

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

---

Институт: Физико-технический  
Направление подготовки: Техническая физика  
Кафедра: Экспериментальной физики

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
Осаждение барьерных (антидиффузионных) слоёв для термоэлектрических модулей на основе алмазоподобных углеродных плёнок

УДК 539.216.2:666.23:621.23

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОД31	Елгин Ю.И.		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Аспирант ИСЭ СО РАН	Гренадёров А.С.			

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. МЕН ИСГТ	Верховская М.В.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

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

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ЭФ ФТИ	Кривобоков В.П.	д.ф.-м.н., профессор		

Томск – 2017 г.

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

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P1	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
P2	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
P3	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
P4	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
P5	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
P6	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
P7	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	Требования ФГОС (ПК-19, 20). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
	технологические процессы и оборудование с использованием современных информационных технологий.	EUR-ACE и FEANI
P8	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
P9	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
<b><i>Универсальные компетенции</i></b>		
P10	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
P11	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
P12	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

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
ОД31	Елгину Юрию Игоревичу

<b>Институт</b>	<b>ФТИ</b>	<b>Кафедра</b>	<b>ЭФ</b>
<b>Уровень образования</b>	бакалавр	<b>Направление/специальность</b>	16.03.01 Техническая физика/пучковые и плазменные технологии

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ):</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– стоимость расходных материалов;</li> <li>– норматив заработной платы.</li> <li>– стоимость расхода электроэнергии</li> </ul>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	– коэффициенты для расчета заработной платы.
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– отчисления во внебюджетные фонды.</li> <li>– расчёт дополнительной заработной платы</li> </ul>

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

1. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований Планирование процесса управления НИИ: структура и график проведения, бюджет, риски.</i>	<p>Определение трудоемкости выполнения работ. Разработка графика проведения научного исследования. Расчет материальных затрат НИИ. Основная заработная плата исполнителей темы. Отчисления на социальные нужды. Формирование бюджета затрат научно – исследовательского проекта.</p>
2. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Анализ конкурентных технических решений. Потенциальные потребители результатов исследования. Выполнение SWOT-анализа проекта.
3. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности.</i>	Проведение оценки экономической эффективности исследования.

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

1. Календарный график проведения исследования в виде диаграммы Ганта
2. Матрица SWOT
3. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)
4. Календарный план-график и бюджет НИИ.
5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИИ

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

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент каф. МЕН ИСГТ	Верховская Марина Витальевна	к.э.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
ОД31	Елгин Юрий Игоревич		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа ОД31	ФИО Елгину Юрию Игоревичу
----------------	------------------------------

Институт	ФТИ	Кафедра	ЭФ
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	16.03.01 Техническая физика/Пучковые и плазменные технологии

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

<p>1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– вредных проявлений факторов производственной среды (микроклимат, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля);</li> <li>– опасных проявлений факторов производственной среды (электрической, пожарной и взрывной природы).</li> </ul>
<p>2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– требования охраны труда при работе на ПЭВМ;</li> <li>– безопасность при эксплуатации установки;</li> <li>– электробезопасность;</li> <li>– пожаровзрывобезопасность;</li> <li>– химическая безопасность.</li> </ul>

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

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

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

### Задание выдал консультант:

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

### Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОД31	Елгин Юрий Игоревич		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 77 с., 13 рис., 17 табл., 42 источника.

Ключевые слова: алмазоподобные углеродные, углерод, покрытия, магнетронная распылительная система, твердость, тонкие пленки.

Объектом исследования являются алмазоподобные углеродные покрытия, полученные методом магнетронного распыления с использованием графитового катода.

Целью работы является получение барьерных слоев для термоэлектрических модулей на основе углеродных пленок формируемых методом магнетронного распыления.

В процессе работы проводилась оптимизация процесса осаждения и экспериментальные исследования полученных пленок.

В результате исследования были получены углеродные пленки с удельным сопротивлением до величины  $10^{-2}$  Ом·см (a-C). После включения в углеродные пленки никеля удельное сопротивление снижается до величины  $10^{-4}$  Ом·см (a-C:Ni), твердость полученных покрытий составляет 4-5 Гпа, адгезионная прочность на полупроводниковой подложке составляет 2 кГ/мм<sup>2</sup>.

Область применения: повышение срока службы термоэлектрических модулей, использование покрытия в качестве барьерных слоёв.

## Оглавление

---

Введение.....	9
1. Объект исследований и методы его получения.....	10
1.1 Углеродные пленки.....	10
1.2 Виды углеродных пленок.....	14
1.3 Методы осаждения углеродных пленок.....	17
1.3.1 Методы физического осаждения пленок.....	18
1.3.2 Методы химического осаждения пленок.....	20
Вывод к разделу.....	21
2. Экспериментальное и аналитическое оборудование.....	23
2.1 Вакуумная установка.....	23
2.2 Аналитическое оборудование.....	25
2.2.1 Измерение адгезионной прочности.....	25
2.2.2 Измерение удельного сопротивления.....	26
2.2.3 Измерение твердости.....	27
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	29
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	30
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....	30
4.1.2 Анализ конкурентных технических решений.....	30
4.1.3 SWOT-анализ.....	32
4.2 Планирование научно-исследовательских работ.....	36
4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования.....	36
4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ.....	37
4.2.3 Разработка графика проведения научного исследования.....	38
4.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ).....	41
4.3.1 Расчет материальных затрат НТИ.....	42

4.3.2 Основная заработная плата исполнителей темы.....	43
4.3.3 Дополнительная заработная плата исполнителей темы.....	45
4.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	46
4.3.5 Формирование бюджета затрат НИП.....	47
4.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	48
Вывод к разделу.....	50
5. Социальная ответственность.....	51
5.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	52
5.2 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния при работе на установке ННВ-6 и ПЭВМ.....	54
5.2.1 Организационные мероприятия.....	54
5.2.2 Технические мероприятия.....	55
5.2.3 Условия безопасной работы.....	57
5.3 Химическая безопасность.....	59
5.4 Электробезопасность.....	62
5.5 Пожарная и взрывная безопасность.....	65
Вывод к разделу.....	67
Заключение.....	68
Используемая литература.....	69



## Введение

На сегодняшний день огромный интерес испытывает вопрос создания термоэлектрических модулей/генераторов (ТЭМ), поскольку ТЭМ является уникальным устройством по преобразованию электрической и тепловой энергии. Он позволяет осуществлять как прямое преобразование энергии (из электрической энергии в тепловую) – режимы охлаждения или нагрева, так и обратное преобразование – режим генерации электрической энергии [1].

Важными характеристиками любого прибора является его надежность и долговечность. В настоящее время надежность и долговечность ТЭМ находится на низком уровне. Проблема заключается в возникновении встречной диффузии атомов припоя (Sn, In, Au, Cu, Cd, Pb) и материала контактных пластин (Cu, Cr, Ni, Ti, Ag, Au) в термоэлектрический материал [2,3]. Поэтому остро стоит вопрос снижения/предотвращения встречной диффузии в ТЭМ с целью увеличения их срока службы [4].

Одним из решений данной проблемы является применение барьерных (антидиффузионных) слоёв, разделяющих проводник и полупроводник в месте их контакта [5]. К барьерным слоям выдвигается ряд требований, таких как: низкое удельное сопротивление  $\sim 10^{-3}$  Ом·см и ниже, адгезионная прочность  $\sim 1,5-3$  кГ/мм<sup>2</sup>, химическая инертность к материалам термоэлемента, механическая прочность. Используемые на сегодняшний день барьерные слои не удовлетворяют этим требованиям, поэтому проблема повышения долговечности ТЭМ остается актуальной.

Мы предлагаем использовать барьерные слои на основе углеродных пленок, поскольку они имеют ряд преимуществ: возможность изменять удельное сопротивление в широком диапазоне ( $10^{14}$ - $10^{-4}$  Ом·см), химическая инертность, механическая прочность, приемлемая адгезия к подложке за счет низких внутренних напряжений [6-9].

Настоящая работа посвящена осаждению и исследованию электрофизических и механических свойств пленок: a-C и a-C:Ni, в частности удельного сопротивления, твердости и адгезионной прочности на подложках

монокристаллического кремния и на полупроводниковых подложках  $(\text{Bi}_2\text{Te}_3)_{0.94}(\text{Bi}_2\text{Se}_3)_{0.06}$  n-типа проводимости и  $(\text{Bi}_2\text{Te}_3)_{0.20}(\text{Sb}_2\text{Te}_3)_{0.80}$  p-типа проводимости.

## **1. Объект исследований и методы его получения**

### **1.1. Углеродные пленки**

На сегодняшний день большой интерес представляют алмазоподобные углеродные покрытия, применяемые в машиностроении и других отраслях промышленности, где требуется увеличить прочность инструмента и деталей машин, свести к минимуму коэффициент трения на взаимно-трущихся поверхностях. Такой интерес обусловлен из-за своих свойств, таких как: высокая твердость (до 100 ГПа), низкие износ и коэффициент трения, химическая инертность и коррозионная стойкость, большой коэффициент теплопроводности, биосовместимость. Покрытия предназначены для увеличения срока службы деталей, работающих при сверлении, фрезеровании, вырубке, прокатке, экструзии и т.д., где требуется защитить поверхность от износа и истирания, увеличить твердость поверхности детали, а также снизить коэффициент трения. Алмазоподобные покрытия состоят из атомов углерода с алмазными и с графитоподобными связями. Атомы углерода могут быть устроены в различных многоатомных структурах. Углерод — вещество с самым большим числом аллотропических модификаций.[10]

Углерод может существовать в чистом виде в различных модификациях: в аморфной форме, то есть со случайным расположением атомов (подробное описание этой формы углерода будет ниже) и в двух различных кристаллических формах, алмаза и графита. Эти две кристаллические модификации различаются по структуре решетки. Кристаллическая решетка определяет основные свойства материала, такие как твердость, эластичность и плотность. [11]

В кристаллической форме типа графита атомы углерода расположены следующим образом, три атома углерода лежат в плоскости четвертого атома (рисунок 1). Такие атомные плоскости представляют собой атомные слои, состоящие из шестиугольников. Углерод в кристаллической форме графита имеет высокую внутреннюю прочность, такой результат из-за маленьких межатомных расстояний между атомами, лежащими в одной плоскости (0,142 нм). Тем не менее, существует относительно большое расстояние (0,333 нм) между атомными слоями. Атомные слои, следовательно, могут быть легко друг относительно друга под воздействием внешних сил. Из-за таких скользящих плоскостей графит обладает такими свойствами, как низкой твердостью, низким удельным электрическим сопротивлением и высокой степенью износа, в сочетании с низким коэффициентом трения.

