических свойств полученных образцов плёнок при помощи метода наноиндентирования.	15
15.04.2019	Проведение исследования структуры методом рамановской спектроскопии	15
30.04.2019	Анализ результатов	15
20.05.2019	Социальная ответственность	10
15.05.2019	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	10
25.05.2019	Заключение	5

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав.лаб Научно-образовательный центр Б.П. Вейнберга ТПУ	Юрьев Юрий Николаевич	К.Т.Н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель отделения ЭФ ИЯТШ	Лидер Андрей Маркович	д.т.н., доцент		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 81 страницу, 20 рисунков, 17 таблиц, 47 источников.

Ключевые слова: вакуумно-дуговой испаритель, катодное пятно, DLC, алмазоподобное покрытие, углерод, тонкие пленки, твердость, модуль упругости, коэффициент трения, спектроскопия рамановского рассеяния.

Объектом исследования являлись углеродные покрытия, полученные при различных параметрах осаждения. Покрытия наносились при помощи вакуумно-дугового испарителя.

Целью работы состоит в исследовании влияния параметров дугового испарения на свойства покрытий на основе углерода. Для достижения данной цели необходимо было решить следующие задачи: получить экспериментальные образцы плёнок при различных режимах работы вакуумно-дугового испарения, исследовать значения твёрдости и модуля упругости, исследовать коэффициент трения покрытий, исследовать структуру покрытий методом рамановской спектроскопии.

В первой главе приведена классификация углеродных покрытий, а также описание методов осаждения алмазоподобных покрытий.

Вторая глава посвящена описанию экспериментального оборудования и методике исследования физико-механических свойств покрытий и измерения структурного состава покрытий.

В третьей главе приводятся параметры дугового осаждения, при которых были получены образцы. Также приведены экспериментальные данные твёрдости, модуля упругости, коэффициента трения и обработка спектров рамановского рассеяния.

В четвёртой главе описан финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение данной работы.

В пятой главе описана социальная часть проведенного исследования.

Область применения: упрочнение различных деталей механизмов, увеличение срока службы используемого материала, уменьшение коэффициента трения рабочей поверхности.

Оглавление

Введение	14
1. Углеродные покрытия и способы их получения	16
1.1 Углеродные покрытия, их свойства и структура	16
1.2 Основные способы получения углеродных покрытий	21
1.3 Физические методы осаждения углеродных покрытий	22
2. Описание экспериментального оборудования и методик исследования свойств покрытий.	28
2.1 Установка для ионно-плазменного осаждения.	28
2.2 Измерение твердости покрытий	30
2.3 Измерение коэффициента трения покрытий	32
3. Экспериментальные результаты	35
3.1 Параметры дугового осаждения покрытий	35
3.2 Исследование твёрдости и модуля упругости покрытий	36
3.4 Обработка спектров Рамановского рассеивания.	41
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	44
4.1 Анализ аналогичных конкурентных технических решений с точки зрения ресурсосбережения и ресурсоэффективности	44
4.2 Организация и планирование работ	47
4.2.1 Продолжительность этапов работ	47
4.3 Бюджет научного исследования	52
4.3.1 Расчет материальных затрат	52
4.3.2. Расчет заработной платы	53
4.3.3 Расчет затрат на социальный налог	54
4.3.4 Расчет затрат на электроэнергию	54
4.3.5 Расчет амортизационных расходов	55
4.3.6 Расчет прочих расходов	56
4.3.7 Расчет общей себестоимости разработки	56
4.4 Определение сравнительной эффективности исследования	57
5. Социальная ответственность	61
Введение	61

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	61
5.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства	61
5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя	62
5.2 Профессиональная социальная безопасность	63
5.2.1 Анализ вредных и опасных производственных факторов	65
5.3 Экологическая безопасность	70
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	71
5.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований	71
5.4.2 Разработка порядка действия в случае возникновения ЧС	72
Выводы по разделу	75
Заключение	76
Список литературы	77

Введение

Создание изделий с высоким ресурсом работы сопряжено с серьёзными проблемами. Производство новых материалов, например, сплавов, композитов считается довольно дорогим и сложным направлением исследований. В настоящее время наиболее используемым способом увеличения срока службы различных деталей механизмов является модификация их поверхности, которая может осуществляться различными способами [1].

Одним из способов, активно развивающимся в направлении модификации поверхности является применение различных методов осаждения тонкоплёночных покрытий. Большая часть этих методов является достаточно хорошо изученной, а спектр, получаемых с их помощью плёнок, крайне многообразен. При этом срок службы деталей, модифицированных такими методами, может существенно увеличиваться.

Одним из самых популярных материалов, который используется в качестве износостойкого тонкоплёночного покрытия является углерод [2]. Покрытия на его основе имеют неповторимые свойства, характеризующиеся низким коэффициентом трения, высокой химической стойкостью и износостойкостью рабочих поверхностей механизмов [3]. К тому же углеродные покрытия имеют отличные электроизоляционные свойства, высокую твёрдость и износостойкость [3], био- и хемосовместимы [4,5]. Из-за многообразия свойств покрытий на основе углерода, в частности, из-за износостойких качеств, существует огромное разнообразие методов его осаждения. Одним из наиболее популярных методов является метод вакуумно-дугового испарения графитовых мишеней.

Вакуумно-дуговое испарение считается крайне перспективным методом нанесения углеродных покрытий, обладающих низким коэффициентом трения и высокой твердостью. Этот метод является относительно простым в технической реализации, при этом обеспечивая отличную скорость осаждения покрытий. При

этом существует ряд проблем, которые ограничивают его использование. Самыми серьезными из них является: затрудненное зажигание разряда на графитовом катоде, нестабильность горения разряда, высокое температурное воздействие на подложку и т.д. Поэтому необходимо провести комплекс исследований, направленный на изучение процесса напыления углеродных покрытий и их свойств.

В связи с этим **цель работы** состоит в исследовании влияния параметров дугового испарения на свойства покрытий на основе углерода.

Для достижения поставленной цели требуется решить ряд задач:

- 1) получить экспериментальные образцы плёнок при различных режимах работы вакуумно-дугового испарения;
- 2) исследовать значения твёрдости и модуля упругости.
- 3) исследовать коэффициент трения покрытий.
- 4) исследовать структуру покрытий методом рамановской спектроскопии.

1. Углеродные покрытия и способы их получения

1.1 Углеродные покрытия, их свойства и структура

Углеродное покрытие – это структура, состоящая из комбинаций алмазных (sp^3) и графитоподобных (sp^2) связей. Покрытия на основе углерода часто являются аморфными, что говорит об отсутствии дальнего порядка и наличии только ближнего порядка в структуре плёнки.

В зависимости от валентности углерод может образовывать различные аллотропные формы: sp^3 , sp^2 и sp^1 (рисунок 1).

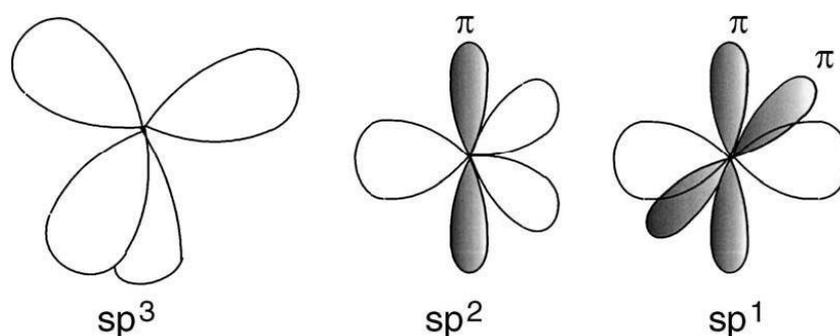


Рисунок 1 – sp^3 , sp^2 и sp^1 гибридизации углерода [6]

Как один из четырех самых распространенных элементов в мире, углерод образует множество аллотропных соединений с сильно различающимися физическими и химическими свойствами. Наиболее известные аллотропные формы углерода - это алмаз, графит и аморфный углерод (рисунок 2 а-в) [7-10]. Рисунок 1 иллюстрирует, что атомы углерода в кристаллическом алмазе состоят из sp^3 -гибридизованных орбиталей со всеми 4 валентными электронами, которые образуют тетраэдрически координированные σ -связи с 4 такими же атомами углерода, за счёт чего алмаз имеет высокую плотность и невероятно высокую твёрдость. Атомы углерода в кристаллах графита описывают sp^2 -гибридизованные орбитали с 3 электронами, образующими σ -связи, которые тригонально координированны с тремя соседними атомами углерода в одной плоскости и создавая кольцо, в то время как четвертый валентный электрон создает слабые, длинные π -связи с атомами в соседних плоскостях, за счёт чего

графит имеет низкую твёрдость и плотность. В конфигурации sp^1 два из четырех валентных электронов, каждый из которых образует σ -связь, направленную по оси $\pm x$, а два других электрона входят в p -орбитали в направлениях y и z . [11]. Алмаз образуется четырёхкратно соединёнными sp^3 связями в кубическую кристаллическую (рисунок 2а). Графит обладает гексагональной решеткой с sp^2 связями в двумерной плоскости структуры, которые соединены друг с другом при помощи Ван-дер-Ваальсовых сил (рисунок 2б). В аморфном состоянии углерод может располагаться совершенно различным образом в структуре, имея любую комбинацию из sp^3 , sp^2 , sp^1 связей (рисунок 2в).

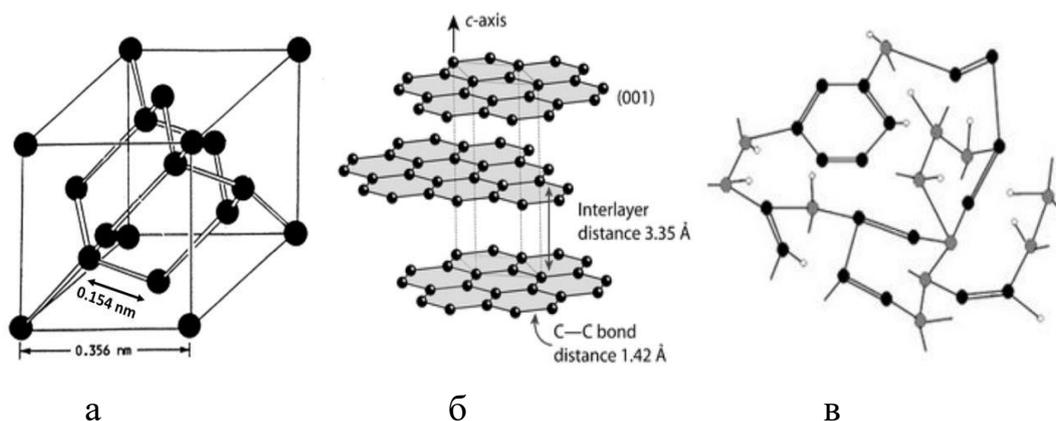


Рисунок 2 – Вид структур углерода для различных аллотропных форм: алмаз (а), графит (б), аморфный углерод (в) [7-10]

В зависимости от возможности наличия водорода в структуре, углеродные пленки можно разделить на две большие группы [13]:

1. Образованные в результате химической реакции водорода и углерода, называемые гидрогенизированным аморфным углеродом (а-С:Н). Часто такие пленки имеют низкое содержание sp^3 фазы, из-за чего имеют низкую твёрдость (2-10 ГПа). Такой материал имеет низкую пористость, поэтому его можно использовать как защитное покрытие от окислительного воздействия окружающей среды. Пленки на основе гидрогенизированного аморфного углерода, имеющие хорошую видимость в ИК диапазоне, а так же сочетающие

химическую инертность и механическую прочность могут использоваться защитные оптические покрытия для элементов ИК оптики[14].

