

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

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

### БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
<b>Получение сверхпроводящих покрытий Nb<sub>3</sub>Sn методом магнетронного распыления</b>
УДК 621.793.7:621.385.64

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А8Б	Савельев Александр Игоревич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав. лаб. НОЦ Б.П. Вейнберга	Юрьев Ю.Н.	К.Т.Н.		

### КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСНГ ШБИП	Якимова Т.Б.	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Передерин Ю.В.	К.Т.Н.		

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор НОЦ Б.П. Вейнберга	Блейхер Г.А.	д.ф.-м.н., доцент		

Компетенции выпускников ООП «Ядерные физика и технологии» по направлению  
14.03.02 Ядерные физика и технологии, специализация «Пучковые и плазменные  
технологии» (2018 года приёма)

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

<b>Код компетенции</b>	<b>Наименование компетенции</b>
	на вещество, самостоятельно осваивать современную физическую аналитическую и технологическую аппаратуру, применять современные методы исследования свойств материалов и различных структур, проводить стандартные и сертификационные испытания технологических процессов, оборудования и изделий.
ПК(У)-3	Способен осуществлять самостоятельный поиск, изучение и использование научно-технической информации по тематике исследования, применять современные компьютерные технологии и информационные ресурсы в своей предметной области
ПК(У)-4	Способен проектировать плазменно-пучковые технологические процессы и оборудование для применения в научных исследованиях и промышленности
ПК(У)-5	Готов к участию в производственно-технологической деятельности, связанной с применением плазменных и пучковых технологий для обработки материалов и синтеза новых материалов (в том числе нанесению функциональных покрытий), определению основных параметров технологических процессов, анализу физических и механических свойств изделий и материалов.
ПК(У)-6	Способен применять современные цифровые технологии и пакеты прикладных программ для расчета технологических параметров, обосновывать принятие конкретного технического решения при разработке технологических процессов.
ПК(У)-7	Способен к контролю за соблюдением технологической дисциплины и обслуживанию технологического оборудования

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

---

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

УТВЕРЖДАЮ:  
Руководитель ООП  
\_\_\_\_\_ Блейхер Г.А.  
(Подпись) (Дата)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Бакалаврской работы
---------------------

Студенту:

Группа	ФИО
0А8Б	Савельев Александр Игоревич

Тема работы:

<b>Получение сверхпроводящих пленок Nb<sub>3</sub>Sn методом магнетронного осаждения</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№47-2/с от 16.02.2022 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:	15.06.2022 г.
--	---------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b> <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объектом исследования являются пленки станнида триниобия.</p> <p>Вакуумная установка для нанесения тонкопленочных покрытий магнетронным осаждением.</p> <p>Рабочий газ – аргон.</p> <p>Автоматический комплекс Gas Reaction Controller, предназначенный для отжига пленок.</p> <p>Сканирующий электронный микроскоп Zeiss Supra 55, предназначенный для изучения морфологии и структуры.</p> <p>Рентгеновский дифрактометр Shimadzu XRD-7000S, предназначенный для отпределения фазового состава пленок.</p> <p>Требования, предъявляемые к пленкам станнида триниобия:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>– наличие сверхпроводящей фазы Nb<sub>3</sub>Sn;</li><li>– отсутствие нежелательных фаз NbSn<sub>2</sub>, Nb<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub>.</li></ul>
--	--

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>  <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Обзор литературы в области получения и применения пленок станнида триниобия;</li> <li>2) Описание экспериментального оборудования;</li> <li>3) Получение пленок станнида триниобия методом магнетронного распыления;</li> <li>4) Проведение отжига пленок станнида триниобия;</li> <li>5) Изучение влияния режимов осаждения и параметров источника питания на свойства получаемых покрытий с обоснованием выбора параметров, обеспечивающих получения состава плёнок близкого к стехиометрическому;</li> <li>6) Исследование пленок станнида триниобия с помощью сканирующего электронного микроскопа и рентгеновского дифрактометра до и после отжига;</li> <li>7) Анализ полученных результатов;</li> <li>8) Социальная ответственность;</li> <li>9) Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.</li> </ol>
--	---