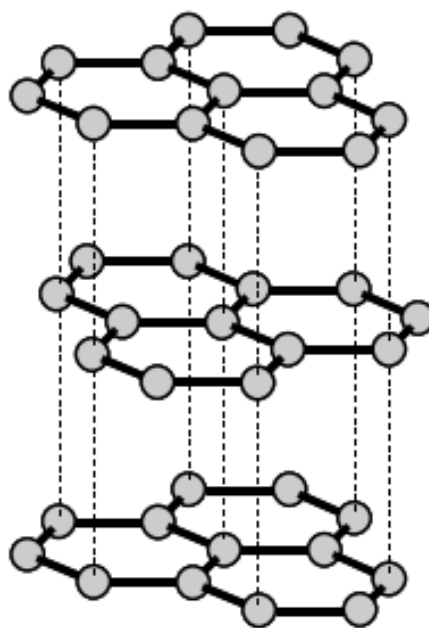


Рисунок 1. Кристаллическая решетка графита [12]

В кристаллической форме типа алмаза, каждый атом углерода образует связи с четырьмя соседними атомами, другими словами алмаз имеет четырехгранное расположение (Рисунок 2). В этом четырехгранном расположении все межатомные расстояния малы и имеют одно значение (0,154 нм). Поэтому появляются очень высокие связывающие силы между атомами во всех направлениях в пространстве. Это приводит к чрезвычайно

высокой твердости, высокой теплопроводности, высокому электрическому сопротивлению, химической инертности, оптической прозрачности, широкой запрещенной зоне и низкой степени износа в различных трибологических системах.

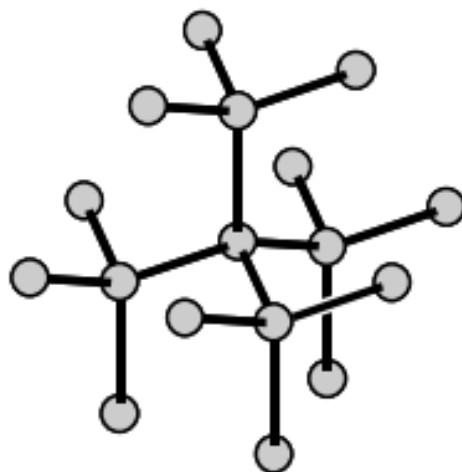


Рисунок 2. Кристаллическая решетка алмаза [13]

Кристаллические типы атомных связей алмазоподобных покрытий классифицируются  $sp^2$ - и  $sp^3$ -гибридизациями. Гибридизация орбиталей — это концепция смешения разных, но близких по энергии орбиталей данного атома, с возникновением того же числа новых гибридных орбиталей, одинаковых по энергии и форме. Гибридизация атомных орбиталей происходит при возникновении ковалентной связи между атомами. Буквы  $s$  и  $p$  обозначают орбитали, на которых находятся электроны. В типах кристаллической решетки алмаза или графита электроны атомов углерода находятся в так называемых "гибридных состояниях"  $sp^3$  и  $sp^2$  соответственно.  $Sp^2$  - гибридизация соответствует кристаллической решетке графита, каждый атом углерода, таким образом, соединен с тремя другими атомами. Кристаллическая решетка алмаза имеет  $sp^3$ -гибридизацию, в котором каждый атом углерода соединен с четырьмя соседними атомами.[14]

Эти гибридизации имеют место не только в кристаллических решетках твердых тел с определенным расположением атомов, но и в кристаллических решетках аморфных твердых телах, в которых атомы расположены в

случайном порядке. Гибридизация тогда существуют только между несколькими атомами, а не во всем множестве атомов. Типы связей оказывают значительное влияние на свойства аморфных углеродных покрытий. Преобладание в кристаллической решетке  $sp^2$ -связей делает покрытие мягче и наоборот, преобладание  $sp^3$ -связей придает покрытию более твердую структуру.

Типы кристаллических решеток можно определить с помощью методов спектроскопии комбинационного рассеяния света, так же можно оценить соотношение  $sp^2$ - и  $sp^3$ - гибридных связей в кристаллических и аморфных углеродных покрытиях.

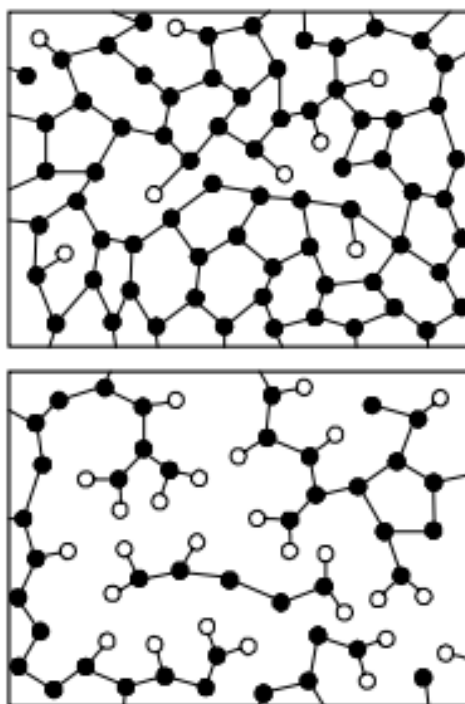


Рисунок 3. Содержание водорода в водородосодержащих углеродных покрытиях[15]

Черные - атомы углерода

Белые – атомы водорода

Верхнее изображение: от 15 до 25%, твердый слой

Нижнее изображение: от 30 до 50%, мягкий слой

На рисунке 3 схематически представлены кристаллические типы двух разных аморфных водородосодержащих углеродных покрытий. Очевидно, что с увеличением содержания водорода в структуре покрытия, уменьшается

количество связей углерод-углерод. Это приводит к ослаблению жесткости покрытия, пленка становится мягкой. От количества содержания водорода в структуре покрытия зависят такие свойства, как твердость, ширина запрещенной зоны, плотность и др.

## 1.2. Виды углеродных пленок

Интерес к углеродным пленкам возник благодаря универсальности свойств углерода, которые зависят от гибридизации атомных орбиталей. Как уже говорилось выше, атом углерода имеет четыре валентных электрона, что позволяет образовывать различные гибридизованные состояния:  $sp^1$ ,  $sp^2$  и  $sp^3$ .

В зависимости от содержания  $sp^3$  гибридизованных атомов в структуре углеродной пленки, концентрации водорода и наличия легирующих примесей, их можно классифицировать следующим образом: алмазоподобный (DLC), тетраэдральный (ta-C), полимероподобный (PAC), графитоподобный (GAC), гидрогенизированный (a-C:H), тетраэдральный гидрогенизированный аморфный углерод (ta-C:H).

### Алмазоподобный аморфный углерод

Согласно литературным данным первые пленки DLC были созданы Айзенбергом и Чаботом в 1971 г. [16]. Эти пленки были получены из потока ускоренных ионов углерода в плазме аргона при комнатной температуре подложки. Концентрация  $sp^3$  гибридизованных атомов углерода в покрытии составляет ~40-60%, концентрация водорода ~20-40%, твердость 15-25 ГПа и ширина оптической зоны 0,8-4,0 эВ [17, 18]. На сегодняшний день одним из основных методов получения DLC, является магнетронное распыление, зарекомендовавшие себя с лучшей стороны [19-21].

Аморфный углерод представляет собой материал, оптические, электрические и механические свойства которого можно изменять в широких пределах во время их осаждения, что дает множество возможностей применения этих пленок в различных устройствах, механизмах и

инструментах. Сочетание прозрачности в инфракрасной области спектра с механической прочностью дает возможность использовать их в оптических линзах лазеров и других оптических механизмах в качестве барьерных и просветляющих покрытий оптических слоях. Углеродные пленки, поглощающие излучение в видимой области спектра, применяются для осуществления оптической развязки между записывающим и считывающим светом в оптических жидкокристаллических модуляторах света отражательного типа. Прозрачные в видимой области спектра полимероподобные пленки применяются в качестве ориентирующих слоев для жидких кристаллов.

#### Графитоподобный аморфный углерод

Как правило, GAC пленки обладают низкой шириной запрещенной зоны 0-0,6 эВ, очень низким содержанием  $sp^3$  гибридизированных атомов углерода 0-30%, но высоким содержанием  $sp^2$  типов гибридизации и, как и пленки полимероподобного углерода, имеют мягкую структуру [17]. Одна из первых работ по исследованию структуры и свойств таких пленок была опубликована в 1976 г. [22].

#### Тетраэдральный аморфный углерод

Тетраэдральный углерод обладает наивысшей твердостью из семейства пленок аморфного углерода. Первые работы по осаждению ta-C относятся к 1978 г. В этом году посредством источника фильтрованной вакуумно-дуговой плазмы были получены первые пленки тетраэдрального углерода [23]. Концентрация  $sp^3$  гибридизированных атомов углерода в покрытии составляет ~60-85%, концентрация водорода ~0-30%, твердость 40-65 ГПа и ширина оптической зоны 1,6-2,6 эВ [17]. Наиболее используемыми методами осаждения ta-C пленок является метод лазерного напыления [24, 25], распыление [26, 27] и ионные пучки [28, 29].

#### Полимероподобный аморфный углерод

Пленки полимероподобного аморфного углерода имеют мягкую структуру из-за большого количества водорода. Одна из первых работ по

получению PAC пленок была опубликована в 1989 г. [30]. Для таких пленок концентрация  $sp^3$  гибридизированных атомов углерода в покрытии составляет ~60-80%, концентрация водорода ~40-65%, твердость 1-5 ГПа и ширина оптической зоны 2-5 эВ [17]. Для получения таких пленок используют углеродсодержащие прекурсоры (бензол, циклогексан, н-гексан, пентан). Несмотря на высокое содержание  $sp^3$  типа гибридизации, пленки являются мягкими за счет наличия высокой доли водорода, который не способен связать атомы углерода в пленке.

#### Гидрогенизированный аморфный углерод

Алмазоподобный аморфный углерод содержащий высокую долю водорода называется гидрогенизированным. Первая работа по получению таких пленок была проведена в 1976 г. с использованием высокочастотного плазмохимического осаждением из паровой фазы [31]. Эти пленки показали интересные механические и оптические характеристики. Как показали исследования, свойства пленок зависят от энергии падающего иона приходящейся на один атом углерода [32]. Синтезирование пленок происходит с использованием газовых смесей – метана, ацетилен и бензола. Концентрация  $sp^3$  гибридизированных атомов углерода в покрытии составляет ~20-60%, концентрация водорода ~30-60% и ширина оптической зоны 1,8-4 эВ [17].

#### Тетраэдральный гидрогенизированный аморфный углерод

Пленки тетраэдрального гидрогенизированного углерода осаждаются из плазмы высокой концентрации, например источника плазменного пучка [33] или плазмы электрон-циклотронного резонанса [34]. Содержание водорода в пленках выше, чем в а-С:Н. Сочетание максимального содержания  $sp^3$  гибридизированных атомов углерода (~75%) и более низким содержанием водорода, чем в а-С:Н пленках, означает, что существует больше С-С связей с  $sp^3$  типом гибридизированных атомов углерода, по сравнению с а-С:Н [17].