2. Полученные в ходе распыления графитовых мишеней и содержащие в основном углерод в своей структуре, называются тетраэдрическим аморфным алмазом (ta-C) или аморфным углеродом (a-C). Такие плёнки демонстрируют низкий коэффициент трения, низкую скорость износа, высокую твердость и хорошую адгезию к различным подложкам. Твёрдость таких соединений варьируется в диапазоне 10-80 ГПа, что соответствует высокой твёрдости и приближается по значениям к алмазу (100 ГПа). Тетраэдрический алмазоподобный углерод является широкозонным полупроводником. Так как в структуре алмазоподобных соединений содержится sp^2 фаза, то такие соединения будут иметь пониженные коэффициенты трения, а следовательно, лучше показатели сопротивления износу. Исходя из вышеперечисленных свойств данные соединения имеют высокий интерес, как износостойкие покрытия. Чаще всего алмазоподобные покрытия используются в качестве абразивного износостойкого материала для режущих инструментов (свёрла, фрезы и т.д), а так же для создания износостойких деталей для различных видов транспорта.

На рисунке 3 представлена фазовая диаграмма, классифицирующая покрытия на основе углерода по концентрации различных фаз, а также наличия водорода в структуре.

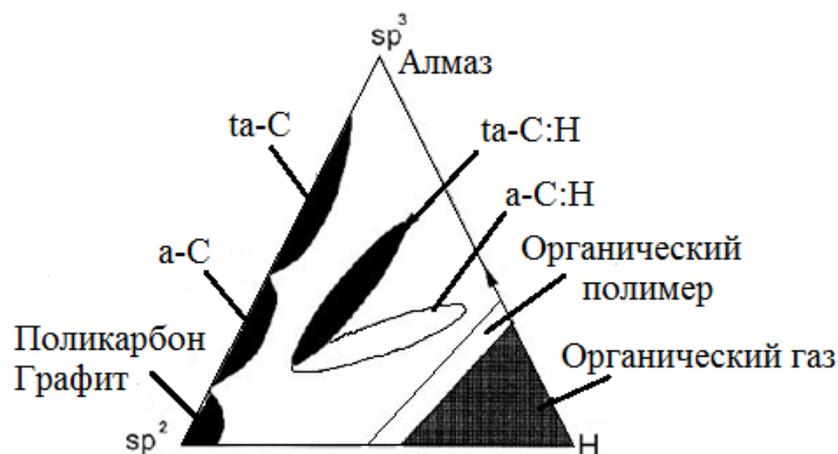


Рисунок 3 – Тройная фазовая диаграмма для различных состояний углерода [14]

Рисунок 3 иллюстрирует, что при увеличении концентрации алмазной фазы содержание графитовой фазы и водорода в плёнках будет уменьшаться. Таким образом, в зависимости от содержания той или иной фазы, физические свойства материала будут сильно изменяться. Если sp^3 фаза имеет наибольшее содержание, пленки сродни по свойствам к алмазу. Такие пленки называют алмазоподобными. В обратном случае при увеличении sp^2 фазы, углеродные покрытия приближаются по свойствам к графиту (рисунок 3).

При добавлении в структуру плёнок другие материалы, такие как Si, N и т.д. свойства будут сильно изменяться в зависимости от требуемой функциональности. [15].

Использование различных методов и режимов осаждения позволяют варьировать свойства углеродных покрытий. Таким образом, если менять содержание sp^2 и sp^3 фаз, то может образоваться структура покрытия промежуточной между графитом, углеводородным полимером и алмазом. Сравнительная характеристика для каждого вида углеродных покрытий представлена в таблице 1 [13, 16-19].

Таблица 1 – Сравнение механических свойств различных состояний углерода

Структура	a-C, ta-C	a-C:H	Алмаз	Графит
Свойства				
sp ³ , %	40-70	50	100	0
Кристаллическая решетка	Аморфная	Аморфная	Кубическая	Гексагональная
Плотность, г*см ⁻³	3,1	1,2 – 2,3	3,52	2,3
Удельное сопротивление, Ом*см	3*10 ¹¹	< 1	10 ¹⁶	10 ⁻²
Зона оптической видимости, эВ	2,5	1,1 – 1,7	55	0
Модуль упругости, ГПа	100 – 800		1000 – 1200	686, (a); очень мал при (⊥ a).
Твёрдость, ГПа	10 – 80	2 – 10	100	
Термостойкость, °C	> 700	> 200	> 700	> 700

Таблица 1 показывает, что свойства углеродных покрытий сильно зависят от концентрации sp³ фазы. Такие покрытия обладают аморфной структурой, состоящей из совокупности различных фаз и демонстрируют множество уникальных свойств. Углеродные покрытия обычно имеют аморфную структуру, поэтому они не имеют границ зёрен. Благодаря этому данные покрытия обладают низким коэффициентом трения и низким износом, при этом имея высокую твёрдость и модуль Юнга.

Присутствие данных качеств делает углеродные покрытия привлекательными для многих направлений и предоставляет широкий диапазон применений в различных сферах промышленности (таблица 2) [13,20].

Таблица 2 – Области применений углеродных покрытий

Свойства	Способы использования	Приложения
Прозрачность в видимом свете и инфракрасный диапазон. Оптический диапазон: 1– 4 эВ.	Оптические покрытия	Противобликовые, отражающие и износостойкие покрытия для ИК оптики.
Химическая инертность по отношению к кислотам, щелочам и органическим растворителям.	Химически инертные покрытия, покрытия имплантантов	Коррозионная защита магнитных носителей информации, биомедицинская совместимость и безопасность.
Высокая твердость, $H = 5 - 80$ ГПа, низкий коэффициент трения: $<0,01-0,7$	Износостойкие покрытия, покрытия имплантантов, смазочные покрытия.	Магнитные жесткие диски, магнитные ленты, свёрла, бритвенные лезвия (подшипник, шестерни).
Гладкость в наноразмерах, низкая шероховатость.	Очень тонкие покрытия < 5 нм	Напыления на магнитные носители.
Широкий спектр электрических сопротивлений $= 10^2 - 10^{16}$ Ом/см	Изоляционные покрытия, диэлектрические.	Изоляционное напыление.

1.2 Основные способы получения углеродных покрытий

Покрытия на основе углерода можно получать различными способами, например, из твердого углерода или углеводородных газов (метан, ацетилен и бензол). Таким образом, углеродное напыление, в зависимости от источника, можно разделить на два больших сектора [17]:

1. Химическое газофазное осаждение (CVD – Chemical Vapor Deposition).

Метод химического осаждения покрытий из газовой фазы протекает в диапазоне температур 950 – 1100 °С, при котором подложка помещается в вакуумную камеру. Проводится газовая реакция и наносится тонкий слой материала на поверхность подложки. Большим недостатком этого метода считается применение очень дорогие химических реагенты (TiCl_4 , NH_3). Также требуется производить постоянный точный контроль реакций в рабочей камере[16]. Поэтому метод химического осаждения применяется как метод получения углеродных покрытий с наличием водорода в структуре a-C:H.

2. Физические методы осаждения (PVD – Physical Vapor Deposition).

Для физических методов осаждения характерен процесс, при котором покрытия осаждаются на подложки путём распыления атомов мишени и передачи их на подложку через газовую фазу[16]. Наиболее распространёнными углеродными покрытиями, получаемыми при помощи использования физических методов осаждения, являются тетраэдрические алмазоподобные ta-C и аморфные a-C покрытия.

Физические методы осаждения обладают рядом преимуществ относительно химических методов. Физические методы считаются более безопасными, менее дорогостоящими и безотходными. Исходя из имеющихся преимуществ, в настоящей выпускной квалификационной работе был выбран один из PVD методов осаждения тонкоплёночных покрытий.

1.3 Физические методы осаждения углеродных покрытий

Из наиболее часто используемых методов физического осаждения можно выделить лишь несколько:

- Лазерное испарение.

Процесс проводится в вакууме при давлении 10^{-5} – 10^{-3} Па. Распыление используемой мишени производится при помощи луча лазера. Длительность импульса лазера варьируется от 10^{-6} с до 10^{-15} с (рисунок 4). Лазерное испарения

протекает в 4 стадии. Первая стадия характеризуется непосредственным распылением мишени лазерным излучением, то есть происходит испарение мишени и образовывается плазма. Вторая стадия заключается в процессе расширения плазмы. Далее происходит процесс нанесения материала на подложку. И в конечной стадии совершается процедура роста плёнки на поверхности подложки [21]. Данным методом возможно получить покрытия на основе углерода, обладающие высокой твёрдостью и модулем Юнга. Например, в работе [22] было получено углеродное покрытие с твердостью 28 ГПа. Преимущества метода: возможность образования покрытий сложных соединений, высокая чистота покрытий (минимальное содержание примесей). Недостатки метода: сложная реализация метода, толщина покрытия неоднородна.

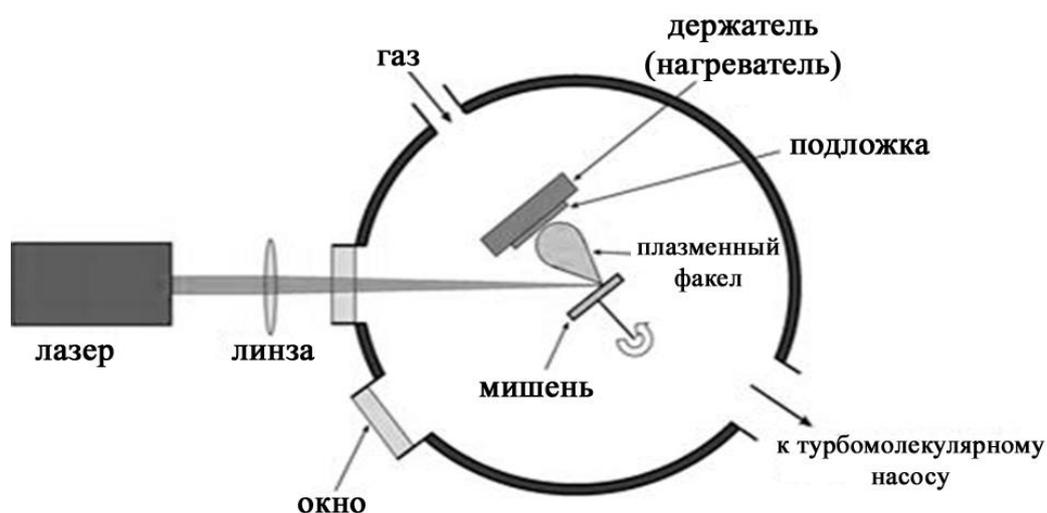


Рисунок 4 – Принцип метода импульсного лазерного осаждения материалов [23]

- Магнетронное распыление.