<p><b>Перечень графического материала</b>  <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Титульный лист;</li> <li>– Актуальность работы;</li> <li>– Цель и задачи;</li> <li>– Экспериментальное оборудование;</li> <li>– Методы получения покрытий;</li> <li>– Параметры осаждения;</li> <li>– Микроструктура образцов;</li> <li>– Фазовый состав покрытий;</li> <li>– Заключение.</li> </ul>
--	---

**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы**  
*(с указанием разделов)*

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Якимова Т.Б. Доцент ОСНГ ШБИП
Социальная ответственность	Передерин Ю.В. Доцент ОЯТЦ ИЯТШ

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	04.10.2021 г.
---	---------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав. лаб. НОЦ Б.П. Вейнберга	Юрьев Ю.Н.	к.т.н.		04.10.2021 г.

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А8Б	Савельев Александр Игоревич		04.10.2021 г.

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
0А8Б	Савельев Александр Игоревич

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

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость материальных ресурсов в соответствии с рыночными ценами г. Томска. Тарифные ставки исполнителей в соответствии со штатным расписанием НИ ТПУ.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	- районный коэффициент- 1,3; - коэффициент дополнительной заработной платы -1,15; - накладные расходы – 15%
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды 30%

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

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Анализ потенциальных потребителей результатов исследования. Исследование конкурентных технических решений. Проведение SWOT-анализа
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Определение трудоемкости работ. Разработка графика проведения научного исследования. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Оценка сравнительной эффективности проекта

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

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

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

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСНГ ШБИП	Якимова Т.Б.	К.Э.Н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А8Б	Савельев Александр Игоревич		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
0А8Б	Савельев Александр Игоревич

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

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

*1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и область применения*

Объект исследования: пленка станнида триниобия  
 Место проведения исследований: НОЦ Б.П. Вейнберга, лаборатория 101  
 Рабочая зона: экспериментальная ионно-плазменная установка  
 Область применения: сверхпроводящие СВЧ резонаторы

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

#### 1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:

- специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;
- организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.

ГОСТ 12.1.019-2017  
 ГОСТ Р12.1.004-85 ССБТ  
 ГОСТ 22.0.01-94

#### 2. Производственная безопасность:

- анализ выявленных вредных и опасных факторов;
- обоснование мероприятий по снижению воздействия.

Вредные факторы: превышение уровня шума, освещенность, отклонение показателей микроклимата, превышение уровня вибрации.  
 Опасные факторы: поражения электрическим током, пожар-взрывоопасность.

#### 3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:

Возможные ЧС: возникновение пожара в следствие короткого замыкания, поражение электрическим током в следствие нарушения целостности изоляции, взрыв газового баллона.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

### Задание выдал консультант:

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

### Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А8Б	Савельев Александр Игоревич		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 83 страницы, 18 рисунков, 19 таблиц, 36 литературных источников и 0 приложений.

Ключевые слова: станнид триниобия, сверхпроводник, магнетрон, распыление, мишень, покрытие.

Объектом исследования являлась пленка станнида триниобия.

Целью работы является получение зависимостей формирования структурного и фазового состава  $Nb_3Sn$  покрытий от режимов магнетронного распыления.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) осаждение многослойных покрытий при использовании двух магнетронов с Nb и Sn мишенями;
- 2) осаждение покрытий при использовании композитной  $Nb_3Sn$  мишени;
- 3) проведение вакуумного отжига покрытий;
- 4) исследование микроструктуры полученных покрытий;
- 5) исследование элементного и фазового составов полученных покрытий.