### 1.3. Методы осаждения углеродных пленок

Осаждение углеродных покрытий всегда основывалось на методах, связанных с вакуумом, другими словами, нанесение углеродных покрытий происходит при давлении газа ниже атмосферного. В газовой фазе образуются покрытия из отдельных атомов, молекул или соответствующих кристаллов. На мировом рынке технологий по нанесению защитных и барьерных слоев всегда наиболее широко были представлены два метода: метод химического осаждения (Chemical Vapour Deposition — CVD) и метод физического осаждения покрытий (Physical Vapour Deposition — PVD).

Каждый из применяемых методов осаждения имеет свои преимущества и недостатки, поэтому широкое распространение в последнее время получили различные гибридные методы напыления. Общие требования к этим технологиям — отсутствие селективного распыления мишеней, высокая степень ионизации и управляемая энергетика потока, а также возможность ионной очистки подложки. Многообразие применяемых в настоящее время способов физического осаждения износостойких покрытий укладывается в общую схему: испарение или ионное распыление титана или его сплавов, ионизация и гетерогенная реакция на поверхности инструмента атомов и ионов металла и реакционного газа (например, азота), приводящая к формированию нитридных, карбидных, карбонитридных и других покрытий.

Структуру и адгезию покрытий, а также их эксплуатационные характеристики определяет целый ряд факторов: повышение степени ионизации, скорости и плотности потока осаждаемых частиц, оптимизация температуры нанесения покрытий, применение ионной очистки подложки, ускоряющих напряжений (смещения) и др. Тот или иной материал покрытия (химический состав) сам по себе не может являться гарантией повышения износостойкости. Различные режимы нанесения, конфигурация технологической оснастки, проведение предварительного ионного травления или легирования и многие другие особенности определяют структуру самих покрытий и строение межфазной границы «покрытие — подложка».

### 1.3.1. Методы физического осаждения пленок

При физическом осаждении из паровой фазы материал пленки присутствует внутри вакуумной камеры в жидкой или твердой форме. Материал испаряется на атомном уровне в качестве молекул или кристаллов, после чего достигает поверхности подложки при помощи кинетического (физического) движения или конденсируется. Нанесение покрытий физическими методами проводится при температурах до  $450^{\circ}\text{C}$ , что практически не ограничивает используемые материалы, на которые осуществляется напыление покрытия. Физические осаждения проводятся в вакуумной камере, обычно с присутствием рабочего газа, при низком давлении (около  $10^{-2}$  мбар). Такие условия необходимы для беспрепятственного перехода частиц от катода к подложке, другими словами для снижения количества столкновений частиц катода с атомами или молекулами сторонних веществ, присутствующих в камере.

На данный момент есть множество различных вариантов метода физического осаждения: эти методы различаются способами перехода материала катода из твердой фазы – в жидкую, а после уже и в газообразную. Различают процессы испарения и распыления. Испарение (точнее, испарительное осаждение) в вакууме является важным способом получения тонких пленок. При испарительном осаждении материал покрытия плавится, образовавшийся пар осаждается на поверхности подложки. При распылении материал покрытия находится в твердой форме. При взаимодействии быстрых частиц (ионов) с поверхностью твердого тела (мишени) протекает каскад упругих бинарных столкновений, основным результатом которых является передача атомам мишени энергии и импульса. Если переданная атому энергия превышает энергию связи его с остальными, то атом может покинуть поверхность и перейти в газовую фазу. При этом температура мишени значительно ниже температуры испарения материала, из которого она изготовлена. Таким образом, частицы вырываются с мишени и достигают поверхности подложки, где они образуют покрытие.

Процессы осаждения так же могут проходить с дополнительной ионизацией или без нее, в среде реакционного газа или без него, с напряжением смещения или без него. Распыление бывает диодное или магнетронное, при постоянном токе или токе высокой частоты, с дополнительной модификацией магнитного поля или без нее.

Для нанесения покрытий на подложку в подавляющем большинстве случаев применяется один из трех методов ионного осаждения. К ним относятся: испарение электронным пучком; испарение электрической дугой; распыление (магнетронное) ионной бомбардировкой.

В установках, использующих испарение электронным пучком, к катоду с тлеющей дугой подводится высокое напряжение (1-10 кВ). В результате создается сфокусированный и ускоренный пучок электронов, который направляется на мишень с электропроводящим материалом покрытия. Мишень расположена в центре горизонтально расположенного котла из графита, керамики или меди. К котлу подведено положительное напряжение. К противоположной подставке с образцами, на которые происходит осаждение углеродных покрытий, подведено отрицательное напряжение, называемое напряжением смещения. Положительные ионы испаряемого вещества вступают в реакцию с реакционным газом и образуют материал покрытия (углеродное покрытие), которое осаждается подложке.

При использовании дугового испарения зажигается электрическая дуга. После зажигания дуги ее перемещение по поверхности мишени, установленной в охлаждаемом катоде, управляется с помощью системы магнитов. Основная цель – обеспечить равномерное удаление материала с поверхности мишени и продлить срок ее службы. Катод устанавливается вертикально на стенки камеры, и к нему подводится отрицательное напряжение. В момент розжига дуги на поверхности мишени возникает местный расплав. Начинается испарение материала мишени и испаренные частицы реагируют с реакционным газом, образуют положительно заряженные ионы. Положительно заряженные ионы начинают двигаться в

сторону, образца, на котором происходит осаждение углеродного покрытия, и происходит осаждение покрытия. На дуговых установках можно наносить композитные и многослойные покрытия – это отличительная особенность данного метода осаждения.

Большое внимание уделяется установкам, использующим метод распыления, поскольку именно этот метод используется в данной работе. Наибольшее применение находят установки на основе магнетронов. При приложении высокого напряжения в атмосфере инертного газа (как правило, это аргон или азот) возникает тлеющий разряд. Ионы инертного газа из плазмы, обладающие высокой энергией, ударяются об мишень, включенную как катод. За счет ударного импульса материал распыляется, минуя промежуточную жидкую фазу. В этом случае, в отличие от установок с котлом, возможно произвольное распыление мишеней. С помощью магнитных полей путь электронов увеличивается, так же увеличиваются плотность плазмы и ударная энергия. Позади мишени располагается магнитная система, определяющая распределение области распыления материала по всей поверхности мишени.

Для совмещения положительных свойств различных методов нанесения углеродных покрытий выпускаются установки, объединяющие эти методы.[35]

### **1.3.2. Методы химического осаждения пленок**

При химическом осаждении из паровой фазы компоненты покрытия находятся в газовой фазе. Материал покрытий образуется в результате химических реакций, протекающих в газовой фазе, а также на поверхности подложки. Как правило, при химических процессах осаждения углеродных покрытий подложка помещается в пары одного или нескольких веществ, которые вступая в реакцию и/или разлагаясь, производят на поверхности подложки углеродное покрытие. Часто образуется также газообразный продукт реакции, выносимый из камеры с потоком газа.

Химические методы формирования углеродных покрытий основываются на химических реакциях, которые происходят в газовой фазе и приводят к образованию и конденсации на подложке молекул углерода.

Различные виды химического формирования углеродных покрытий широко используются за рубежом и часто упоминаются в иностранной литературе. Процессы различаются по способам запуска химических реакций и по условиям протекания процесса.

В нашей стране более широкое промышленное применение получили PVD-способы нанесения защитных покрытий. Дело в том, что технологии CVD подразумевают использование дорогостоящих высокочистых химических реагентов ( $\text{TiCl}_4$ ,  $\text{NH}_3$  и т.д.) и прецизионных дозаторов химических прекурсоров, точный контроль продуктов химических реакций в рабочей камере и т.п. А нанесение покрытий полученных методом PVD при помощи дугового или тлеющего разряда (магнетрона) обладает большей производительностью и не столь чувствительно к незначительным отклонениям технологических параметров.

### **Вывод к разделу**

Из проведенного обзора литературы видно, что существует много способов синтезирования углеродных пленок, из которых наиболее распространенные методы распыления (магнетронные распылительные системы) и их модификации. На сегодняшний день активно ведутся работы по получению углеродных пленок различными методами, каждый из которых имеет достоинства и недостатки.

Алмазоподобные аморфные углеродные пленки представляют собой материал, оптические, электрические и механические свойства которого можно варьировать в широких пределах в процессе их получения, что открывает большие возможности применения этих пленок в различных устройствах. Аморфные углеродные пленки имеют ряд преимуществ по сравнению с другими углеродными покрытиями, это: возможность изменять

удельное электрическое сопротивление в широком диапазоне ( $10^{14}$ - $10^{-4}$  Ом·см), химическая инертность, механическая прочность, приемлемая адгезия к подложке за счет низких внутренних напряжений [6-9].

Благодаря совокупностям особенностей получения углеродных покрытий методом распыления и различным способам модифицирования покрытий было предложено использовать в качестве барьерных слоев аморфные углеродные пленки. Для того чтобы использовать аморфные углеродные пленки в качестве барьерных слоев необходимо провести ряд исследований.

## 2. Экспериментальное и аналитическое оборудование

### 2.1. Вакуумная установка

Для проведения экспериментальных исследований и технологических процессов была использована вакуумная камера с размерами 600×600×600 мм, основанная на турбомолекулярном насосе ТМН-1500 и оснащена магнетронной распылительной системой (MPC) с графитовым катодом. Вакуумная система (Рисунок 4) обеспечивает откачку газа из рабочей камеры.

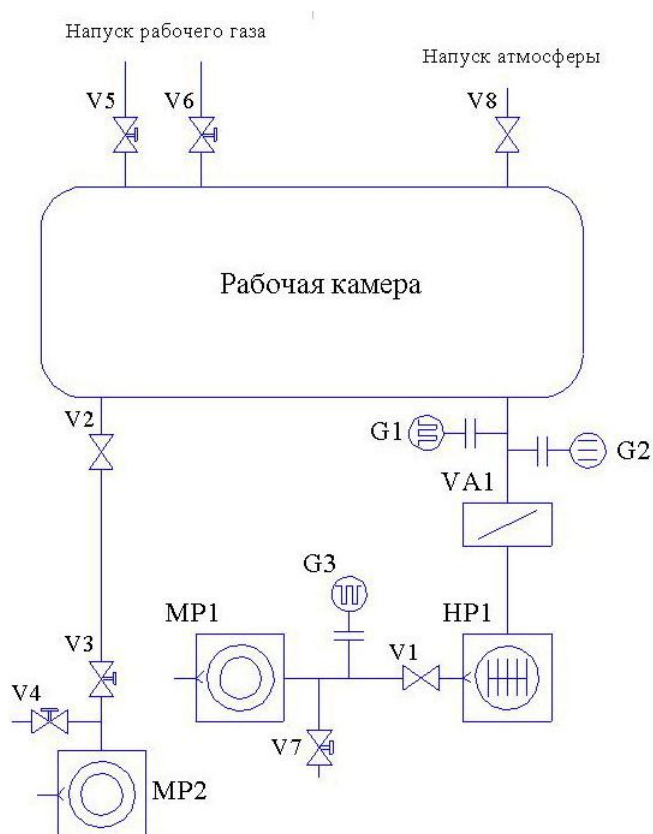


Рисунок 4. Вакуумная система

На представленной установке реализована двухступенчатая система откачки. Непосредственно из камеры, начиная с форвакуумного диапазона давления, ведется откачка турбомолекулярным насосом ТМН-1500 (HP1); с выхода ТМНа газ откачивается пластинчато-роторным насосом HE-200 (MP1). Перед тем, как начать высоковакуумную откачку ТМНом, в рабочей камере создается предварительное разрежение насосом золотникового типа АВЗ-180 (MP2).