Процесс магнетронного распыления происходит в вакууме в диапазоне давлений 0,05 - 1 Па. Принцип действия магнетронных распылительных систем (МРС) основан на процессе распыления мишени при помощи бомбардирования

её ионами рабочего газа, образованными в плазме аномально тлеющего разряда[24]. Наиболее часто используемыми в качестве рабочего газа являются инертные газы (Ar, Ne). На рисунке 5 приведён процесс напыления покрытий методом магнетронного распыления.

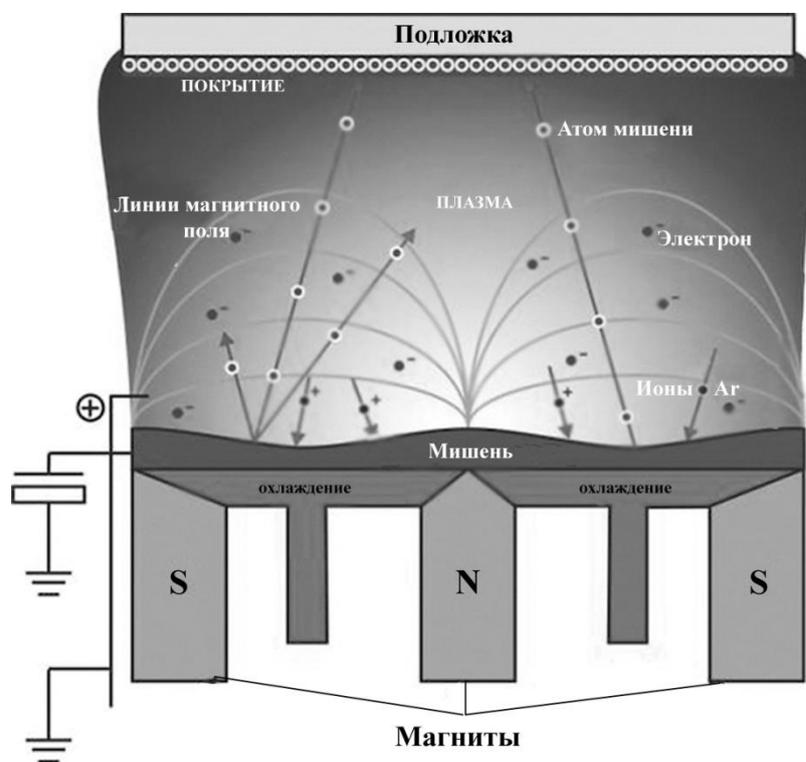


Рисунок 5 – Принцип нанесения покрытий методом магнетронного распыления[25]

МРС обладает рядом основных элементов: магнитная система, катод(мишень), анод(подложка) (рисунок 5). Так же система имеет водное охлаждение. Процесс распыления происходит в промежутках между местами входа и выхода магнитных линий. Геометрия плазменного потока определяется формой полюсов магнитной системы.

При зажигании разряда, электроны лётят в магнитную ловушку, образованную скрещенными электрическим и магнитным полями. Далее электроны начинают двигаться по циклоиде, попутно ионизируя рабочий газ. Образовавшиеся ионы бомбардируют поверхность мишени, производя её

распыление. При этом электроны, покидающие катод, ускоряются электрическим полем на поверхность анода. Скорость распыления мишени определяется плотностью ионного тока.

Преимущества метода: отсутствие микрокапель на поверхности образца; возможность использования метода в качестве метода осаждения покрытий на термочувствительные материалы при относительно низких температурах. Недостатки: метод технически трудно реализуем; относительно низкая скорость осаждения при высокой стоимости оборудования.

- Вакуумно-дуговое испарение:

Для описания работы вакуумно-дуговых испарителей используют понятие «катодное пятно» (КП) – это яркие светящиеся точки, которые быстро передвигаются по поверхности катода(мишени).

Первый этап состоит в подаче напряжения на электроды. В этот момент напряженность поля распределена неравномерно в области поверхности катода. В областях с высокой естественной неравномерностью напряженность поля будет увеличена, что приведет к увеличению автоэмиссионного тока через неровность (рисунок 6а). В результате резкого увеличения тока, происходит увеличение ионной бомбардировки, за счёт чего производится значимый разогрев локальной области. Перераспределение зарядов в твердом теле (рис. 6а) вызывает смещение положительных зарядов к микроострию, притягивая к себе электроны из внутренних слоев электрода, что также вносит свой вклад в лавинообразное нарастание тока в микроострие.

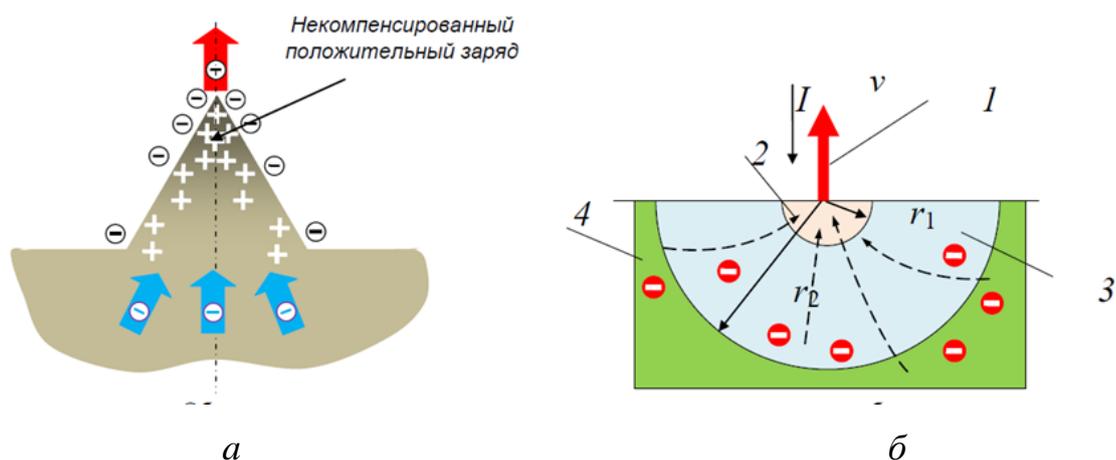


Рисунок 6 – Образование некомпенсированного положительного заряда в объеме эмиссионного центра катода: 1 – электронный токопроводящий канал; 2 – зона испарения и формирования токопроводящего канала; 3 – жидкая фаза; 4 – твердая фаза

В результате резкого нарастания тока происходит разогрев, плавление и испарение материала катода (рисунок 6б). Из-за быстрого протекания процесса испарения материала область с высоким градиентом температуры распространяется медленнее, чем вещество успевает расплавиться и испаряться, что приводит к возникновению микрокапельной фазы в покрытии.

В данной работе использовался вакуумно-дуговой испаритель с холодным катодом, принцип действия которого основан на возникновении плазмы путём зажигания дуги внутри катодных пятен. Такие источники представляют широкий интерес для нанесения высоко- и сверхтвёрдых наноструктурных покрытий в вакууме.

Основным преимуществом вакуумно-дугового испарения считается практически полное воспроизведение химического состава испаряемого материала катода в составе покрытия. Также важным достоинством можно считать, что вакуумно-дуговые испарители способны работать независимо от положения в пространстве, благодаря чему появляется возможность нанесения различных материалов на одну подложку из нескольких источников [26].

К недостаткам метода вакуумно-дугового испарения можно отнести наличие в плазменном потоке микрочастиц испаряемого материала. Осаждение таких частиц на подложку приводит к нарушению её однородности и, соответственно, снижению эксплуатационных характеристик, в частности, антикоррозионных. Размеры микрокапельной фазы в покрытии можно уменьшить с помощью применения различных технологических приёмов и конструкций испарителей.

Одним из наиболее распространённых вакуумно-дуговых испарительных систем, использующихся в качестве метода нанесения алмазоподобных покрытий, является вакуумно-дуговой испаритель с магнитным удержанием катодного пятна. Отличительной чертой таких систем является возможность снижения минимального тока, обеспечивающего стабильный разряд, при уходе катодного пятна с рабочей зоны мишени на боковую поверхность, магнитное поле возвращает КП на поверхность катода.

В данной работе в качестве экспериментального оборудования для осаждения алмазоподобных покрытий был выбран метод вакуумно-дугового испарения из-за простоты реализации метода относительно остальных, а так же благодаря обеспечения данным методом наибольшей скорости осаждения, высокой твёрдости и модуля упругости получаемых покрытий. Подробнее об устройстве и принципе действия вакуумно-дугового испарителя будет описано в главе 2.

2. Описание экспериментального оборудования и методик исследования свойств покрытий.

2.1 Установка для ионно-плазменного осаждения.

Изображение установки для вакуумно-дугового осаждения представлено на рисунке 7.

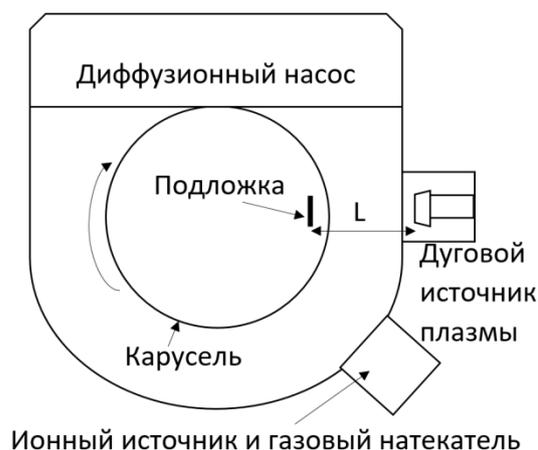


Рисунок 7 – Схематичное изображение установки ионно-плазменного напыления

Вакуумная установка обладает двумя насосами: пластинчато-роторный (форвакуумный) и диффузионный (основной). Процесс откачки производится в несколько этапов. На первом этапе производится откачка пластинчато-роторным насосом через байпасную линию до давления порядка 10^3 Па. Далее, открывается затвор на диффузионном насосе и осуществляется откачка до давления порядка 0,01 Па. Давление в камере контролируется с использованием вакуумметра «Micro-Ion».

В качестве рабочего газа использовался аргон (высокой чистоты, 99.998% по ТУ 6-21-12-94. Контроль напуска газов осуществлялся при помощи регуляторов расхода газа (РРГ-10). Они имеют аналоговый выходной электрический сигнал напряжения (от 0 до 10 В) постоянного тока и разный верхний предел регулирования расхода газа (от 0,36 до 1800 л/ч).