## Оглавление

ВВЕДЕНИЕ .....	11
1. СВЕРХПРОВОДЯЩИЕ ПЛЕНКИ СТАННИДА ТРИНИОБИЯ .....	13
1.1 Характеристики $Nb_3Sn$ .....	13
1.2 Способы получения пленок $Nb_3Sn$ .....	14
1.2.1 Осаждение из газообразной фазы .....	15
1.2.3 Электрохимический синтез .....	16
1.2.4 Магнетронное распыление .....	16
Выводы по разделу “Сверхпроводящие пленки станнида триниобия” .....	19
2. ОБОРУДОВАНИЕ И МЕТОДЫ .....	20
2.1 Установка .....	20
2.2 Сканирующий электронный микроскоп .....	23
2.3 Рентгеновский дифрактометр .....	24
2.4 Вакуумная печь .....	26
Выводы по разделу “Оборудование и методы” .....	27
3. ОСАЖДЕНИЕ ПОКРЫТИЙ Nb-Sn МЕТОДОМ МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ .....	28
3.1 Методика эксперимента .....	28
3.2 Определение структуры и морфологии .....	31
3.3 Вакуумных отжиг .....	33
3.4 Структурно-фазовый анализ .....	33
Выводы по разделу “Осаждение покрытий Nb-Sn методом магнетронного распыления” .....	36
4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ .....	37
4.1 Потенциальные потребители результатов исследования .....	37
4.2 Анализ конкурентных технических решений .....	37
4.3 SWOT-анализ .....	39
4.4 Планирование научно-исследовательских работ .....	41
4.4.1 Структура работ в рамках научного исследования .....	41
4.4.2 Определение трудоемкости выполнения работ .....	43
4.4.3 Разработка графика проведения научного исследования .....	44

4.5 Бюджет научно-технического исследования .....	46
4.5.1 Расчет материальных затрат НТИ .....	46
4.5.2 Затраты на специальное оборудование для научных работ .....	47
4.5.3 Основная заработная плата исполнителей темы .....	48
4.5.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы .....	50
4.5.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	51
4.5.6 Накладные расходы .....	51
4.5.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта ...	51
4.6 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования .....	52
Выводы по разделу.....	55
<b>5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ .....</b>	<b>57</b>
Введение .....	57
5.1 Анализ вредных производственных факторов .....	58
5.1.1 Повышенный уровень шума .....	61
5.1.2 Освещенность .....	62
5.1.3 Отклонение показателей микроклимата .....	64
5.1.4 Превышение уровня вибрации .....	68
5.2 Электробезопасность .....	69
5.3 Пожаро-взрывобезопасность .....	72
5.4 Аварийные и чрезвычайные ситуации .....	74
Выводы по разделу.....	77
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>78</b>
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....</b>	<b>80</b>

## ВВЕДЕНИЕ

С развитием технологий сверхпроводники становятся все более актуальными и чаще находят себе применение. Зачастую данные материалы применяются в качестве проводников или ускоряющих элементов в ускорителях заряженных частиц, так как благодаря своим особенностям позволяют удерживать высокие магнитные поля.

Сверхпроводник – материал, электрическое сопротивление которого становится равным нулю, при понижении температуры до некоторой величины  $T_c$ . Для данных материалов характерен эффект Мейснера – полный выброс линий магнитного поля изнутри сверхпроводника при его переходе в сверхпроводящее состояние (сверхпроводники первого рода) или способность пропускать магнитный поток в виде квантованных вихрей (сверхпроводники второго рода) [1,2].

$Nb_3Sn$  представляет интерес как покрытие для сверхпроводящих радиочастотных резонаторов (SRF) из-за его более высокой критической температуры  $T_c \sim 18,3$  К и поля перегрева  $H_{sh} \sim 400$  мТл.  $Nb_3Sn$  обладает лучшими характеристиками, вследствие чего может заменить используемый на данный момент чистый ниобий и его соединение с титаном [3]. Более высокая рабочая температура полостей  $Nb_3Sn$  по сравнению с Nb может значительно снизить эксплуатационные расходы. Однако  $Nb_3Sn$  нельзя использовать в качестве объемного материала из-за его хрупкости и плохой теплопроводности. Тонкие пленки  $Nb_3Sn$ , покрытые ниобием или медью, рассматриваются как потенциальные альтернативные материалы для полостей SRF [4].