Измерение давления производится вакуумметром ВИТ-3 термопарными (G1, G3) датчиками ПМТ-2 и ионизационным ПМИ-10-2 (G2) в соответствующих магистралях вакуумной системы.

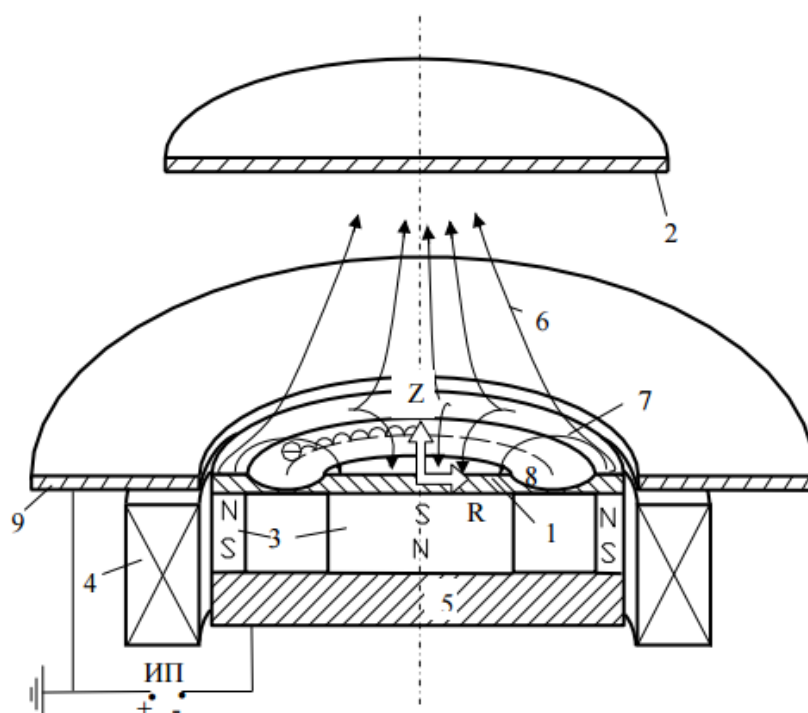


Рисунок 5. Упрощенная схема магнетронной распылительной системы.

1 – распыляемый катод, 2 –подложка, 3 – постоянные магниты, 4 - электромагнит, 5 – магнитопровод, 6 – несбалансированные линии магнитного поля, 7 – сбалансированные линии магнитного поля, 8 - зона распыления катода, 9 – анод (крепежный фланец), ИП – источник питания магнетрона.

Магнетронная распылительная система (МРС) с графитовым катодом установлена в рабочей камере. Для работы МРС используется источник питания ИП мощностью 5кВт (8А; 650В). Так же, в эксперименте использовался ИП для подачи напряжения смещения с амплитудой -3 кВ, частотой 1 кГц и длительностью импульса от 0-250 мкс. Упрощенная схема магнетронной распылительной системы планарного типа с круглым катодом представлена на рисунок 5. Магнетронный разряд зажигается между катодом 1 и анодом 9, которым также обычно являются заземленные стенки вакуумной камеры. Питание разряда осуществляется от источника



постоянного либо импульсного напряжения ИП. Образующиеся в разряде ионы ускоряются в катодном падении потенциала и бомбардируют катод из осаждаемого материала, в результате чего происходит распыление его поверхности и формирование потока распыленных атомов в сторону подложки из которых формируется пленка.

## **2.2. Аналитическое оборудование**

### **2.2.1. Измерение адгезионной прочности**

Наиболее распространёнными методами количественного определения величины адгезии являются методы вдавливания различными инденторами, прямого отрыва плёнки от подложки, а также метод склерометрии (царапанья) [36]. При определении адгезии методом царапанья происходит прорыв плёнки до обнажения подложки и отслоения покрытия. Для количественной оценки прочности сцепления необходимо точное измерение величины критической нагрузки, приводящей к разрыву плёнки. В основе этой методики лежит предположение, что сцепление с подложкой обеспечивает слой покрытия, непосредственно прилегающий к ней.

Анализ адгезионной прочности проводился на установке Nano-Scratch Tester (NST) компании CSEM Instrument. Изображение установки представлено на рисунке 6. Прибор имеет автоматизированный привод, встроенный оптический микроскоп и позволяет оценить силу сопротивления царапанию, глубину пропаханной борозды, твердость, модуль упругости. Деформирование поверхности осуществляют алмазным индентором при однократном и многократных проходах.



Рисунок 6. Установка для анализа адгезионной прочности NST компании CSEM Instrument.

После установки образца на подвижную платформу динамометром определяется необходимое значение вертикальной нагрузки на индентор. Во время передвижения платформы происходит сцарапывание плёнки. Ширина царапины измерялась на встроенном оптическом микроскопе. В качестве царапающего острия использовался алмазный индентор с радиусом закругления острия  $\sim 100$  мкм. Определение адгезионных свойств покрытий проводилось при нагрузках на индентор от 0,01 до 22 Н и скорости перемещения индентора 10 мм/мин.

### **2.2.2. Измерение удельного сопротивления**

Наиболее распространенным в контроле качества полупроводниковых материалов является четырехзондовый метод измерения удельного сопротивления. Применение этого метода обусловлено его высокими метрологическими показателями, простотой конструкции измерительных средств. Условием его применения с точки зрения формы образца является наличие плоской поверхности, линейные размеры которой превосходят линейные размеры системы зондов (в нашем случае 20 мм).

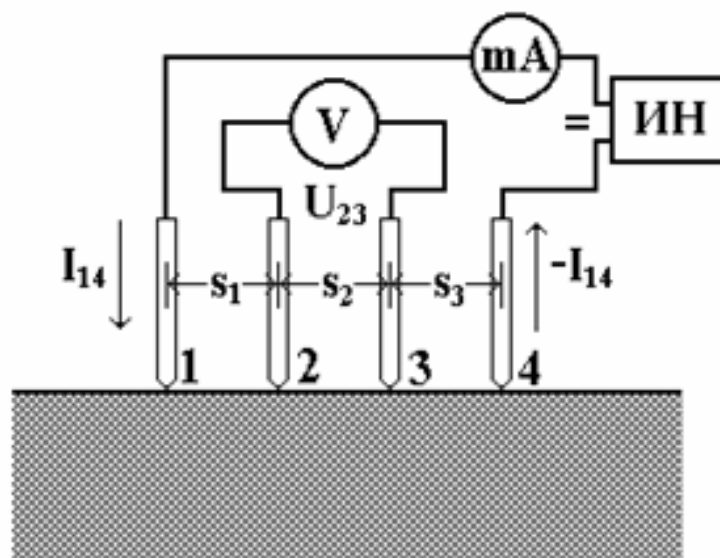


Рисунок 7. Электрическая схема измерения: ИН – источник постоянного напряжения; V – вольтметр; mA – миллиамперметр.

Электрическая схема измерения сопротивления четырехзондовым методом представлена на рисунке 7. На плоской поверхности покрытия вдоль прямой линии размещены четыре металлических зонда с малой площадью соприкосновения. Расстояния между зондами  $s_1$ ,  $s_2$  и  $s_3$ . Через внешние зонды 1 и 4 пропускают электрический ток  $I_{14}$ , на внутренних зондах 2 и 3 измеряют разность потенциалов  $U_{23}$ . По измеренным значениям  $I_{14}$  и  $U_{23}$  можно определить удельное сопротивление полупроводника.

### 2.2.3. Измерение твердости

Для количественного определения твердости была использована методика Оливера-Фарра с использованием наноиндентора NanoTest 600 (MicroMaterials, Великобритания).

Согласно данной методике наконечник индентора (в нашем случае это наконечник Берковича, представляющий собой пирамиду на треугольном основании) располагался перпендикулярно к поверхности исследуемого образца. На индентор подавалась возрастающая (до заранее заданной величины 20 мН) нагрузка, под действием которой наконечник индентора

вдавливался в образец. Такое вдавливающее воздействие с максимальной нагрузкой выдерживалось строго определённое время, а затем постепенно сила вдавливания снижалась. В результате происходила так называемая упруго-пластическая деформация, при которой поверхность материала под индентором частично возвращалась в исходное состояние.

Прибор имеет автоматизированный привод, встроенный оптический микроскоп с увеличением до 1000 раз и позволяет оценить глубину продавленной поверхности, твердость, модуль упругости.

По результатам проведенных испытаний образца исследуется площадь проекции получаемого отпечатка и исходя из соотношения этой площади и приложенной на максимуме нагрузки как раз и определяется искомая твердость.

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

В настоящее время перспективность научного исследования определяется не столько масштабом открытия, оценить которое на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки. Оценка коммерческой ценности (потенциала) разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов. Это важно для разработчиков, которые должны представлять состояние и перспективы проводимых научных исследований. Через такую оценку ученый может найти партнера для дальнейшего проведения научного исследования, коммерциализации результатов такого исследования и открытия бизнеса.

Целью данной главы является определение перспективности и успешности научно-исследовательского проекта, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- разработка общей экономической идеи проекта, формирование концепции проекта;
- организация работ по научно-исследовательскому проекту;
- определение возможных альтернатив проведения научных исследований;
- планирование научно-исследовательских работ;
- оценки коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения;

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

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

##### **4.1.1 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.

Получение алмазоподобных углеродных покрытий позволяют повысить срок службы промышленных механизмов, медицинский инструментов, отдельных деталей машин в несколько раз. Возможность легирования таких покрытий атомами различных металлов позволяет менять свойства покрытий в широком диапазоне.

Потенциальными потребителями готовой продукции являются различные промышленные предприятия, медицинская отрасль, космонавтика, кораблестроение и др.

##### **4.1.2 Анализ конкурентных технических решений**

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

Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

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

Для проведения анализа конкурентоспособности разработки будет использоваться оценочная карта, приведенная в таблице 1. В качестве конкурирующих покрытий были приняты: твердые пленки нитрида титана – К1 и кремний-углеродные пленки – К2. Данные конкурирующие покрытия так же могут использоваться как барьерные слои на термоэлектрических модулях.

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. Выбранные критерии оценки конкурентоспособности покрытий были обоснованы ранее в разделе литературного обзора.

Таблица 1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений.