Далее подложка устанавливалась на карусель (рисунок 7) для равномерной ионной очистки и активации поверхности подложки. Травление подложки производилось при помощи ионного источника с Холловским дрейфом электронов.

После очистки, подложка устанавливалась напротив вакуумно-дугового испарителя, изображение которого приведено на рисунке 8.

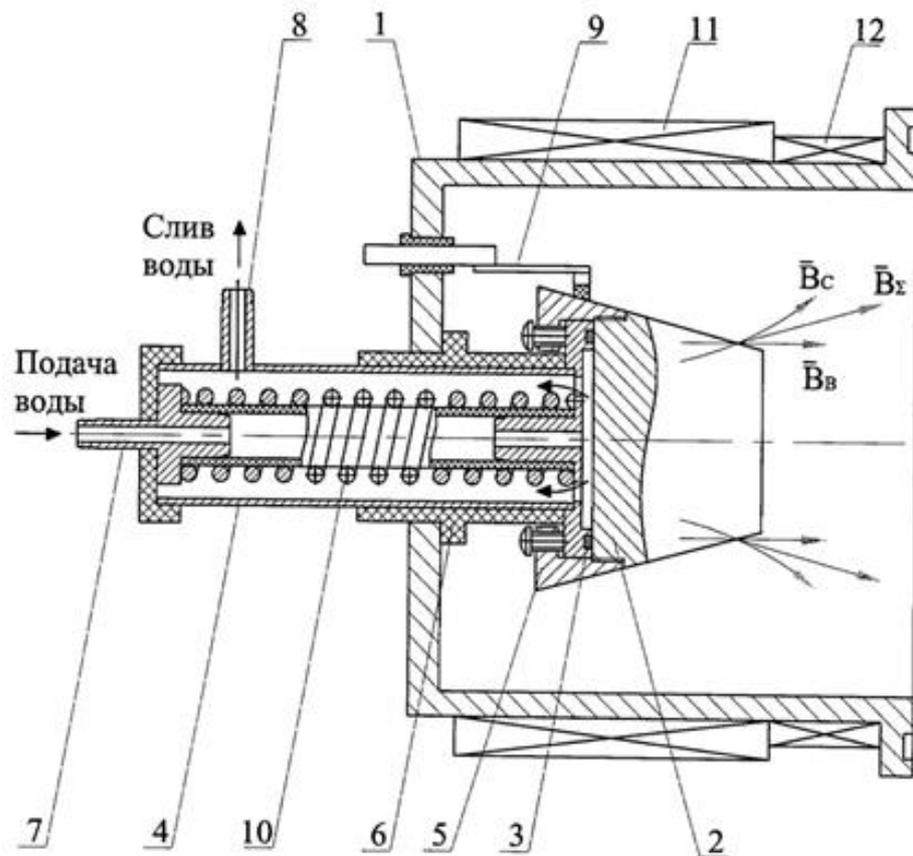


Рисунок 8 – Вакуумно-дуговой источник плазмы: 1 – анод, 2 – катод, 3 – установочный фланец, 4 – трубчатый корпус системы водяного охлаждения, 5 – фиксатор, 6 – изолятор, 7, 8 – патрубки, 9 – поджигающий электрод, 10 – изогнутый проводник, 11 – стабилизирующая электромагнитная катушка, 12 – фокусирующая магнитная катушка, 13 – подложка

Вакуумно-дуговой источник (рисунок 8) обладает анодом, представляющим собой корпус устройства из немагнитной нержавеющей стали (1) и испаряемый углеродный катод (2). Источник электропитания соединён с катодом (2) при помощи поджигающего электрода и токоподвода, выполненного в виде соленоида (10) с углом подъёма витков порядка 20° , благодаря которому катодное пятно стабилизируется на поверхности углеродного катода(2).

Для дополнительной стабилизации катодного пятна устройство оснащено дополнительной электромагнитная катушка (11) и имеет кольцевой электростатический экран, установленный соосно катоду, и предотвращающий попадание катодного пятна на детали уплотнения катода. Для направления плазменного потока на подложку (13) используется фокусирующая электромагнитная катушка (12). Также устройство оснащено патрубками для подачи (7) и слива (8) охлаждающей катод (2) и токопровод воды.

Расстояние между подложкой и мишенью (катодом, указанным на рисунке 8) составляет 33 см.

2.2 Измерение твердости покрытий

В качестве установки для измерения физиком-механических свойств был выбран нанотвердомер NanoScan-3D, представленный на рисунке 9. Данный нанотвердомер предназначена для измерения твердости покрытий в диапазоне нагрузок до 100 мН (твердость до 80 ГПа) и абсолютного модуля Юнга до 1000 ГПа. Установка оснащена оптическим и зондовым микроскопами, предназначенными для определения рельефа и шероховатости поверхности.

На рисунке 10 показан внешний вид кривой нагружение-разгрузка, а так же внешний вид пирамиды Берковича с обозначениями величин, которые использовались для расчёта модуля Юнга и твёрдости покрытия.

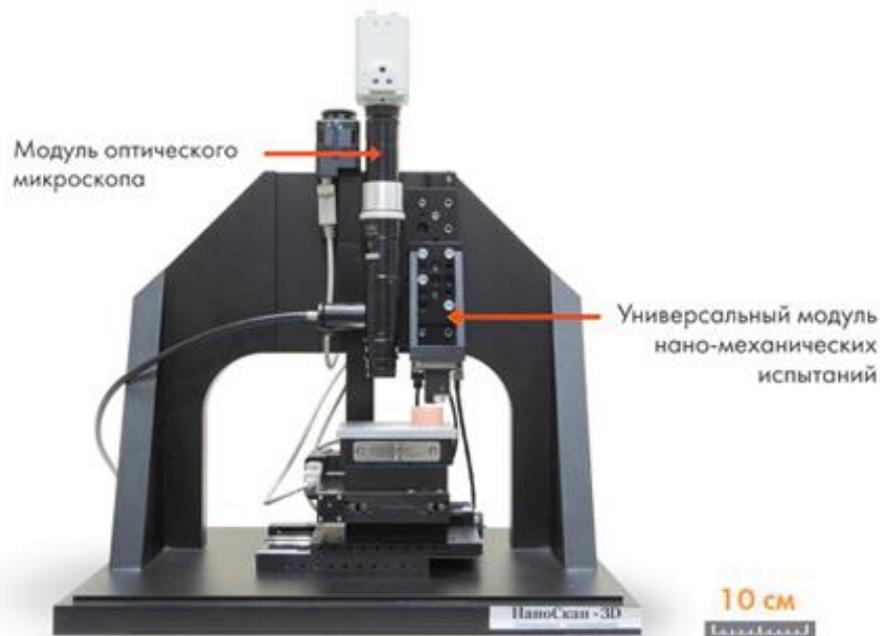


Рисунок 9 – Внешний вид установки NanoScan-3D

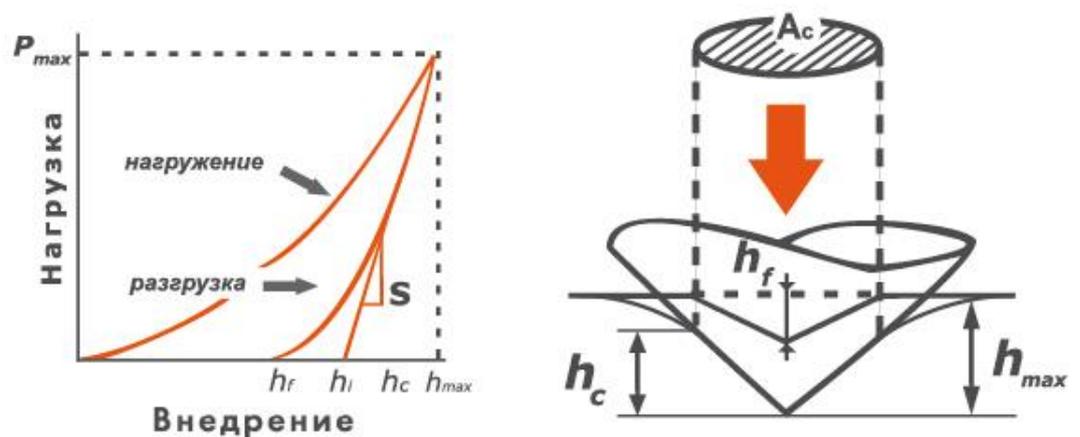


Рисунок 10 – Общий вид кривой нагружения (слева); внешний вид пирамиды Берковича (справа)

В качестве индентора используется алмазная пирамида типа Берковича (рисунок 10). Измерение твердости (H) рассчитывается по зависимости площади проекции отпечатка (A_c) от приложенной нагрузки (P). Измерение модуля упругости (E) и параметра упругого восстановления (We) проводится по кривой нагрузки-разгрузки (рисунок 10).

Также установка может быть применена в качестве анализа адгезии при помощи склерометрии. Допустимая нагрузка изменяется от 1 до 100 мН.

2.3 Измерение коэффициента трения покрытий

Измерение коэффициента трения и скорости износа покрытия производилось при помощи высокотемпературного трибометра, представленного на рисунке 11 [27]. Данный прибор основан на принципе трения индентора о поверхность. Индентор упирается в откалиброванный тензодатчик. Тензодатчик нужен для преобразования приложенной нагрузки в электрический ток и передачи информации на ПК, где при помощи специального программного обеспечения отображается на экране компьютера.



Рисунок 11 – Схематичный процесс работы трибометра [27]

На рисунке 11 изображён процесс исследования коэффициента трения на высокотемпературном трибометре. Плоский образец закрепляется на вращающемся столе. Далее проводится настройка держателя, устанавливается груз. После запуска прибора образец начинает вращаться. На него наносится трек.

2.4 Методика измерения фазового состава покрытий

Одним из наиболее популярных, простых и качественных методов исследования структуры углеродных покрытий является рамановская спектроскопия. При помощи данного метода становится возможным определение наличия графитовой sp^2 и алмазной sp^3 фаз в покрытии на основе углерода.

Процесс рамановской спектроскопии состоит в облучении покрытия пучком неупруго рассеивающегося монохроматического света. Суть метода состоит в детектировании рассеяных на покрытии лучей при помощи светофильтра. Большая часть рассеянного излучения на плёнке имеет ту же частоту, что и у исходного излучения – Рэлеевское рассеяние (99,999%). Под рамановским излучением (0,0001%) понимается излучение, которое имеет частоту, смещенную относительно частоты лазера, возбуждающего излучение. Рассеянные лучи пропускаются через светофильтр, отделяющий рамановское излучение от рэлеевского. Полученные отделенные лучи усиливаются и попадают на детектор, фиксирующий и передающий данные на экран компьютера.

Измерение рамановских спектров производилось на комплексе Centaur U HR, имеющем в своем составе сканирующий зондовый микроскоп, конфокальный микроскоп/спектрометр с двойной дисперсией, конфокальный лазерный микроскоп и оптический прямой микроскоп (рисунок 12)[28].