Основными методами получения  $Nb_3Sn$  является реакция восстановления  $NbCl_4$  и  $SnCl_2$  в среде водорода при температурах от 1000 до 1870 К и электроосаждение из  $SnCl_2$  и  $NbCl_5$  в ионных жидкостях хлорида 1-бутил-3-метилимидазолия [5,6]. Выделяемый в процессе реакций хлор является токсичным газом, а водород взрывоопасным, что накладывает дополнительные

требования и усложняет процесс получения покрытий. Помимо этого, при данных методах может происходить образование нежелательных кристаллических фаз, ухудшающих сверхпроводящие свойства, таких как  $NbSn_2$  и  $Nb_6Sn_5$  [7].

Альтернативным подходом к производству тонких пленок  $Nb_3Sn$  высокого качества является магнетронное распыление. Данный метод позволяет наносить однородные пленки на изделия сложной формы при относительно низких температурах без использования токсичных и взрывоопасных веществ [7].

Целью работы является получение зависимостей формирования структурного и фазового состава  $Nb_3Sn$  покрытий от режимов магнетронного распыления.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) осаждение многослойных покрытий при использовании двух магнетронов с Nb и Sn мишенями;
- 2) осаждение покрытий при использовании композитной  $Nb_3Sn$  мишени;
- 3) проведение вакуумного отжига покрытий;
- 4) исследование микроструктуры полученных покрытий;
- 5) исследование элементного и фазового составов полученных покрытий.

# 1. СВЕРХПРОВОДЯЩИЕ ПЛЕНКИ СТАННИДА ТРИНИОБИЯ

## 1.1 Характеристики $Nb_3Sn$

Станнид триниобия – бинарное интерметаллическое неорганическое соединение ниобия и олова, представляющее собой кристаллы кубической сингонии с параметрами ячейки  $a = 0,5289$  нм [8].

Соединение  $Nb_3Sn$  является высокоэффективным сверхпроводящим материалом, который находит широкое применение в магнитных устройствах ядерного резонанса, лабораторных магнитах с сильным полем, а также в термоядерных и ускорительных магнитах.

Станнид триниобия широко изучается в качестве замены объемных ниобиевых покрытий, используемых в СВЧ резонаторах. Преимущество сверхпроводящих резонаторов становится очевидным при применениях, требующих высокого ускоряющего напряжения в непрерывном режиме. Это особенно важно для накопительных колец [9]. Это обуславливается тем, что использование тонких пленок  $Nb_3Sn$  позволяет улучшить такие характеристики резонаторов, как добротность и быстродействие [10].

Фаза  $Nb_3Sn$  образуется при содержании олова в покрытии в диапазоне от 19 до 26 ат%. Данное соединение В других диапазонах концентрации олово возможно образование нежелательных фаз  $Nb_6Sn_5$  и  $NbSn_2$ .