Критерии оценки	Вес оценки	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
1. Антидиффузионные свойства покрытий	0.11	4	4	3	0.44	0.44	0.44
2. Простота в получении покрытий	0.07	5	5	5	0.35	0.35	0.35
3. Адгезионная прочность пленок	0.1	5	4	3	0.5	0.4	0.3
4. Устойчивость к износу	0.11	5	4	4	0.55	0.44	0.44
5. Безопасность в получении пленок	0.09	5	5	5	0.45	0.45	0.45
6. Простота в эксплуатации	0.08	5	5	5	0.4	0.4	0.4
7. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0.12	5	4	5	0.6	0.48	0.6
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
1. Конкурентоспособность покрытий	0.05	4	4	4	0.2	0.2	0.2
2. Цена покрытий	0.08	4	4	4	0.32	0.32	0.32
3. Предполагаемый срок эксплуатации	0.07	5	5	4	0.35	0.35	0.28

4. Область использования покрытий	0.04	5	5	5	0.2	0.2	0.2
5. Финансирование научной разработки	0.05	3	4	4	0.15	0.2	0.2
6. Срок выхода на рынок общего пользования	0.03	3	5	5	0.09	0.15	0.15
Итого		1			4.6	4.38	4.33

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:

$$K = \sum B_i \cdot B_i ,$$

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, является заметное преимущество углеродных покрытий на фоне конкурентной продукции. Преимущества имеются как в технических критериях оценки, так и в экономических. На самом деле, углеродные покрытия имеют большой интерес в области технических наук и поэтому данной разработке необходимо уделять больше внимания.

#### 4.1.3 SWOT-анализ

SWOT-анализ – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды 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.

Сильными сторонами разработки методики можно назвать следующие свойства и особенности:

- Высокое качество готового продукта;



- Эффективность технологии;
- Более простой метод получения покрытий по сравнению с другими;
- Квалифицированный персонал;
- Наличие бюджетного финансирования.

Слабыми сторонами данной разработки можно назвать следующие свойства и особенности:

- Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой;
- Сильные конкуренты, уже присутствующие на рынке;
- Отсутствие компании, которая может поставить производство в больших количествах;
- Недостаток финансовых средств;
- Слабая маркетинговая политика.

К возможностям данной разработки методики можно отнести:

- Модернизация материалов хоз.товаров, повышение срока службы материалов;
- Из-за низкой стоимости и высокой эффективности данная технология модернизирования может стать передовой;
- Снижение стоимости материала.

К угрозам можно отнести:

- Отсутствие спроса на новые технологии производства;
- Развитие альтернативных технологий и аналогов оборудования;
- Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства.

В таблице 2 представлена интерактивная матрица проекта, в которой показано соотношение сильных сторон с возможностями, что позволяет более подробно рассмотреть перспективы разработки.

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 представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Интерактивная матрица проекта

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

Подобные матрицы были построены для анализа сильных сторон и угроз проекта, для анализа слабых сторон и возможностей проекта, а также для анализа слабых сторон и угроз проекта.

В таблице 3 представлен SWOT-анализ, так же показаны результаты пересечений сторон, возможностей и угроз.

Таблица 3 – SWOT-анализ

	<p><b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b>  С1. Высокое качество готового продукта;  С2. Эффективность технологии;  С3. Более простой метод получения покрытий по сравнению с другими;  С4. Квалифицированный персонал;  С5. Наличие бюджетного</p>	<p><b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b>  Сл1. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой  Сл2. Сильные конкуренты, уже присутствующие на рынке;  Сл3. Отсутствие компании,</p>
--	---	--

	финансирования.	которая может поставить производство в больших количествах; Сл4. Недостаток финансовых средств Сл5. Слабая маркетинговая политика.
<p><b>Возможности:</b> В1. Модернизация материалов хоз.товаров, повышение срока службы материалов; В2. Из-за низкой стоимости и высокой эффективности данная технология модернизирования может стать передовой; В3. Снижение стоимости материала.</p>	<p>1. Улучшение характеристик инструмента с использованием покрытия при малых финансовых затратах. 2. Повышения срока службы материалов, а также придание им дополнительных уникальных свойств при низкой стоимости и эффективности технологии модернизации являются основополагающими для продвижения продукции и повышении его качества.</p>	<p>1. Придание материалам уникальных свойств. 2. Низкая стоимость и высокая эффективность технологии позволит привлечь к себе большое внимание потенциальных потребителей и, тем самым, «перетянуть» их к себе от существующих конкурентов.</p>
<p><b>Угрозы:</b> У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства; У2 Развитие альтернативных технологий и аналогов оборудования; У3. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства;</p>	<p>1. Изготовленный продукт, имеет основополагающие сильные стороны, для предотвращения угроз. 2. Высокое качество готового продукта, квалифицированный персонал и эффективность технологии позволит создать и постоянно поддерживать спрос на технологию. 3. Эффективность технологии и опытный персонал позволят вести разработки в целях улучшения продукта, что предотвратит развитие альтернативных технологий.</p>	<p>1. Устранение слабой маркетинговой политики поможет решить проблему с поиском потребителей. 2. Повышение технологического пакета данной разработки поспособствует решить проблему с поиском потребителей и созданием альтернативных технологий. 3. Привлечение финансовых средств позволит модернизировать и усовершенствовать методику получения и контроля покрытий.</p>

Проанализировав характер научно-технической работы можно сделать вывод, что наиболее оптимальной стратегией выхода разработки на рынок является стратегия совместной предпринимательской деятельности. Совместная предпринимательская деятельность – это стратегия, которая основана на соединении общих усилий фирмы с коммерческими

предприятиями партнера для создания производственных и маркетинговых мощностей. Эта стратегия выбрана, так как необходимо найти стабильный рынок заказов и сбыта товара.

Данные покрытия находятся в стадии разработки и технических исследований. SWOT – анализ показал, что данные покрытия имеют ряд преимуществ и недостатков, которые на данный момент ни как не устранены практически, но в теории уже есть возможности устранения этих проблем. Так же имеются очень хорошие возможности и сильные стороны проекта, которые в дальнейшем могут быть реализованы и в процессии реализации все негативные стороны проекта будут сведены к минимуму.

## **4.2 Планирование научно-исследовательских работ**

### **4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования**

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- 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 4.

Таблица 4 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель темы
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Студент
	3	Выбор направления	Руководитель,

		исследований	студент
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Студент
	6	Выбор оптимальных параметров для расчёта	Руководитель, студент
	7	Разработка методик для осаждения углеродных покрытий	Руководитель, студент
	8	Оценка правильности полученных результатов	Руководитель, студент
	9	Построение графиков	Студент
Обобщение и оценка результатов	10	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, студент
	11	Определение целесообразности проведения ВКР	
Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ВКР)	12	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	студент
	13	Проверка правильности выполнения ГОСТа пояснительной записки	Руководитель, студент
	14	Поиск путей оптимизации разработки	Руководитель, студент

#### 4.2.2 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:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} - 2t_{\max i}}{5}$$

$t_{ожі}$  - ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы чел.-дн.;

$t_{\min i}$  - 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  $T_{pi}$ , 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 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}$$

$T_{pi}$  - продолжительность одной работы, раб. дн.;

$Ч_i$ - численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

#### 4.2.3 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 5.

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

$$T_{ki} = T_{pi}k_{кал}$$

$T_{ki}$  - продолжительность выполнения  $i$ -й работы в календарных днях;

$k_{кал}$  - коэффициент календарности.

$T_{pi}$ - продолжительность выполнения  $i$ -й работы в рабочих днях;

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} = \frac{366}{366 - 119} = 1.48$$

$T_{кал}$ - количество календарных дней в году;

$T_{вых}$ - количество выходных дней в году;

$T_{пр}$  - 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.

Таблица 5 – Временные показатели проведения научного исследования (Р – научный руководитель; С – студент)

Название работы	Трудоёмкость работ			Исполнители	Длительность в раб. днях, $T_{pi}$	Длительность работ в календарных днях, $T_{ki}$
	$t_{min}$ , чел-дни	$t_{max}$ , чел-дни	$t_{ож}$ , чел-дни			
1. Составление и утверждение технического задания	1	3	1,8	Р	0,9	1
2. Выбор направления исследования проводимых в рамках ВКР	1	2	1,4	С,Р	0,7	1
3. Подбор и изучение материалов по теме	7	10	8,2	С,Р	8,2	12
4. Календарное планирование работ по теме	1	6	3	Р	1,5	2
5. Проведение теоретических расчетов и обоснований	2	5	3,2	С	1,6	2
6. Выбор оптимальных параметров для расчёта	1	3	1,8	С,Р	0,9	1
7. Разработка методик для осаждения углеродных покрытий	5	10	7	С,Р	7	10
8. Оценка правильности полученных результатов	2	7	4	С	4	6
9. Построение графиков	4	5	4,4	С	4,4	7
10. Составление пояснительной записки	4	5	4,4	С,Р	2,2	3
11. Проверка правильности выполнения ГОСТа пояснительной записки	4	7	5,2	С,Р	5,2	8
12. Поиск путей оптимизации разработки	4	5	4,4	С,Р	4,4	7

На основе таблицы 5 строится календарный график-план. График строится для максимального по длительности выполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта на основе таблицы 6 с разбивкой по месяцам и декадам за период времени дипломирования.

Таблица 6 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№ работ	Вид работ	Исполнители	Т <sub>кi</sub> , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ															
				март.				апрель				май				июнь			
				1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Составление и утверждение технического задания	Р	1	■															
2	Выбор направления исследований проводимых в рамках ВКР	С, Р	1,1	■															
3	Подбор и изучение материалов по теме	С	10		■														
4	Календарное планирование работ по теме	Р	1			■													
5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	С	10				■	■											
6	Выбор оптимальных параметров для расчёта	С, Р	4,1									■	■						
7	Разработка методик для осаждения углеродных покрытий	С, Р	4,1										■						
8	Оценка правильности полученных результатов	С	10									■	■	■					





### 4.3.1. Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

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

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

$N_{расхи}$  – количество материальных ресурсов  $i$ -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м,  $m^2$  и т.д.);

$C_i$  – цена приобретения единицы  $i$ -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./ $m^2$  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).

Материальные затраты, необходимые для данной разработки, заносятся в таблицу 7.

Отсутствие в таблице разделения на источники финансирования говорит о том, что источник один. Источник финансов в данной работе – студент.

Таблица 7 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (Зм), руб.
Катод графитовый	шт.	1	1000	1200
Катод никелевый	шт.	1	1200	1409
Фольга	$m^2$	1	32	32
Магнитик	шт.	1	10	10
Доступ в интернет	месяц	5	360	1800
Итого				4409

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.

#### **4.3.2 Основная заработная плата исполнителей темы**

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20–30 % от тарифа или оклада.