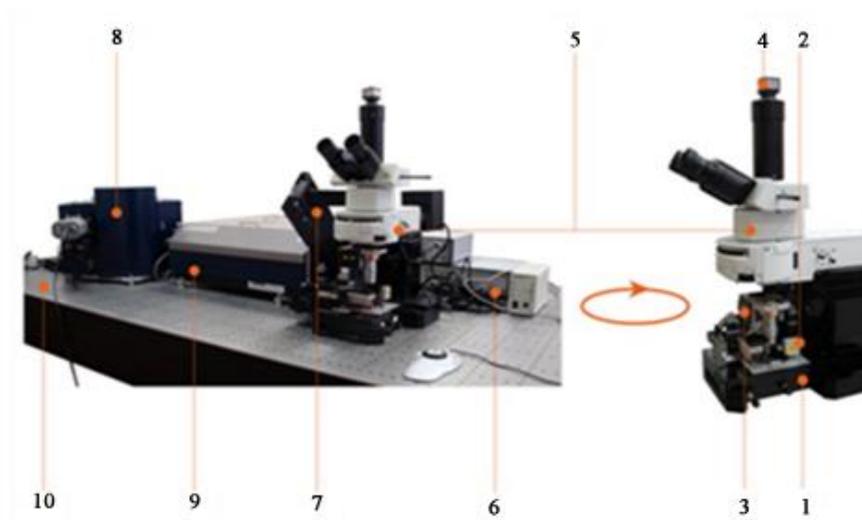


Рисунок 12 – Внешний вид установки Centaur U HR: 1 – сканирующее основание Ratis; 2 – сканирующая головка Certus; 3 – z-подвижка для объектива Vectus; 4 – видеокамера; 5 – оптический микроскоп; 6 – контроллер; 7 – оптико-механический модуль; 8 – спектрометр; 9 – перископическая система сопряжения с микроскопом; 10 – оптический стол[28]

Установка Centaur имеет ряд отличий от других установок, имеющих на рынке, основным является возможность измерения спектров рамановского рассеяния вблизи линии возбуждения до 20 см^{-1} . Для сравнения другие аналоги, имеющиеся на рынке могут измерять спектры рассеяния всего в $100\text{-}200 \text{ см}^{-1}$ [27]. Данный результат удалось получить благодаря отмене применения краевых режекторных фильтров путём использования специального высокочастотного монохроматора. Так же использование монохроматора в Centaur позволяет регистрировать как стоксовы, так и антистоксовы линии[28].

4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Углеродные или алмазоподобные покрытия представляют собой наноразмерную тонкопленочную структуру, которую наносят на поверхность различных материалов. Основная функция такого рода покрытий – повышение износостойкости и, как следствие, увеличение времени работы рабочей детали или инструмента. В связи с этим, актуальным становится разработка и оптимизация технологии осаждения углеродных покрытий. В настоящее время за рубежом данный метод упрочнения развернут в производственном масштабе. В России этот производственный сегмент практически не развит, в то время как спрос на такой товар находится на достаточном уровне. Поэтому на рынке преобладает продукция зарубежных производителей, что делает перспективным направление по созданию недорогой конкурентной технологии осаждения углеродных покрытий и внедрению ее в России.

4.1 Анализ аналогичных конкурентных технических решений с точки зрения ресурсосбережения и ресурсоэффективности

С целью успешного вывода разработки на рынок, необходимо постоянно и систематически проводить анализ аналогичных товаров конкурирующих групп, т.к. новые разработки постоянно появляются и изменяются с течением времени.

Анализ группы конкурирующих товаров необходимо проводить с целью внесения в научное исследование, важных корректировок и исправлений, целью которых является постоянное повышение конкурентоспособности товара (разработки) на рынке.

Рассматривая вышеописанный анализ с точки зрения ресурсосбережения и ресурсоэффективности, мы получаем группу показателей сравнительной

эффективности научной разработки и определяем пути и возможности ее развития и востребованности в обозримом будущем.

Конкурентом выбраны алмазоподобные покрытия, получаемые на HANNIBAL CARBIDE TOOL, inc (K1).

Для проведения вышеописанного анализа, используем оценочную карту, приведенную в таблице 6.

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

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		B_{ϕ}	B_{kl}	K_{ϕ}	K_{kl}
1	2	3	4	6	7
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
1.Повышение производительности труда пользователя	0,05	4	4	0,2	0,2
2.Удобство эксплуатации ^в	0,08	4	4	0,32	0,32
3.Помехоустойчивость	0,01	4	3	0,04	0,03
4.Энергоэкономичность	0,07	4	3	0,28	0,21
5.Надежность	0,17	4	3	0,68	0,51
6.Уровень шума	0,07	4	4	0,28	0,28
7.Безопасность	0,09	5	5	0,45	0,45
8.Потребность в ресурсах памяти	0,01	5	5	0,05	0,05
9.Функциональная мощность	0,09	4	3	0,36	0,27
10.Простота эксплуатации	0,06	4	3	0,24	0,18
11.Качество интеллектуального интерфейса	0,01	5	5	0,05	0,05

12.Возможность подключения в сеть ЭВМ	0,02	5	5	0,1	0,1
Экономические критерии оценки ресурсоэффективности					
1.Конкурентоспособность продукта	0,06	5	4	0,3	0,24
2.Уровень проникновения на рынок	0,02	4	3	0,08	0,06
3.Предполагаемый срок эксплуатации	0,12	5	4	0,6	0,48
4.Послепродажное обслуживание	0,04	4	3	0,16	0,12
5.Финансирование научной разработки	0,03	3	3	0,09	0,09
Итого	1			4,28	3,64

Согласно вышеприведенному расчету видно, что предлагаемая нами технология осаждения углеродных покрытий имеет более высокий показатель конкурентоспособности (4,28). Это обусловлено следующим рядом факторов: технология компактна и энергоэкономична, обладает высокой помехоустойчивостью, проста в эксплуатации и надежна. Что связано с принципом построения технологической линии, используемыми физическими принципами и наличием большого опыта по разработке технологий осаждения тонкопленочных структур. Суммарно это позволяет существенно снизить количество недостатков технологии и повысить число ее конкурентных преимуществ. Основные аспекты следующие:

- повышенный срок эксплуатации;
- высокая функциональная мощность;
- послепродажное обслуживание;
- простота эксплуатации.

Эти факторы определяют выбор того или иного технического решения. Обеспечение таких высоких показателей свидетельствует о большом потенциале научно-технической разработки.

4.2 Организация и планирование работ

Определяющим фактором выражения основной части стоимости научно-технической разработки являются заработные платы лиц задействованных в реализации проекта. В связи с этим, наиболее важным моментом является максимально точное определение трудозатрат каждого из участников проекта.

Таблица 7 – Перечень работ и продолжительность их выполнения

Этапы работы	Исполнители	Загрузка исполнителей
Разработка технического задания	Науч. руководитель (НР)	НР - 100%
Выбор направления исследований	Науч. руководитель (НР) Студент-инженер (СИ)	НР - 90% СИ - 10%
Теоретические и экспериментальные исследования	Студент-инженер (СИ) Науч. руководитель (НР)	НР - 50% СИ - 50%
Обобщение и оценка результатов	Науч. руководитель (НР) Студент-инженер (СИ)	НР - 30% СИ - 70%
Разработка технической документации	Науч. руководитель (НР) Студент-инженер (СИ)	НР - 20% СИ - 80%
Изготовление исследуемых образцов	Студент-инженер (СИ) Науч. руководитель (НР)	НР - 60% СИ - 40%
Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ОКР)	Студент-инженер (СИ)	СИ - 100%

4.2.1 Продолжительность этапов работ

Для определения трудоёмкости реализации научного исследования выпускной квалификационной работы используется экспертный способ, основным показателем которого является человеко-день. Для расчета предполагаемого значения трудоёмкости используют следующую формулу (формула 1):

$$t_{ож} = \frac{3t_{min} + 2t_{max}}{5} \quad (1)$$

где $t_{ож}$ – ожидаемая трудоёмкость выполнения работы чел.-дн.; t_{min} – минимально возможная трудоёмкость выполнения работы чел.-дн.; t_{max} – максимально возможная трудоёмкость выполнения работы, чел.-дн.

Произведем оценку трудоёмкости выполнения научного исследования для научного руководителя (формула 2):

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot 2 + 2 \cdot 5}{5} = 3,2 \text{ чел. -дн.} \quad (2)$$

Произведем оценку трудоёмкости выполнения научного исследования для студента-инженера (формула 3):

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot 90 + 2 \cdot 180}{5} = 126 \text{ чел. -дн.} \quad (3)$$

Рассчитав ожидаемую трудоёмкость работ, определим продолжительность каждой работы в рабочих днях $T_{РД}$, учитывая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями, по следующему соотношения (формула 4):

$$T_{РД} = \frac{t_{ож}}{K_{ВН}} * K_{Д} \quad (4)$$

где $T_{РД}$ – продолжительность одного этапа работы, раб.дн.; $t_{ож}$ – продолжительность работы, дн.; $K_{ВН}$ – коэффициент выполнения работ, учитывающий влияние внешних факторов на соблюдение предварительно определенных длительностей, в частности, возможно $K_{ВН} = 1$; $K_{Д}$ – коэффициент,

учитывающий дополнительное время на компенсацию не предвиденных задержек и согласование работ, $K_D = 1$.

Произведем расчет продолжительности работы выполнения научного исследования для научного руководителя (формула 5):

$$T_{РД} = \frac{3,2}{1} = 3,2 \text{ раб. дн.} \quad (5)$$

Произведем расчет продолжительности работы выполнения научного исследования для студента-инженера (формула 6):

$$T_{РД} = \frac{126}{1} = 126 \text{ раб. дн.} \quad (6)$$

Для проведения научного исследования, представленного в выпускной квалификационной работе, выбирают специальную узко направленную научную тему. Для этого строится специальный ленточный график проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Для построения графика необходимо перевести рабочие дни в календарные дни, для чего воспользуемся следующим соотношением (формула 7):

$$T_{КД} = T_{РД} * T_K \quad (7)$$

где $T_{КД}$ – продолжительность выполнения этапа в календарных днях; T_K – коэффициент календарности, определяющийся выражением (формула 8):

$$T_K = \frac{T_{КАЛ}}{T_{КАЛ} - T_{ВД} - T_{ПД}} \quad (8)$$

где $T_{КАЛ}$ – количество календарных дней в году; $T_{ВД}$ – количество выходных дней в году; $T_{ПД}$ – количество праздничных дней в году.