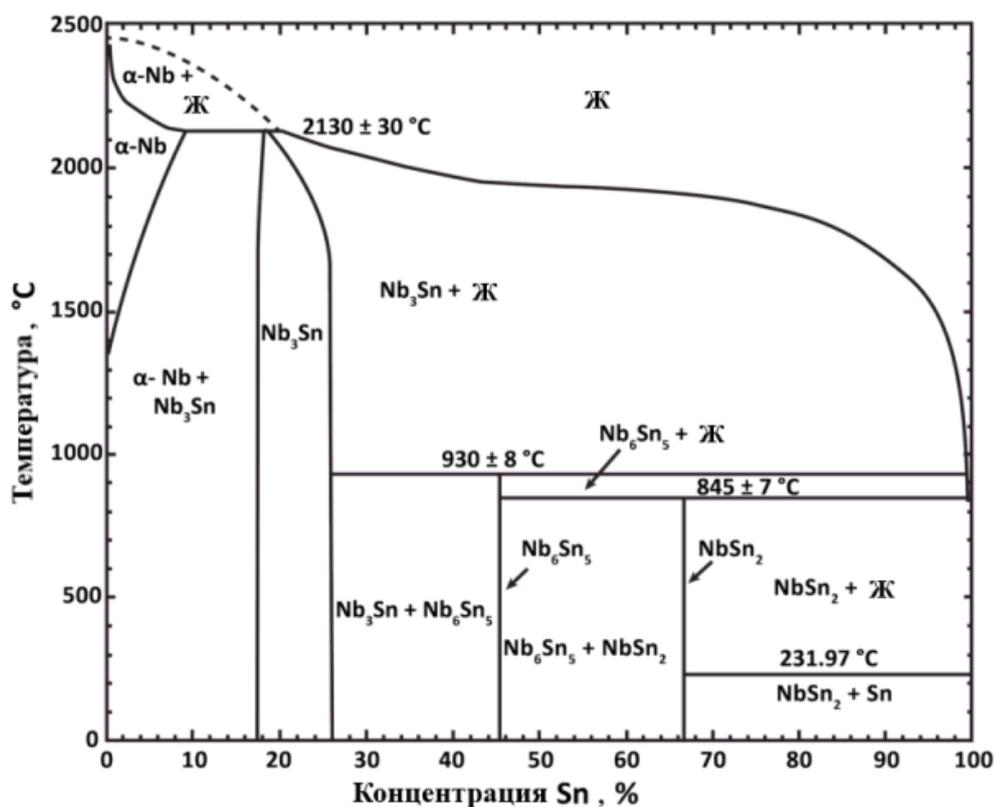


Рисунок 1.1 – Фазовая диаграмма ниобий-олово [11]

При охлаждении сверхпроводящего материала до температур перехода в сверхпроводящее состояние и ниже, а также в присутствии магнитного поля, происходит полное вытеснение магнитного потока из его объема [9].

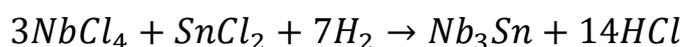
Преимущество сверхпроводящих резонаторов становится очевидным при применениях, требующих высокого ускоряющего напряжения в непрерывном режиме. Это особенно важно для накопительных колец [9].

## 1.2 Способы получения пленок $\text{Nb}_3\text{Sn}$

Тонкие пленки  $\text{Nb}_3\text{Sn}$  получают с использованием таких методов, как: осаждение из газообразной фазы, электрохимический синтез и магнетронное осаждение. Главной проблемой получения покрытий данными методами является образование вредоносных фаз, которые снижают критическую температуру всей пленки.

### 1.2.1 Осаждение из газообразной фазы

Одним из самых распространенных способов получения сверхпроводящих покрытий  $Nb_3Sn$  является метод осаждения из газообразной фазы, что в свою очередь позволяет наносить такие покрытия на детали различной конфигурации. В данном методе станнид триниобия образуется в результате одновременного восстановления хлоридов ниобия и олова в среде водорода по следующей реакции:



Реакция осаждения из газовой фазы протекает при температурах от 1000 до 1870 К. В случае проведения процесса при более низких температурах или с нагревом только подложки, осаждение покрытий на изделия сложной формы становится невозможным, а получаемые пленки становятся менее однородными по составу и толщине [5].

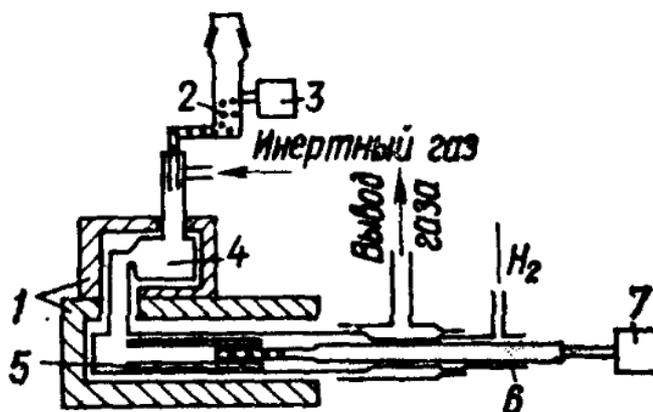


Рисунок 1.2 – Схема установки для осаждения  $Nb_3Sn$  [5]:

- 1 – нагреватель; 2 – смесь порошков; 3 – вибратор; 4 – испаритель; 5 – подложки; 6 – стеклянные втулки; 7 – двигатель.