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

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}$$

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

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

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p$$

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

Для руководителя:  $Z_{\text{осн}} = 1195 \cdot 5 = 5975,12$  рублей

Для студента:  $Z_{\text{осн}} = 127,89 \cdot 76 = 9719,64$  рублей

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}},$$

где  $Z_{\text{м}}$  – месячный должностной оклад работника, руб.;  $M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 24 раб. дня  $M = 11,2$  месяца, 5-дневная неделя; при отпуске в 48 раб. дней  $M = 10,4$  месяца, 6-дневная неделя;  $F_{\text{д}}$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (таблица 8).

Тогда,

для руководителя:  $Z_{\text{дн}} = \frac{22300 \cdot 11,2}{209} = 1195,02$  рублей

для студента:  $Z_{\text{дн}} = \frac{1750 \cdot 10,4 \cdot 1,3}{185} = 127,89$  рублей

где 1,3 – это районный коэффициент для Томска,  $k_p$

Зарплата  $Z_{\text{м}}$  по тарифной ставке (оклад) доцента, кандидата наук – 22300 руб.

Государственная академическая стипендия студента – 1750 руб.

Таблица 8 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	118	118
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	24	48
- невыходы по болезни	-	-
Действительный годовой фонд рабочего времени	209	185

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 9.

Таблица 9 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	З <sub>б</sub> , руб.	$k_p$	З <sub>м</sub> , руб	З <sub>дн</sub> , руб.	T <sub>р</sub> , раб. дн.	З <sub>осн</sub> , руб.
Руководитель	-	-	22300	1195,02	5	5975,12
Студент	1750	1,3	2275	127,89	76	9719,64

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 (см. «Положение об оплате труда», приведенное на интернет-странице Планово-финансового отдела ТПУ).
2. стимулирующие выплаты – устанавливаются руководителем подразделений за эффективный труд, выполнение дополнительных обязанностей и т.д.
3. иные выплаты; районный коэффициент.

#### 4.3.3 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:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} = 5975,12 \cdot 0,12 = 717,01,$$

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

Дополнительная заработная плата представлена в таблице 10.

Таблица 10 – Дополнительная заработная плата

Исполнитель	$k_{\text{доп}}$	$Z_{\text{осн}}$	$Z_{\text{доп}}$
Руководитель	0,12	5975,12	717,01
Итого			717,01

#### 4.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

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

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

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%.

$$k_{\text{внеб}} = k_{\text{пф}} + k_{\text{с}} + k_{\text{пн}},$$

где  $k_{\text{пф}}$  – коэф. отчисления в пенсионный фонд;  $k_{\text{с}}$  – коэф. Отчисления страховых взносов;  $k_{\text{пн}}$  – коэф. отчисления в подоходный налог.

$$k_{\text{внеб}} = 0,271$$

Таблица 11 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Руководитель	Студент
Основная заработная плата, руб.	5975,12	9719,64
Дополнительная заработная плата, руб.	717,01	-
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271	
Сумма отчислений	1813,57	-
Итого	1813,57	

#### 4.3.5 Формирование бюджета затрат НИИ

В процессе формирования бюджета, планируемые затраты группировались по статьям, представленным в таблице 12. В качестве альтернативных путей исследования рассматривается применение мишени титана с напуском рабочего газа в камеру (азот) и осаждение кремний-углеродных плёнок с использованием полефинилметилсилосана (в те же сроки, что и основной проект).

Таблица 12 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.		
	Разработка	Аналог 1	Аналог 2
Материальные затраты НИИ	4409	4669	7141,27
Затраты по основной заработной плате	15694,76	15694,76	15694,76
Затраты по дополнительной заработной	717,01	717,01	717,01
Отчисления во внебюджетные фонды	1813,57	1813,57	1813,57
Итого плановая себестоимость НИИ	22634,34	22894,34	25366,61

В ходе расчетов установлено, что затраты на НИИ составили 22634,34 руб., что незначительно превосходит затраты на альтернативный вариант исследования пленок нитрида титана и значительно дешевле другого варианта – осаждение кремний-углеродных пленок с использованием полефинилметилсилосана.

#### 4.4 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:

$$I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}} = \frac{22634,34}{25366,61} = 0,89$$
$$I_{\Phi}^{a1} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}} = \frac{22894,34}{25366,61} = 0,91$$
$$I_{\Phi}^{a2} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}} = \frac{25366,61}{25366,61} = 1$$

Где  $I_{\Phi}^p$  – интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi_{pi}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;

$\Phi_{max}$  – максимальная стоимость исполнения научно – исследовательского проекта.

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

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



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

где  $I_m$  – интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов;

$a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го параметра;

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

$n$  – число параметров сравнения.

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

Таблица 13 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
1. Соответствие требований потребителя	0,2	5	4	3
2. Устойчивость к износу	0,2	5	5	3
3. Малое потребление ресурсов при осаждении пленок	0,3	4	4	4
4. Безопасность процессов получения пленок	0,3	5	4	2
Итого	1	4,7	4,2	3

$$I_m^p = 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,3 + 5 \cdot 0,3 = 4,7$$

$$I_1^{a1} = 4 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,3 + 4 \cdot 0,3 = 4,2$$

$$I_1^{a2} = 3 \cdot 0,2 + 3 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,3 + 2 \cdot 0,3 = 3$$

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

$$I_{финр}^p = \frac{I_m^p}{I_{\phi}^p} = \frac{4,7}{0,89} = 5,3$$

$$I_{финр}^{a1} = \frac{I_m^{a1}}{I_{\phi}^{a1}} = \frac{4,2}{0,91} = 4,62$$

$$I_{финр}^{a2} = \frac{I_m^{a2}}{I_{\phi}^{a2}} = \frac{3}{1} = 3$$

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

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{финр}^p}{I_{финаi}^a}$$

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

$I_{тэ}^p$  – интегральный показатель разработки;

$I_{тэ}^a$  – интегральный технико-экономический показатель аналога.

Таблица 14 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Разработка	Аналог 1	Аналог 2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,89	0,91	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,7	4,2	3
3	Интегральный показатель эффективности	5,3	4,62	3
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	1,15	1,76

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет судить о приемлемости существующего варианта решения поставленной в бакалаврской диссертации технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности. Как видно из таблицы 14 исследование осаждения углеродных плёнок с точки зрения финансовой и ресурсной эффективности наиболее удачно, по сравнению с альтернативными вариантами.

### Вывод к разделу

В данном разделе рассмотрена экономическая эффективность настоящей выпускной работы. Проведенный SWOT-анализ позволил выявить сильные и слабые стороны проекта, помог выявить возможности и угрозы, которые нужно учитывать при дальнейшем развитии проекта. Сравнение с

аналогами позволило выявить преимущества, на которые стоит уделять особое внимание. Построенный график работ позволил рассчитать реальную заработную плату для всех участников проекта. Для того чтобы показать, что данный проект имеет место быть в научной и экономической сфере, был проведен анализ эффективности данной работы и сравнен с эффективностью других работ.

## **5. Социальная ответственность**

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

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

Опасным производственным фактором, согласно, называется такой производственный фактор, воздействие которого в определенных условиях приводят к травме или другому внезапному, резкому ухудшению здоровья.

Вредным производственным фактором называется такой производственный фактор, воздействие которого на работающего, в определенных условиях, приводит к заболеванию или снижению трудоспособности.

При выполнении настоящей бакалаврской работы были использованы: вакуумная установка ННВ-6, персональная электронно-вычислительная

машина. Приведем анализ вредных и опасных производственных факторов, а также комплекс защитных мероприятий.

### 5.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

Под опасным производственным фактором понимается фактор, воздействие которого на работника может привести к его травме (высота, огонь, электрический ток, движущиеся предметы, взрыв). Вредным производственным фактором является фактор, воздействие которого на работника может привести к его заболеванию (неблагоприятный микроклимат, повышенный уровень шума, вибрации, плохое освещение, неблагоприятный состав воздуха).

Согласно [37] при работе на установке ННВ-6 и ПЭВМ на сотрудников могут воздействовать опасные и вредные факторы, приведенные в таблице 15.

Таблица 15. Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы

Наименование видов работ и параметров производственного процесса	ФАКТОРЫ ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Работа на установке ННВ-6 ИСЭ СО РАН	Шум; высокое напряжение; электромагнитное излучение; повышенное содержание вредных паров и аэрозолей в воздухе рабочей зоны (бензина, этилового спирта и т.д.); повышенная температура деталей после осаждения.	—	НПАОП 28.51-.1.38-91 правила безопасности труда при вакуумном ионно-плазменном осаждении покрытий
	—	Электрический ток	ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ электробезопасность

Работа на ПЭВМ	Воздействие радиации (ВЧ, УВЧ, СВЧ и т.д.)	—	СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. «Гигиенические требования к ПЭВМ и организация работы»
	—	Пожарная безопасность	Пожаро- и взрывобезопасность промышленных объектов. ГОСТ Р12.1.004-91 ССБТ Пожарная безопасность

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

На инженера, работающего на установке ННВ-6 и ПЭВМ, воздействуют следующие факторы:

1. физические: температура и влажность воздуха, шум, статическое электричество, вредные химические вещества, освещённость. Воздействие электромагнитного излучения было сведено к минимуму, так как при работе на ПЭВМ использовался жидкокристаллический монитор;

2. психофизиологические: физические перегрузки (статические, динамические), нервно-психические перегрузки (умственное перенапряжение, монотонность труда, эмоциональные перегрузки).

## **5.2 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния при работе на установке ННВ-6 и ПЭВМ.**

### **5.2.1 Организационные мероприятия**

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

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

К работе на установке ННВ-6 допускаются лица не моложе 18 лет, не имеющих медицинских противопоказаний, прошедших вводный инструктаж и инструктаж по безопасности труда на рабочем месте. К самостоятельной работе допускаются работники после специального обучения и проверки знаний правил электробезопасности, приобретенных навыков и безопасных способов выполнения работы с данной установкой, ознакомленные с инструкцией по эксплуатации прибора и имеющие не менее II группы по электробезопасности.

Повторная проверка знаний норм и правил электробезопасности, правил безопасной работы с химическими веществами 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.

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

## 5.2.2 Технические мероприятия

Рациональная планировка рабочего места предусматривает четкий порядок и постоянство размещения предметов, средств труда и документации. То, что требуется для выполнения работ чаще должно располагаться в зоне легкой досягаемости рабочего пространства, как показано на рисунке 13.

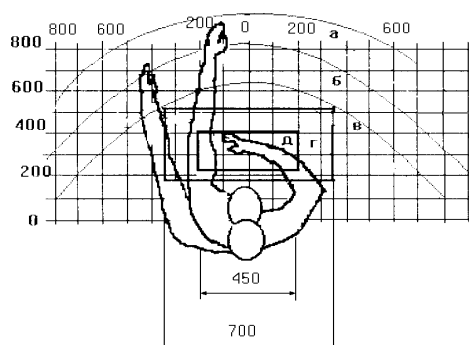


Рисунок 13 - Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости

а - зона максимальной досягаемости рук;

б - зона досягаемости пальцев при вытянутой руке;

в - зона легкой досягаемости ладони;

г - оптимальное пространство для грубой ручной работы;

д - оптимальное пространство для тонкой ручной работы.