Рассчитаем коэффициент календарности (формула 9):

$$T_K = \frac{365}{365 - 52 - 10} = 1,205 \quad (9)$$

Таблица 8 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работ						Длител. работ в рабочих днях T_{PD}		Длител. работ в календар. днях T_{KD}	
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{ож}$, чел-дни		НР	И	НР	И
Исполнители	НР	СИ	НР	И	НР	И	НР	И	НР	И
Разработка технического задания	2		5		3,2		3,2		3,9	
Выбор направления исследований	2	4	4	8	2,8	5,6	2,8	5,6	3,4	6,8
Теоретические и экспериментальные исследования	5	30	10	40	7	34	7	34	8,4	41
Обобщение и оценка результатов	1	5	2	10	1,4	7	1,4	7	1,7	8,4
Разработка технической документации	6	20	12	30	8,4	24	8,4	24	10,1	28,9
Изготовление опытного образца	4	10	8	18	5,6	13,2	5,6	13,2	6,8	15,9
Оформление отчета по НИР		20		30		24		24		28,92
Итого					28,4	107,8	28,4	107,8	34,3	129,89

На основании таблицы 8 построим календарный план-график.

Таблица 9 – Календарный план-график проведения ВКР по теме «Осаждение алмазоподобных покрытий методом вакуумно-дугового испарения»

№ работ	Вид работ	НР Т _{кд} , кал. дн.	СИ Т _{кд} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ														
				январь			февраль			март			апрель			май		
				1 0	2 0	3 0	1 0	20	30	1 0	2 0	3 0	1 0	2 0	3 0	1 0	2 0	3 0
1	Разработка технического задания	3,9																
2	Выбор направлений исследований	3,4	6,8															
3	Теоретические и экспериментальн ые исследования	8,4	41															
4	Обобщение и оценка результатов	1,7	8,4															
5	Разрабо тка техниче	10,1	28,1															

- сырье и материалы, покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, используемые в качестве объектов исследований и для эксплуатации, технического обслуживания и ремонта изделий.

Таблица 11 – Материальные затраты

Наименование	Марка, размер	Кол-во	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Титановый катод	BT1-0	1	5000	5000
Баллоны	Ar	1	8800	8800
Нержавеющая сталь	12x18н10т	1	250	250
Углеродный катод	МПГ-6	2	4000	8000
Всего за материалы				22050
Транспортно-заготовительные расходы (10%)				2205
Итого по статье				24255

Для выполнения выпускной квалификационной работы использовался вакуумно-дуговой испаритель «Булат», работа которого основана на распылении графитовой мишени в плазме дугового разряда, необходимый для проведения работ по научной теме. В качестве расходного материала для данного метода используется газообразный аргон особой чистоты, как рабочий газ плазмы, являющийся обязательным материалом для проведения анализа.

С учетом транспортно-заготовительных расходов (ТЗР) в 10% материальные затраты составляют (формула 10):

$$C_{\text{мат}} = 22050 * 1,1 = 24255 \text{ руб} \quad (10)$$

4.3.2 Расчет заработной платы

Для вычисления основной заработной платы необходимо учесть научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, участвующих в выполнении выпускной квалификационной работе.

Среднедневная тарифная заработная плата рассчитывается по формуле 11:

$$Z_{\text{дн-т}} = \frac{MO}{25,083} \quad (11)$$

где MO – месячный должностной оклад работника, руб.

Таблица 12 – Расчёт основной заработной платы

Исполнитель и	Оклад, руб/мес	Среднедневная ставка, руб/раб. день	Затраты времени, раб. дни	Коэффициент	Фонд з/платы, руб
НР	33664	1342,09	28	1,699	63845,91
И	15470	616,75	120	1,62	119896,2
Итого:					183742,11

4.3.3 Расчет затрат на социальный налог

Затраты на единый социальный налог (ЕСН), включающий в себя отчисления в пенсионный фонд, на социальное и медицинское страхование, составляет 30% от полной заработной платы по проекту (формула 12):

$$C_{\text{соц}} = 183742,11 * 0,3 = 55122,633 \text{ руб} \quad (12)$$

4.3.4 Расчет затрат на электроэнергию

Потребляемая мощность вакуумно-дугового испарителя составляет 7кВт/час. Длительность еженедельной работы на вакуумно-дуговом испарителе «Булат» составляет 2 часа. Стоимость электроэнергии в Томске составляет 5,748 рубля за 1 кВт/час. Следовательно, стоимость электропотребления за 5 месяцев составляет (формула 13):

$$C_{\text{эл.об.}} = P_{\text{об}} * C_{\text{э}} * t_{\text{об}} \quad (13)$$

где $P_{\text{об}}$ – мощность, потребляемая оборудованием, кВт; $C_{\text{э}}$ – тариф на 1 кВт·час; $t_{\text{об}}$ – время работы оборудования, час.

Затраты на электроэнергию для технологических целей приведен в таблице 13.

Таблица 13 – Затраты на электроэнергию

Наименование оборудования	Время работы оборудования $t_{\text{об}}$, час	Потребляемая мощность $P_{\text{об}}$, кВт	Затраты Эоб, руб.
Персональный компьютер	848*0,6	0,3	877,37
Испаритель «Булат»	40	7	1609,44
Итого:			2486,81

4.3.5 Расчет амортизационных расходов

Так как специальное оборудование, необходимое для проведения научных исследований уже имелось в данной научной лаборатории, нужно высчитать начисление амортизации.

Срок полезного использования установки составляет 10 лет, поэтому норма амортизации равна (формула 14):

$$H_a = \frac{1}{n} * 100 = \frac{1}{10} * 100 = 10\% \quad (14)$$

где H_a – норма амортизации в процентах, n – срок полезного использования в годах.

Первоначальная стоимость оборудования составляет 913 000 рублей. Из этого следует, что годовая сумма амортизации составит (формула 15):

$$C_{AM} = \frac{C_{OB} * H_a * t_{pf}}{F_d} = \frac{913000 * 0,1 * 40}{200} = 18260 \text{ (руб.)} \quad (15)$$

где C_{OB} – первоначальная стоимость оборудования; t_{pf} – фактическое время работы оборудования в ходе выполнения проекта, учитывается исполнителем проекта; F_d – действительный годовой фонд времени работы соответствующего оборудования.

Первоначальная стоимость персонального компьютера составляет 45 000 рублей. Из этого следует, что годовая сумма амортизации составит (формула 16):

$$C_{AM} = \frac{C_{OB} * H_a * t_{pf}}{F_d} = \frac{45000 * 0,4 * 848}{2384} = 6402,68 \text{ (руб.)} \quad (16)$$

4.3.6 Расчет прочих расходов

Прочие расходы научного исследования составляют 10 % от суммы всех предыдущих расходов, а именно (формула 17):

$$C_{проч} = (C_{мат} + C_{зп} + C_{соц} + C_{эл.об} + C_{AM}) = (24255 + 183742,11 + 55122,6 + 2486,81 + 18260) * 0,1 = 28386,65 \text{ руб} \quad (17)$$

4.3.7 Расчет общей себестоимости разработки

Формирование бюджета научно-исследовательского проекта является основой для определения бюджета затрат проекта, и формируется исходя их вышеприведенных расчетов. Результатом является таблица 9 расчетов бюджета затрат проекта.

Таблица 14 – Расчет бюджета затрат на разработку проекта

Статья затрат	Условные обозначения	Сумма, руб
Материалы и покупные изделия	$C_{\text{мат}}$	24255
Основная заработная плата	$C_{\text{зп}}$	183742,11
Отчисления в социальные фонды	$C_{\text{соц}}$	55122,6
Расходы на электроэнергию	$C_{\text{эл}}$	2486,81
Амортизационные отчисления	$C_{\text{ам}}$	18260
Прочие расходы	$C_{\text{проч}}$	28386,65
Итого:	C	283866,5
Прибыль	$C_{\text{приб}} = C * 20\%$	56773,304
НДС	$\text{НДС} = (C_{\text{приб}} + C) * 20\%$	68127,96
Цена разработки НИР		408767,765

4.4 Определение сравнительной эффективности исследования

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

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

Интегральный финансовый показатель разработки определяется по формуле 18.

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} \quad (18)$$

где Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения; Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить по формуле 19.

$$I_{pi} = \sum a_i * b_i \quad (19)$$

где a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки; b_i – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки.

В таблице 15 представлена сравнительная оценка характеристик вакуумно-дугового испарителя «Булат» и на HANNIBAL CARBIDE TOOL - исполнитель 1 в таблице 15.

Таблица 15 – Сравнительная оценка характеристик

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Булат	Исполнитель 1
Твёрдость	0,25	5	5
Модуль упругости	0,15	5	4
Энергосбережение	0,2	4	3
Надёжность	0,2	4	5
Материалоемкость	0,2	5	4
Интегральный показатель ресурсоэффективности		4,6	4,25

Характеристики имеют схожие критерии, так как методики реализованы для одного прибора. Каждая из представленных методик реализована для определенной задачи.

Пример расчета интегрального показателя ресурсоэффективности:

$$I_p = 0,25 * 5 + 0,15 * 5 + 0,2 * 4 + 0,2 * 4 + 0,2 * 5 = 4,6$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле 20.

$$I_{\text{исп}} = \frac{I_{pi}}{I_{\text{финр}}} \quad (20)$$

Сравнительная эффективность проекта определяется по формуле 21.

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{д.п.}}}{I_{\text{исп}}} \quad (21)$$

В таблице 16 представлена сравнительная эффективность разработки.

Таблица 16 – Сравнительная эффективность

№	Показатели	Булат	Исполнитель 1
1	Интегральный финансовый показатель	1	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности	4,6	4,25
3	Интегральный показатель эффективности	4,6	4,25
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,08	0,92

Как видно из таблицы 16, покрытия образцов, напылённых при помощи вакуумно-дугового испарителя «Булат» более эффективны.

Традиционная оценка экономической эффективности полученных результатов невозможны, т.к. они носят чисто научный характер.

5. Социальная ответственность

Введение

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

При выполнении настоящей бакалаврской работы были использованы: напылительная установка «Булат», применяемая в научном образовательном центре Б.П. Вейнберга, персональная электронно-вычислительная машина(ПЭВМ), газовые баллоны со сжатым аргоном. При помощи напылительной установки «Булат» производилось напыление алмазоподобных покрытий в плазме дугового разряда. Таким образом, требуется провести анализ вредных и опасных производственных факторов, также комплекс защитных мероприятий.

Данные покрытия используются в качестве износостойких покрытий для деталей различных механизмов и увеличения их срока службы. Следовательно, изучение свойств данных покрытий может решить проблему преждевременного износа механизмов.

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

5.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства

К работе на вакуумной установке «Булат» допускаются лица не моложе 18 лет, не имеющих медицинских противопоказаний, прошедших вводный инструктаж и инструктаж по безопасности труда на рабочем месте [29]. К

самостоятельной работе допускаются работники после специального обучения и проверки знаний правил электробезопасности, приобретенных навыков и безопасных способов выполнения работы на установке «Булат», ознакомленные с инструкцией по эксплуатации прибора имеющие не менее II группы по электробезопасности и получившие допуск к работе с газовыми баллонами, работающими под давлением.

Повторная проверка знаний норм и правил электробезопасности, правил безопасной работы с газовыми баллонами проводится 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.