Данный метод позволяет получать  $Nb_3Sn$  как в виде поликристаллов, так и в виде тонких пленок с низкой шероховатостью. Основным достоинством является отсутствие в пленке промежуточных образований свободных (чистых) металлов.

### 1.2.3 Электрохимический синтез

В статье [6] синтез покрытий Nb-Sn проводили на медных подложках электроосаждением из 85% ионных жидкостей хлорида 1-бутил-3-метилимидазолия (БМИХ), содержащих, 10%  $\text{NbCl}_5$  и 5%  $\text{SnCl}_2$ . Электроосаждение проводили при 40 и 400  $\text{mA/cm}^2$  и 130 °C. В течение 30 минут были получены пленки толщиной 200 нм. Пленка имела многослойную структуру. Слой Nb-Sn имел толщину около 90 нм, за ним следовал слой Sn-Cu толщиной около 100 нм. Слой Sn-Cu объясняется гальваническим смещением между  $\text{Sn}^{3+}$  и Cu с последующей термодиффузией, происходящей при рабочей температуре. Диффузия Cu также происходила в слой Nb-Sn на глубину около 20 нм. Обнаружено очень низкое содержание кислорода, что подтверждает хорошее качество пленки. Было выявлено присутствие кубической фазы  $\text{Nb}_3\text{Sn}$ , а также орторомбической фазы  $\text{NbSn}_2$  и фаз  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$  и  $\text{Cu}_3\text{Sn}$ .

### 1.2.4 Магнетронное распыление

Магнетронное распыление нашло широкое применение в вакуумных установках для осаждения тонких пленок на поверхности твердых тел. Формирование покрытия происходит путем распыления мишеней ионами рабочего газа, которые образуются в плазме аномального тлеющего разряда. Для этих систем характерна хорошая адгезия, однородность покрытий по толщине и высокая скорость напыления, которая достигается за счет увеличением плотности ионного тока благодаря локализации плазмы у поверхности мишени с помощью магнитного поля [12].

Принципиальная схема работы магнетронной распылительной системы представлена на рисунке 4.

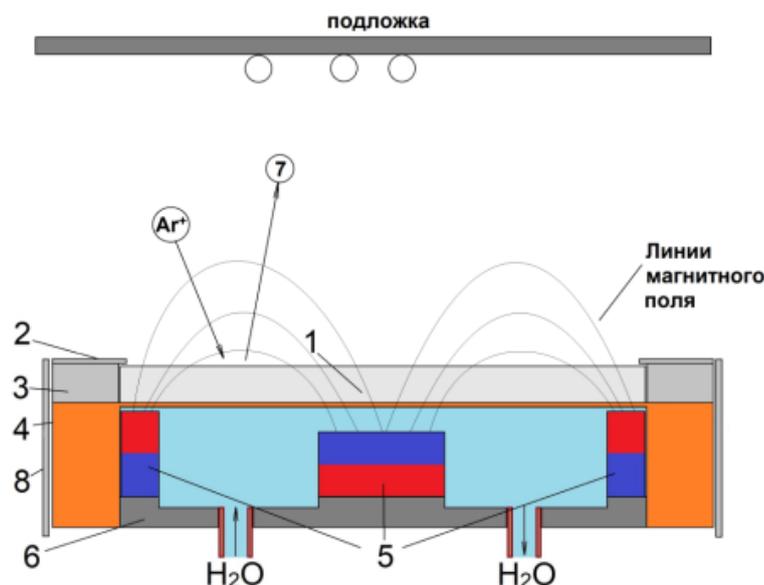


Рисунок 1.3 – Схема MPC:

1 – мишень; 2 – анодное кольцо; 3 – прижимное кольцо; 4 – корпус магнетрона; 5 – магниты; 6 – магнитопровод; 7 – распыленный атом; 8 – анод.