Оптимальное размещение предметов труда и документации в зонах досягаемости рук: дисплей размещается в зоне а (в центре); клавиатура – в зоне г/д; системный блок размещается в зоне б (слева); принтер находится в зоне а (справа); документация – в зоне легкой досягаемости ладони – в

(слева) – литература и документация, необходимая при работе; в выдвижных ящиках стола – литература, не используемая постоянно.

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

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

Должна предусматриваться возможность регулирования экрана:

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

Клавиатуру следует располагать на поверхности стола на расстоянии 100-300 мм от края. Нормальным положением клавиатуры является её размещение на уровне локтя оператора с углом наклона к горизонтальной плоскости 15 градусов. Более удобно работать с клавишами, имеющими вогнутую поверхность, четырёхугольную форму с закруглёнными углами.



Конструкция клавиши должна обеспечивать оператору ощущение щелчка. Цвет клавиш должен контрастировать с цветом панели.

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

### 5.2.3 Условия безопасной работы

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

Воздух рабочей зоны (микроклимат) производственных помещений определяют следующие параметры: температура, относительная влажность, скорость движения воздуха. Оптимальные и допустимые значения характеристик микроклимата приведены в таблице 16.

Таблица 16. Оптимальные и допустимые параметры микроклимата

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

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

Система отопления должна обеспечивать достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха. В помещениях с повышенными требованиями к чистоте воздуха должно использоваться водяное отопление. Параметры микроклимата в используемой лаборатории регулируются системой центрального отопления, и имеют следующие значения: влажность – 40%, скорость движения воздуха – 0,1 м/с, температура летом -20–25 °С, зимой -13–15 °С. В лаборатории осуществляется естественная вентиляция. Воздух поступает и удаляется через щели, окна, двери. 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. При выполнении работы на ПЭВМ уровень шума на рабочем месте не должен превышать 50 дБ.

В соответствии с [38] допустимый уровень шума при работе, требующей сосредоточенности, работе с повышенными требованиями к процессам наблюдения и дистанционного управления производственными циклами на рабочих местах в помещениях лабораторий с шумным оборудованием, составляет 75 дБ. Следовательно, средства и методы защиты от шума должны обеспечивать уровень шума на рабочем месте не выше 75 дБ. Зоны с уровнем звука 80 дБ должны быть обозначены знаками безопасности согласно [39, 40].

Снижение шума, воздействующего на человека на рабочих местах до значений, не превышающих допустимые, достигается применением средств и методов коллективной защиты, применением средств индивидуальной

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

Дисплей ЭВМ являются источником электромагнитного излучения.

Напряженность электромагнитного поля на расстоянии 50 см вокруг экрана по электрической составляющей должна быть не более:

- в диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц – 25 В/м;
- в диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц – 2,5 В/м.

Плотность магнитного потока должна быть не более:

- в диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц – 250 нТл;
- в диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц – 25 нТл.

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

Так же управление установкой характеризуется монотонностью работы и умственным перенапряжением. Нервно-психические перегрузки приводят к переутомляемости, снижению внимания и могут привести к ухудшению здоровья человека. При регулярной непрерывной работе с компьютером могут возникать заболевания органов зрения, сердечно-сосудистой системы и желудочно-кишечного тракта.

### **5.3 Химическая безопасность**

Задачей химической безопасности является охрана внутренней среды человека от многочисленных вредных для организма химических агентов, способных проникать в ткани и органы, накапливаться в них и сохраняться длительное время.

Согласно [41] по степени воздействия на организм вредные вещества подразделяют на четыре класса опасности:

- 1-й - вещества чрезвычайно опасные;

2-й - вещества высокоопасные;

3-й - вещества умеренно опасные;

4-й - вещества малоопасные.

Класс опасности вредных веществ устанавливается в зависимости от норм и показателей, указанных в таблице 17.

Таблица 17 – Нормы показателей для определения класса опасности вредного вещества

Наименование показателя	Нормы для класса опасности			
	1-го	2-го	3-го	4-го
Предельно допустимая концентрация (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны, мг/м <sup>3</sup>	Менее 0,1	0,1-1,0	1,1-10,0	Более 10,0
Средняя смертельная доза при введении в желудок, мг/кг	Менее 15	15-150	151-5000	Более 5000
Средняя смертельная доза при нанесении на кожу, мг/кг	Менее 100	100-500	501-2500	Более 2500
Средняя смертельная концентрация в воздухе, мг/м <sup>3</sup>	Менее 500	500-5000	5001-50000	Более 50000
Коэффициент возможности ингаляционного отравления (КВИО)	Более 300	300-30	29-3	Менее 3
Зона острого действия	Менее 6,0	6,0-18,0	18,1-54,0	Более 54,0
Зона хронического действия	Более 10,0	10,0-5,0	4,9-2,5	Менее 2,5

Отнесение вредного вещества к классу опасности производится по показателю, значение которого соответствует наиболее высокому классу опасности.

В ходе работы использовался ацетон, ПДК которого 200 мг/м<sup>3</sup>.

При работе в химической лаборатории необходимо соблюдать следующие требования техники безопасности согласно:

- при работе с химическими реактивами в лаборатории должно находиться не менее двух сотрудников;
- приступая к работе, сотрудники обязаны осмотреть и привести в порядок свое рабочее место, освободить его от ненужных для работы предметов;
- перед работой необходимо проверить исправность оборудования, рубильников, наличие заземления и пр.;
- работа с едкими и ядовитыми веществами, а также с органическими растворителями проводится только в вытяжных шкафах;

- запрещается набирать реактивы в пипетки ртом, для этой цели следует использовать резиновую грушу или другие устройства;
- при определении запаха химических веществ, следует нюхать осторожно, направляя к себе пары или газы движением руки;
- работы, при которых возможно повышение давления, перегрев стеклянного прибора или его поломка с разбрызгиванием горячих или едких продуктов, также выполняются в вытяжных шкафах. Работающий должен надеть защитные очки (маску), перчатки и фартук;
- при работах в вытяжном шкафу створки шкафа следует поднимать на высоту не более 20 - 30 см так, чтобы в шкафу находились только руки, а наблюдение за ходом процесса вести через стекла шкафа;
- при работе с химическими реактивами необходимо включать и выключать вытяжную вентиляцию не менее чем за 30 минут до начала и после окончания работ;
- смешивание или разбавление химических веществ, сопровождающееся выделением тепла, следует проводить в термостойкой или фарфоровой посуде;
- при упаривании в стаканах растворов следует тщательно перемешивать их, так как нижний и верхний слои растворов имеют различную плотность, вследствие чего может произойти выбрасывание жидкости;
- во избежание ожогов, поражений от брызг и выбросов нельзя наклоняться над посудой, в которой кипит какая-либо жидкость;
- нагревание посуды из обычного стекла на открытом огне без асбестированной сетки запрещено;
- при нагревании жидкости в пробирке держать ее следует отверстием в сторону от себя и от остальных сотрудников;
- ни при каких обстоятельствах нельзя допускать нагревание жидкостей в колбах или приборах, не сообщающихся с атмосферой;

- нагретый сосуд нельзя закрывать притертой пробкой до тех пор, пока он не охладится до температуры окружающей среды.

#### **5.4 Электробезопасность**

Электробезопасность – это система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества. Безопасной для человека является величина переменного тока – 10 мА, постоянного – 50 мА, безопасное напряжение 12 В.

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

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

При работе на ПЭВМ существует опасность электропоражения в следующих случаях:

- при непосредственном прикосновении к токоведущим частям во время ремонта электрических приборов;
- при прикосновении к нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением (в случае нарушения изоляции);
- при прикосновении с полом, стенами, оказавшимися под напряжением;
- при коротком замыкании.

Работа на установке ННВ-6 предполагает использование высокого напряжения блока питания (до 15 кВ) и напряжения сети 380\220 В, которое может привести к поражению электрическим током. Источником поражения электрическим током могут быть незащищенные и неизолированные электропровода, поврежденные электродвигатели, открытые коммутаторы, не заземленное оборудование и др.

Проходя через живые ткани, электрический ток оказывает термическое, электролитическое и биологическое воздействия. Это приводит к различным нарушениям в организме, вызывая как местное поражение тканей и органов, так и общее поражение организма [42]. Самый опасный – переменный ток частотой 50 – 60 Гц.

Электрозщитные средства – это переносимые и перевозимые изделия, служащие для защиты людей, работающих с электроустановками, от поражения электрическим током, от воздействия электрической дуги. Эти средства должны обеспечивать высокую степень защиты и удобство при эксплуатации. Их выбирают с учетом требований безопасности для данного вида работ. В первую очередь безопасность обеспечивается применением средств коллективной защиты, а затем, если она не может быть обеспечена, применяют средства индивидуальной защиты.

К средствам индивидуальной защиты от поражения электрическим током относятся:

- оградительные устройства, которые могут быть стационарными и переносимыми. Ограждения могут быть сблокированы с устройствами, отключающими рабочее напряжение при снятии;
- изолирующие устройства и покрытия;

- устройства защитного заземления, зануления и защитного отключения;

- устройства дистанционного управления;

- предохранительные устройства и др.

Для обеспечения электробезопасности обслуживающего персонала необходимо предусмотреть:

- защитное заземление всех металлических нетоковедущих частей электрооборудования  $R_3 \leq 4 \text{ Ом}$ ;
- раздельное размещение аппаратуры с напряжением до 1000 В и свыше 1000 В;
- ограждение электронного источника, исключающее возможность прикосновения к токоведущим частям;
- полное ограждение от прикосновения к аппаратуре с напряжением выше 1000 В;
- отключение всех источников питания установки общим рубильником.

При поражении работника электрическим током необходимо:

1. освободить пострадавшего от действия электрического тока и оценить состояние пострадавшего;
2. вызвать скорую медицинскую помощь или врача, либо принять меры для транспортировки пострадавшего в ближайшее лечебное учреждение;
3. если пострадавший находится в сознании, но до этого был в состоянии обморока или продолжительное время находился под действием тока, ему до прибытия врача необходимо обеспечить полный покой и в дальнейшем медицинское наблюдение в течение 2-3 часов;
4. если пострадавший находится в бессознательном состоянии, но с сохранившимся дыханием, его следует ровно и удобно положить, расстегнуть одежду, создать приток свежего воздуха и обеспечить полный покой, дать понюхать нашатырный спирт. Если пострадавший плохо дышит, необходимо сделать искусственное дыхание и непрямой массаж сердца;



5. при отсутствии признаков жизни (отсутствие дыхания, пульса, реакции зрачка на свет) нельзя считать пострадавшего мертвым. Ему должна быть оказана первая медицинская помощь в виде искусственного дыхания и непрямой массаж сердца. Искусственное дыхание и непрямой массаж сердца следует делать непрерывно до прибытия врача;
6. переносить пострадавшего в другое место следует только в тех случаях, когда ему или лицу, оказывающему помощь, продолжает угрожать опасность или когда оказание помощи на месте невозможно.