По данной теме рассматриваются специальные законодательные и нормативные документы:

- инструкция № 2-14 по охране труда при работе с электрооборудованием напряжением до 1000 В;
- инструкция № 2-07 по охране труда при работе с баллонами, работающими под давлением.
- инструкция № 2-08 по охране труда при работе с ПЭВМ и ВДТ;

5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя

В этом разделе рассмотрены различные аспекты вопросов, тесно связанных с созданием рабочего места в полном соответствии с существующими

нормами техники производственной безопасности, нормами санитарии и требованиями по охране окружающей среды [30, 31, 32, 33].

Помещение, в котором располагается установка, имеет линейные размеры 6,32×7,3 м и высоту 3 м. В помещение есть четыре окна размерами 1,8×1,5 м, которые обеспечивают достаточное проникновение солнечного света, с противоположной стороны окон находится дверной проем.

Напыление алмазоподобных покрытий производилось при помощи вакуумной установки «Булат». Установка оснащена двумя насосами для откачки воздуха (пластинчато-роторный и диффузионный). Для улучшения характеристик поверхности образца используется физический процесс напыления покрытий в плазме дугового разряда. В качестве рабочего газа используется газ аргон. Плазма поддерживается источником от сети переменного тока напряжением 220В.

5.2. Профессиональная социальная безопасность

Для идентификации потенциальных факторов был использован ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» [34]. Перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды представлены в таблице 17.

Таблица 17 - Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разраб отка	Изгото вление	Эксплу атация	
1.Отклонение показателей микроклимата	-	-	+	Требования к микроклимату устанавливаются согласно СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений [35].

2.Превышение уровня шума		-	+	Требования к уровню шума на рабочих местах устанавливаются согласно [36]. ГОСТ 12.1.003-8. Шум. Общие требования безопасности. [37]. ГОСТ 12.1.029-80. Средства и методы защиты от шума.
3.Отсутствие или недостаток естественного света	-	-	-	-
4.Недостаточная освещенность рабочей зоны		-	+	Требования к освещению устанавливаются СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*[38].
5.Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	-	-	+	Система стандартов по электромагнитной безопасности складывается из ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Общие требования безопасности. [39] и СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы» [40].

5.2.1 Анализ вредных и опасных производственных факторов

Работая на вакуумной установке «Булат» возможно воздействие вредных и опасных факторов, негативно влияющих на здоровье сотрудников. К первой группе факторов можно отнести микроклимат помещения, шум, освещение рабочей зоны, а также электромагнитное поле. В качестве второй группы факторов необходимо рассмотреть возможность поражения электрическим током, взаимодействие с химическими веществами и работа с баллонами.

5.2.1.1 Анализ вредных факторов

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

Воздух рабочей зоны (микроклимат) производственных помещений определяют следующие параметры: температура, относительная влажность, скорость движения воздуха. Оптимальные и допустимые значения характеристик микроклимата приведены в таблице 18[34].

Таблица 18 – Оптимальные и допустимые параметры микроклимата[34].

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

К мероприятиям по оздоровлению воздушной среды в производственном помещении относятся: правильная организация вентиляции и кондиционирования воздуха, отопление помещений. Вентиляция может осуществляться естественным и механическим путём. В помещение должны подаваться следующие объёмы наружного воздуха: при объёме помещения до 20

м³ на человека – не менее 30 м³ в час на человека; при объёме помещения более 40 м³ на человека и отсутствии выделения вредных веществ допускается естественная вентиляция.

На установке Булат установлена принудительная вытяжка из вакуумного насоса.

Система отопления должна обеспечивать достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха. В помещениях с повышенными требованиями к чистоте воздуха должно использоваться водяное отопление. Параметры микроклимата в используемой лаборатории регулируются системой центрального отопления, и имеют следующие значения: влажность – 40%, скорость движения воздуха – 0,1 м/с, температура летом – 20-25 °С, зимой – 13-15 °С. В лаборатории осуществляется естественная вентиляция. Воздух поступает и удаляется через щели, окна, двери. Основной недостаток такой вентиляции в том, что приточный воздух поступает в помещение без предварительной очистки и нагревания.

Шум и вибрация ухудшают условия труда, оказывают вредное воздействие на организм человека, а именно, на органы слуха и на весь организм через центральную нервную систему. В результате этого ослабляется внимание, ухудшается память, снижается реакция, увеличивается число ошибок при работе. Шум может создаваться работающим оборудованием, установками кондиционирования воздуха, осветительными приборами дневного света, а также проникать извне.

Источник шумового загрязнения – вращающиеся части механических насосов. При работе механического насоса максимальность шумового загрязнения составляет 52 дБ на расстоянии 1 м. Длительность возникновения максимальных шумов составляет не более 5 минут. Рабочее место расположено в 2-2,5 метров от установки. Предельно допустимый уровень шумов и средства защиты должны удовлетворять [35, 36]. Работающих в этих зонах,

администрация снабжает средствами индивидуальной защиты, которыми являются специальные наушники, вкладыши в ушную раковину, противошумные каски, защитное действие которых основано на изоляции и поглощения звука.

Уровень освещенности, на рабочем месте, должен соответствовать условиям работы и быть оптимальным по яркости. Световой спектр должен максимально соответствовать дневному освещению, так как оно оптимально соответствует человеческой физиологии. Очень высокий уровень освещенности, так же, как и недостаточный, приводит к быстрому утомлению зрения. Освещение должно быть равномерным на всей площади рабочего места, так как при переносе взгляда с более освещенных на менее освещенные участки рабочего места и наоборот происходит понижение остроты зрения на достаточно долгий промежуток времени. Требования к уровню освещенности в производственных помещениях утверждены сводом правил [39].

Для производственных помещений всех назначений применяются системы общего (равномерного или локализованного) и комбинированного (общего и местного) освещения. Выбор между равномерным и локализованным освещением проводится с учётом особенностей производственного процесса и размещения технологического оборудования. Система комбинированного освещения применяется для производственных помещений, в которых выполняются точные зрительные работы. Применение одного местного освещения на рабочих местах не допускается. Учитывая особенности процесса работы на установке «Булат» (не требуется освещения для проведения работ высокой точности) возможно применение схемы общего равномерного освещения.

Электромагнитное поле – это силовое поле, образованное вокруг электрического тока, эквивалентное электрическому полю и магнитному полю, расположенным под прямыми углами друг к другу [44].

Источниками электромагнитного излучения являются приборы, работающие от электрического тока. Например: линии электропередач компьютеры, телефоны, и т.д. Помещение, в котором располагается научно-исследовательское оборудование, оснащено персональными компьютерами, которые являются основным источником электромагнитного излучения. В России система стандартов по электромагнитной безопасности складывается из ГОСТ [40] и СанПиН [41]. Длительное воздействие электромагнитного излучения на организм человека ведёт к нарушениям процессов в ЦНС, сбоям в работе сердечнососудистой системы. Первыми симптомами воздействия электромагнитных полей являются быстрая утомляемость, слабость, головные боли, понижение частоты пульса и повышение температуры тела.

5.2.1.2 Анализ опасных факторов

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

- при непосредственном прикосновении к токоведущим частям во время ремонта;
- при прикосновении к нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением (в случае нарушения изоляции токоведущих частей);

- при прикосновении с полом, стенами, оказавшимися под напряжением;
- при коротком замыкании в высоковольтных блоках: блоке питания и блоке дисплейной развёртки.

Проходя через организм человека, электроток производит термическое, электролитическое, механическое, биологическое, световое воздействие.

Электробезопасность представляет собой систему организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока. Электроустановки классифицируют по напряжению: с номинальным напряжением до 1000 В (помещения без повышенной опасности), до 1000 В с присутствием агрессивной среды (помещения с повышенной опасностью) и свыше 1000 В (особо опасные помещения).

Лаборатория относится к помещению без повышенной опасности поражения электрическим током. В помещении применяются следующие меры защиты от поражения электрическим током: недоступность токоведущих частей для случайного прикосновения, все токоведущие части изолированы и ограждены. Недоступность токоведущих частей достигается путем их надежной изоляции, применения защитных ограждений, расположения токоведущих частей на недоступной высоте. К СКЗ относятся заземление и разделение электрической сети с помощью трансформаторов – в результате изолированные участки сети обладают большим сопротивлением изоляции и малой емкостью проводов относительно земли, за счет чего значительно улучшаются условия безопасности [46, 47].

Основными электрозащитными средствами в электроустановках напряжением до 1000 В являются изолирующие штанги, указатели напряжения, а также изолирующие устройства и приспособления для ремонтных работ. К дополнительным изолирующим электрозащитным средствам относятся

диэлектрические перчатки, резиновые коврики и дорожки, изолирующие подставки на фарфоровых изоляторах и переносные заземления.

При работе на вакуумной установке в качестве газа-носителя используется особо чистый аргон. Газообразный и жидкий аргон получают из воздуха и остаточных газов аммиачных производств. Газообразный аргон не оказывает опасного воздействия на окружающую среду. Он тяжелее воздуха и может накапливаться в слабо проветриваемых помещениях у пола. При этом снижается содержание кислорода в воздухе, что вызывает кислородную недостаточность и удушье. Однако, ПДК на данный газ не предусмотрен. Аргон по опасности относится к классу 2. Также необходимо проводить проверку баллонов на наличие неисправностей так как при утечке газа из баллона возможно удушье, поэтому необходимо знать и неукоснительно соблюдать правила пользования газовыми приборами. Проверить целостность газового баллона и прочность его закрепления, наличие видимых повреждений. Вентиль газового баллона и резьба должны находиться в исправленном состоянии, редуктор должен соответствовать газу в баллоне.

5.3. Экологическая безопасность

Охрана окружающей среды – комплексная проблема и наиболее активной формой ее решения является сокращение вредных выбросов промышленных предприятий через полный переход к безотходным или малоотходным технологиям производства. Для перехода к безотходным производствам в лаборатории необходимо осуществлять сбор аргона в специальные емкости, в настоящее время он выпускается в воздух через специальный фильтр при продувке вакуумной системы.

Также необходимо улучшить систему улавливания/фильтрации масляных паров при работе пластинчато-роторных насосов, так как масло и

масляные пары непосредственно влияют на окружающую среду в целом. В данный момент стоят фильтры улавливающие масло и масляные пары, но все же, используемые фильтра не улавливают все вредные вещества. Следовательно, данный вопрос также необходим к рассмотрению.

Воздействие масляных продуктов на почву сопровождается:

- отторжением пахотных земель или уменьшением их плодородия;
- чрезмерным насыщением токсичными веществами растений, что неизбежно приводит к загрязнению продуктов питания растительного и животного происхождения;
- загрязнением грунтовых вод, особенно в зоне свалок.

Так же необходимо позаботиться о отдельных контейнерах для отходов бытового характера: отдельные мусорные баки для бумаги, стекла, металлических частей, пластика, резины и т. д. Необходимо заключить договор с компанией, вывозящей мусор, чтобы она обеспечивала доставку разделенных отходов фирмам, занимающимся переработкой отходов.