### **5.5 Пожарная и взрывная безопасность**

Согласно [43], по взрывопожарной и пожарной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В1-В4, Г и Д, а здания – на категории А, Б, В, Г и Д. Категории помещений и зданий определяются, исходя из вида находящихся в помещениях горючих веществ и материалов, их количества и пожароопасных свойств, а также, исходя из объемно-планировочных решений помещений и характеристик проводимых в них технологических процессов. Помещение, в котором выполняется данная работа, по степени пожаровзрывоопасности относится к категории Г (умеренная пожароопасность), т.е. включает в себя негорючие вещества и материалы в горячем, раскаленном или расплавленном состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистого тепла, искр и пламени, и (или) горючие газы, жидкости и твердые вещества, которые сжигаются или утилизируются в качестве топлива.

Возможные причины загорания:

- неисправность токоведущих частей установок;
- работа с открытой электроаппаратурой;
- короткие замыкания в блоке питания;
- несоблюдение правил пожарной безопасности;

- наличие горючих компонентов: документы, двери, столы, изоляция кабелей и т.п.

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

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

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

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

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

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

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

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

- обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности;

- издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации;

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

- правильное размещение оборудования;

- своевременный профилактический осмотр, ремонт и испытание оборудования.

При возникновении аварийной ситуации необходимо:

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

### **Вывод к разделу**

В данном разделе были рассмотрены различные опасные и вредные воздействия на организм человека при работе на экспериментальной установке и ПЭВМ, а также правила работы с ними в целях предотвращения несчастных случаев.

## Заклучение

Алмазоподобные аморфные углеродные пленки представляют собой материал, оптические, электрические и механические свойства которого можно варьировать в широких пределах в процессе их получения, что открывает большие возможности применения этих пленок в различных устройствах. Аморфные углеродные пленки имеют ряд преимуществ по сравнению с другими углеродными покрытиями, это: возможность изменять удельное электрическое сопротивление в широком диапазоне ( $10^{14}$ - $10^{-4}$  Ом·см), химическая инертность, механическая прочность, приемлемая адгезия к подложке за счет низких внутренних напряжений [6-9].

Благодаря совокупностям особенностей получения углеродных покрытий методом распыления и различным способам модифицирования покрытий было предложено использовать в качестве барьерных слоев аморфные углеродные пленки.

В результате проведенной исследовательской работы было установлено, что приложение высоковольтного напряжения смещения к подложке позволяет снизить удельное сопротивление а-С пленки до величины  $10^{-2}$  Ом·см. С включением в состав углеродной пленки никеля (а-С:Ni) удельное электрическое сопротивление снижается до величины  $\sim 10^{-4}$  Ом·см. Легирование никелем а-С пленки приводит к снижению механической твердости и адгезионной прочности. Тем не менее, полученные значения твердости (4-5 ГПа) полностью удовлетворяют требованиям твердости барьерных слоев. При содержании никеля в пленке 85% адгезионная прочность на полупроводниковой подложке составляет 2 кГ/мм<sup>2</sup>, при минимальной допустимой адгезионной прочности барьерных слоев 1,5 кГ/мм<sup>2</sup>. Соответственно, полученные покрытия удовлетворяют предъявленным требованиям к барьерным слоям по адгезионной прочности. Проведенные исследования показывают возможность использования а-С и а-С:Ni пленок в качестве барьерных слоев для термоэлектрических преобразователей.

## Используемая литература

[1]. Тушенцова Екатерина Николаевна. Термоэлектрический модуль (ТЭМ) [Электронный ресурс] //Четвертая Всероссийская научно-техническая конференция «Студенческая весна 2011: Машиностроительные технологии» / МГТУ им. Н.Э Баумана. – Электрон. дан. – М.: МГТУ, 2011. – 1 электрон. опт. диск (CD-R). – Систем. требования: ПЭВМ, ОС Windows. – Режим доступа: <http://studvesna.qform3d.ru?go=articles&id=351>. – Загл. с экрана. - № гос. регистрации 0321100671.

[2]. Chen SW, Chiu CN (2007) Unusual cruciform pattern interfacial reactions in Sn/Te couples. *Scripta Mater.* 56(2):97–99. doi: 10.1016/j.scriptamat.2006.09.018

[3]. Lan YC, Wang DZ, Chen G, Ren ZF (2008) Diffusion of nickel and tin in pp-type  $(\text{Bi,Sb})_2\text{Te}_3$  and nn-type  $\text{Bi}_2(\text{Te,Se})_3$  thermoelectric materials. *Applied Physics Letters* 92:101910. <http://dx.doi.org/10.1063/1.2896310>

[4]. Патент RU 2425434 «Способ изготовления термоэлектрического модуля с увеличенным сроком службы»/ Башков В.М., Беляева А.О., Горбатовская Т.А. и др.

[5]. Патент RU 2173911 «Получение электродуговой плазмы в криволинейном плазмоведе / Додонов А.И.; Башков В.М.

[6]. R.D. Mansaro, R. Ruas, A.P. Mousinho et al / Use of Diamond-like Carbon with Tungsten (W-DLC) films as Biocompatible materials // *Surface & Coatings Technology*, 2008. V. 202. P. 2813-2816.

[7]. Klaus Bewilogua, Dieter Hofmann / History of Diamond-like Carbon Films – From First Experiments to Worldwide Applications // *Surface & Coatings Technology*, 2014. V. 242. P. 214-225.

[8]. Elinson VM, Sleptsov VV, Laymin AN, et al (1999) Barrier properties of carbon films deposited on polymer-based devices in aggressive environments. *Diamond Relat. Mater.* 8(12):2103–2109. doi:10.1016/S0925-9635(99)00177-6

[9]. В.П.Новиков, А.Т. Матвеев, Л.Л. Климкович / Метод «селективного травления» в электрохимическом синтезе метастабильных форм углерода // Актуальные проблемы физики твердого тела : сб. ст. к 40-летию ИФТТП НАН Беларуси и 90-летию его основателя акад. Н. Н. Сироты / Н. М. Олехнович . – Минск : Беларуская навука, 2003, с. 532-757.

[10]. Титов, к. т. н., Научнотехнический центр компании «ГлобусСталь» Покрытия для режущего инструмента // НМ ОБОРУДОВАНИЕ. 2004 год. С 24 – 27.

[11]. Sundgren J.-E., Hentzell T.G. A review of the present state of art in hard coatings grown from the vapor phase // J. Vac. Sci. and Technol A. - 1968. - V. 4 - N5. - P.2259-2279.

[12]. VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE 2840 // Kohlenstoffschichten Grundlagen, Schichttypen und Eigenschaften // Januar 2004 p. 4.

[13]. VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE 2840 // Kohlenstoffschichten Grundlagen, Schichttypen und Eigenschaften // Januar 2004 p. 5.

[14]. Preparation of diamond like carbon thin film on stainless steel and its SEM characterization // KAMLESH KUMARI††, S BANERJEE† , T K CHINI† and N R RAY\* // Bull. Mater. Sci., Vol. 32, No. 6, December 2009, pp. 563–567.

[15]. VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE 2840 // Kohlenstoffschichten Grundlagen, Schichttypen und Eigenschaften // Januar 2004 p. 3.

[16]. Aisenberg S., Chabot R. / Properties and applications of diamondlike carbon films // J. Appl. Phys., 1971. V. 42, pp.2953-2957.

[17]. Ravi S., Silva P. Properties of Amorphous Carbon – INSPEC, The Institution of Electrical Engineers, London, United Kingdom, 2003. – p. 385.

[18]. Neerinck D., Persoone P., Sercu M., Goel A., Venkatraman C. et al. / Diamond-like Nanocomposite Coatings for Low-wear and Low-friction Applications in Humid Environments // J. Thin solid films, 1998. V. 317, pp. 402 – 404.

[19]. N. Sawides // J. Appl. Phys., 1986. V.59, p. 4133.

[20]. J. Schwan et al // J. Appl. Phys., 1996. V.79, p. 1416.

- [21]. Оскомов К.В., Соловьёв А.А., Работкин С.В. / Твердые углеродные покрытия, наносимые методом магнетронного импульсного сильноточного магнетронного распыления // Журнал технической физики, 2014. Т. 84, с. 73-76.
- [22]. Junkins G.M., Kawamura K. // in Polymeric Carbons-Carbon Fibre, Glass and Char, Cambridge University Press, 1976.
- [23]. Aksenov I.I., Belous V.A., Padalka V.G., Khoroshikh V.M. // Sov. J. Plasma Phys., 1978. V.4, p.425.
- [24]. Scheibe HJ., Schultrich B. // Thin Solid Films, 1994.V.246, p.92.
- [25]. Voevodin A.A., Donley M.S. // Surf. Coat. Technol., 1996. V.82, p. 199.
- [26]. Schwan J. et al // J. Appl. Phys., 1996. V.79, p. 1416.
- [27]. Kleber R. et al // Diam. Relat. Mater., 1991. V.2, p.246.
- [28]. Miyazawa T., Misawa S., Yoshida S., Gonda S. // J. Appl. Phys., 1984. V.55, p. 188.
- [29]. Hofsass H., Ronning C. // in Proc. Int. Conf on Beam Processing of Advanced Materials ASM International, 1996. P.29-56.
- [30]. Koidl P., Wild C., Dischler B., Wagner J., Ramsteiner M. // Mater. ScL Forum, 1989. V.52, p.41.
- [31]. Holland L., Ojha S.M. // Thin Solid Films, 1976. V.38, p. 17.
- [32]. Robertson J. // Mater. Sci. Eng. R., 2002. V.37, p.129.
- [33]. Weiler M. et al // Phys. Rev. B, 1996. V.53,p. 1594.
- [34]. Weiler M., Lang K., Li E., Robertson J. // Appl. Phys. Lett., 1998. V.72, p.1314.
- [35]. T.W. Scharf, I.L. Singer // Thin Solid Films. 2003. V. 440. P. 138 – 144.
- [36]. Г.С. Фукс-Рабинович, В.Ф. Моисеев, А.А. Ка- цура, Г.К. Досбаева, Л.Б. Крапошина. Использование метода склерометрии для определения адгезионных свойств ионно-плазменных покрытий // Заводская лаборатория. 1990, №2, с. 95–98.

- [37]. ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. – Москва: ИПК Издательство стандартов. – 2004.
- [38]. ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. Средства и методы защиты от шума. – 1988.
- [39]. ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности. – Москва: Стандартинформ. – 2008.
- [40]. ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности. – Москва: Стандартинформ. – 2007.
- [41]. ГОСТ 12.1.019-79 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. – Москва: ИПК Издательство стандартов, 2000.
- [42]. НПБ 105-03. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности. – 2003.