5.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

5.4.1. Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований

При возникновении неисправностей в работе на установке «Булат» необходимо выполнить следующие действия:

- отключить питание компьютера;
- отключить диффузионный и пластинчато-роторный насосы;
- закрыть клапан подачи воды;
- закрыть вентиль подачи аргона;

- известить об этом вышестоящего руководителя.

В случае обнаружения утечки газа из баллона немедленно прекратить подачу газа из баллона и сообщить об аварийной ситуации непосредственному руководителю.

При возникновении возгорания необходимо немедленно прекратить работу, закрыть баллон с газом, отключить электрооборудование, позвонить в подразделение пожарной охраны по телефону 01 или 112, сообщить о случившемся руководителю подразделения и приступить к тушению огня первичными средствами пожаротушения.

При поражении работника электрическим током необходимо как можно скорее освободить пострадавшего от воздействия электрического тока, проверить состояние пострадавшего и вызвать при необходимости скорую помощь, до приезда скорой помощи оказать пострадавшему необходимую первую помощь или, при необходимости, организовать доставку пострадавшего в ближайшее лечебное учреждение, о произошедшем несчастном случае поставить в известность руководителя структурного подразделения.

5.4.2. Разработка порядка действия в случае возникновения ЧС.

Самым распространенным видом ЧС является пожар. Под пожаром понимают неконтролируемое горение, причиняющее материальный ущерб, вред жизни и здоровью людей, интересам общества, государству.

Причины возникновения пожара электрического характера: короткое замыкание, перегрузки по току, статическое электричество и т. д. Для устранения причин возникновения и локализации пожаров в помещении лаборатории должны проводиться следующие мероприятия:

- 1) использование только исправного оборудования;

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

Выводы по разделу

В данном разделе были рассмотрены необходимые правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности, в которых регламентируются условия труда, необходимые инструкции по работе со специальным оборудованием, а также гигиенические требования к организации работы.

Были выявлены и проанализированы опасные и вредные факторы производственной среды. К вредным факторам можно отнести: воздействие электрического напряжения на организм человека, микроклимат, воздействие шума и высоких электромагнитных полей. К опасным факторам можно отнести: электробезопасность, термическую опасность и пожаровзрывоопасность.

К факторам рабочего места, влияющим на окружающую среду относятся газообразный аргон и масляные пары. Для предотвращения негативного влияния эксплуатации установки используются необходимые газовые и масляные фильтры. Установка ежегодно проходит поверку и аттестацию.

Также были рассмотрены различные чрезвычайные ситуации при работе на вакуумной установке и правильный порядок действий при их возникновении.

Заключение

Методом вакуумно-дугового испарения графитовых мишеней была получена серия экспериментальных алмазоподобных плёнок при различных давлениях рабочего газа (Ar) в камере. Давление рабочего газа варьировалось от 0 до 0,1 Па.

Была исследована твёрдость покрытий на нанотвердомере NanoScan 3D. Выяснено, что при увеличении давления аргона в камере значение твёрдости и модуля упругости покрытий уменьшается. Данная зависимость связана с уменьшением sp^3 фазы в покрытии. Это связано с тем, что количество ионов, попадающих на подложку, возросло, что привело к увеличению содержания sp^2 фазы и графитизации пленки. Это было подтверждено методом рамановской спектроскопии. Наименьшее соотношение ID/IG было получено при минимальном содержании аргона. Лучшее значение твёрдости получилось при параметрах $P_{Ar}=0$ Па, $U_{cm}=90$ В, $t=60$ мин, $I=60$ А, $P=0,01$ Па. По виду спектра все исследованные образцы можно отнести к типу алмазоподобных покрытий.

Так же были получены результаты трибологических испытаний и склерометрии. Склерометрия показала, что отслоений не наблюдается ни на 1 образце. Коэффициент трения покрытий был наименьшим для образца, полученном при давлении аргона, равном 0,02 Па. Зависимость между коэффициентом трения и другими механическими характеристиками не была обнаружена. Покрытия можно отнести к типу антифрикционных.

Список литературы

1. Ritwik Kumar Roy, Biomedical Applications of Diamond-Like Carbon Coatings: A Review / Ritwik Kumar Roy, Kwang-Ryeol Lee // J. of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials, Wiley InterScience. – 2007.
2. Беляев В.С. Алмазоподобные покрытия // Нефть. Газ. Новации. – 2010. №6. С. 74-76.
3. Степанова Т.Ю. Технологии поверхностного упрочнения деталей машин // Учебное пособие. – Иваново, 2009.
4. Thomson L.A. Biocompatibility of Diamond-like Carbon Coating / L.A. Thomson, F.C. Law, N. Rushton // J. Biomaterials – 1991. – Vol.12. – P. 37-40.
5. Haemocompatibility of DLC and TiC–TiN Interlayers on Titanium / M.I. Jones, I.R. McColl, D.M. Grant, K.G. Parker, T.L. Parker // Diamond and Related Materials – 1999. – Vol.8. – P. 457-462.
6. Robertson J. Amorphous Carbon // Advances in Physics. – 1986. – Vol.35, №4 – P. 317-374.
7. Bhushan B. Chemical, Mechanical and Tribological Characterization of Ultrathin and Hard Amorphous Carbon Coatings as thin as 3.5 nm: Recent Developments // Diamond and Related Materials. – 1999. – Vol.8, №11. – P. 1985-2015.
8. Tan J.C. Mechanical Properties of Hybrid Inorganic-organic Framework Materials: Establishing Fundamental Structure-property Relationships / J.C. Tan, A.K. Cheetham // Chem. Soc. Rev. – 2011. – Vol.40. – P. 1059-1080.
9. Saryga E. Relation Between Physical Structure and Electrical Properties of Diamond-like Carbon Thin Films / E. Saryga, G.W. Bak // Diamond and Related Materials. – 2005. – Vol.14, №1. – P. 23-34.
10. Ferrari A. C. Determination of bonding in diamond-like carbon by Raman spectroscopy //Diamond and related materials. – 2002. – T. 11. – №. 3-6. – С. 1053-1061.

11. Lin Y. et al. Amorphous diamond: a high-pressure superhard carbon allotrope //Physical Review Letters. – 2011. – Т. 107. – №. 17. – С. 175504.
12. Ferrari A.C. Interpretation of Raman Spectra of Disordered and Amorphous Carbon / A.C. Ferrari, J. Robertson // Physical Review. – 2000. – Vol.B, №61. – P. 14095-14107.
13. Gupta B.E. Synthesis, Structure and Properties of Nanolayered DLC/DLC Films // A Thesis. Panjab University – 2003.
14. Коншина Е. А. Аморфный гидрогенизированный углерод и его применение в оптических устройствах //СПб.: НИУ ИТМО. – 2010.
15. Robertson J. Deposition Mechanisms for Promoting Sp³ Bonding in Diamond-like Carbon // Diamond and Related Materials – 1993. – №2. – P. 984-989.
16. Hainsworth S.V. Diamond-like Carbon Coatings for Tribology: Production Techniques / S.V. Hainsworth, N.J. Uhure // International Materials Reviews. – 2007. – Vol.52, №3. – P. 153-174.
17. Kouya OOHIRA. Characteristics and Applications of DLC Films // NTN Technical Review. – 2009. – №77. – P. 90-95.
18. Соловьев А. А. Устройства со скрещенными электрическим и магнитным полями для нанесения тонкопленочных покрытий на подложки большой площади //Томском Политехническом Университете–2007–212 с. – 2007.
19. Lifshitz Y. Diamond-like carbon—present status //Diamond and Related materials. – 1999. – Т. 8. – №. 8-9. – С. 1659-1676.
20. Grill A. Electrical and optical properties of diamond-like carbon //Thin solid films. – 1999. – Т. 355. – С. 189-193.
21. Булаев С. А. Сущность импульсного лазерного напыления в вакууме как способа получения пленок нанометровых толщин //Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – Т. 17. – №. 18.
22. Khalid A.M. Deposition of Diamond like Carbon Thin Film by Pulse Laser Deposition for Surgical Instruments / A.M. Khalid, A.M. Zaka, S. Arif, M. Arif // World Applied Sciences Journal. –2014. – Vol. 32. – P. 1110-1114.

23. Laser-Ablation Technique [Электронный ресурс] // Helsinki University of Technology; ред. Antti Nakola. Дата обращения: 31.05.2016 г. URL: <http://tfy.tkk.fi/aes/AES/projects/prlaser/ablation.htm>, свободный.
24. Данилин Б. С., Сырчин В. К. Магнетронные распылительные системы. М.: Радио и связь, 1982. 72 с //Герасименко Юлия Владимировна.
25. Bergmann E., Rosello D. Corrosion protection with perfect atomic layers //Polymedia Meichstry SA, POLYSURFACES Juni. – 2012.
26. Локтев Д. А. Методы нанесения износостойких покрытий и оборудование для их реализации //Д. Локтев.-декабрь. – 2004.
27. CSM Tribometers. Nano and Micro range for Tribological studies // CSM Instruments SA, Advanced Mechanical Surface Testing.
28. Комплекс «Centaur U HR» [Электронный ресурс] // Компания «Nano Scan Technology» – URL: <http://www.nanoscantech.ru>, свободный. Дата обращения: 31.05.2016 г.
29. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019).
30. ГОСТ Р 50923-96. Дисплеи. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения.
31. ГОСТ 22269-76. Система «человек-машина». Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования.
32. ПНД Ф 12.13.1-03. Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения).
33. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.
34. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.

35. СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
36. ГОСТ 12.1.003-8. Шум. Общие требования безопасности.
37. ГОСТ 12.1.029-80. Средства и методы защиты от шума.
38. СП 52.13330.2016 *Естественное и искусственное освещение*. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*
39. ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Общие требования безопасности.
40. СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы».
41. Беляков Г. И. Охрана труда и техника безопасности [Электронный ресурс]: учебник для прикладного бакалавриата/ГИ Беляков.—3-е изд., перераб. и доп.—Мультимедиа ресурсы (10 директорий; 100 файлов; 740МВ).—Москва: Юрайт, 2016.—1 Мультимедиа CD-ROM.—Бакалавр. Прикладной курс.—Электронные учебники издательства" Юрайт".—Электронная копия печатного издания.—Системные требования: Pentium 100 MHz, 16 Mb RAM //М.: Юрайт. – 2017. – Т. 404.
42. ГОСТ 12.1.012-90 ССБТ. Вибрационная болезнь. Общие требования.
43. СП 51.13330.2011. Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003
44. Белов С. В. Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды (техносферная безопасность) //М.: Юрайт. – 2011. – С. 680.
45. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность технологических процессов и производств. Охрана труда: учебное пособие для вузов / П.П. Кукин и др. - 5-е изд., стер. - М.: Высшая школа, 2009. - 335 с.
46. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление.

47. ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.