В качестве метода получения сверхпроводящих покрытий  $Nb_3Sn$  магнетронное распыление начало использоваться относительно недавно. В статье [13] описывается получение пленок  $Nb_3Sn$  из композитной мишени размерами  $100 \times 3$  мм<sup>2</sup> при различных давлениях рабочего газа и их исследование после отжига. Процесс проводился с помощью MPC на постоянном токе. В качестве рабочего газа использовался аргон. Вакуумная камера откачивалась до остаточного давления  $7 \cdot 10^{-6}$  Па, рабочее давление в первом и втором экспериментах составляло 0,1 и 5 Па соответственно. Во время всего процесса напыления подложки были нагреты до 150 °С, расстояние от мишени до подложки составило 10 см, мощность разряда 200 Вт, длительность напыления 60 минут. Отжиг пленок проводился при температурах 700 °С, 750 °С и 800 °С в отдельной печи в течение 24 часов при постоянном давлении  $2 \cdot 10^{-4}$  Па. При магнетронном осаждении с рабочим давлением в 5 Па характерна более толстая пленка (2,1 мкм) и большая

шероховатость поверхности, для процесса, проводимого при меньшем давлении наблюдается меньшая шероховатость и толщина пленки (1,6 мкм).

Основным недостатком данного метода является необходимость проведения вакуумного отжига с целью получения необходимой фазы.

В статье [14] описывается влияние температуры отжига на сверхпроводящие свойства пленок  $Nb_3Sn$ , изготовленных на подложках из сапфира и мелкозернистого Nb методом магнетронного распыления. В качестве распыляемого материала была использована композитная мишени стехиометрического состава чистотой 99,9% и размерами  $50 \times 6$  мм<sup>2</sup>. Перед напылением камера с образцом откачивалась турбомолекулярным насосом до остаточного давления  $1,33 \cdot 10^{-5}$  Па. Осаждение проводилось с использованием аргона в качестве рабочего газа при давлении 0,4 Па и фиксированном расстоянии от мишени до подложки 10 см. Распыление осуществлялось на постоянном токе магнетрона 150 мА и мощности разряда 48-50 Вт. Дополнительно осуществлялся нагрев подложки до 800 °С с помощью кварцевого нагревателя. Длительность напыления на кварцевые подложки составила 6 часов, а на подложки из Nb 14 часов. После, полученные покрытия подвергались отжигу в вакуумной печи при постоянном давлении  $1,33 \cdot 10^{-4}$  Па в течение 24 часов при температурах 800, 900 и 1000 °С. На пленках, осажденных после нанесения, наблюдались дифракционные пики как Nb, так и  $Nb_3Sn$ . Пики Nb исчезли при отжиге пленки при 800 и 900 °С. Однако при отжиге пленки при 1000 °С в течение 24 часов снова появилось несколько пиков Nb. Для пленок, отожженных при 800 и 900 °С, интенсивность пика  $Nb_3Sn$  увеличилась, что свидетельствует о лучшей кристалличности. При температуре отжига 1000 °С потенциальное испарение Sn приводило к появлению слабых дифракционных пиков  $Nb_3Sn$ , сопровождаемых интенсивными пиками Nb, что указывало на деградацию  $Nb_3Sn$ .

## **Выводы по разделу “Сверхпроводящие пленки станида триниобия”**

В данной главе был проведен литературный обзор и описаны различные методы получения тонких пленок  $Nb_3Sn$  (осаждение из газообразной фазы, электрохимический синтез и магнетронное осаждение), а также рассмотрены известные на данный момент исследования по данным методам.

Магнетронное распыление является самым предпочтительным и перспективным методом, так как в процессе получения пленок не используются токсичные и взрывоопасные вещества, а процесс получения легко контролировать.

## 2. ОБОРУДОВАНИЕ И МЕТОДЫ

### 2.1 Установка

В данной работе используется вакуумная ионно-плазменная установка ВЧ (рис. 2.1), включающая в себя вакуумную камеру, систему управления, ионный источник и четыре посадочных фланца под магнетроны.

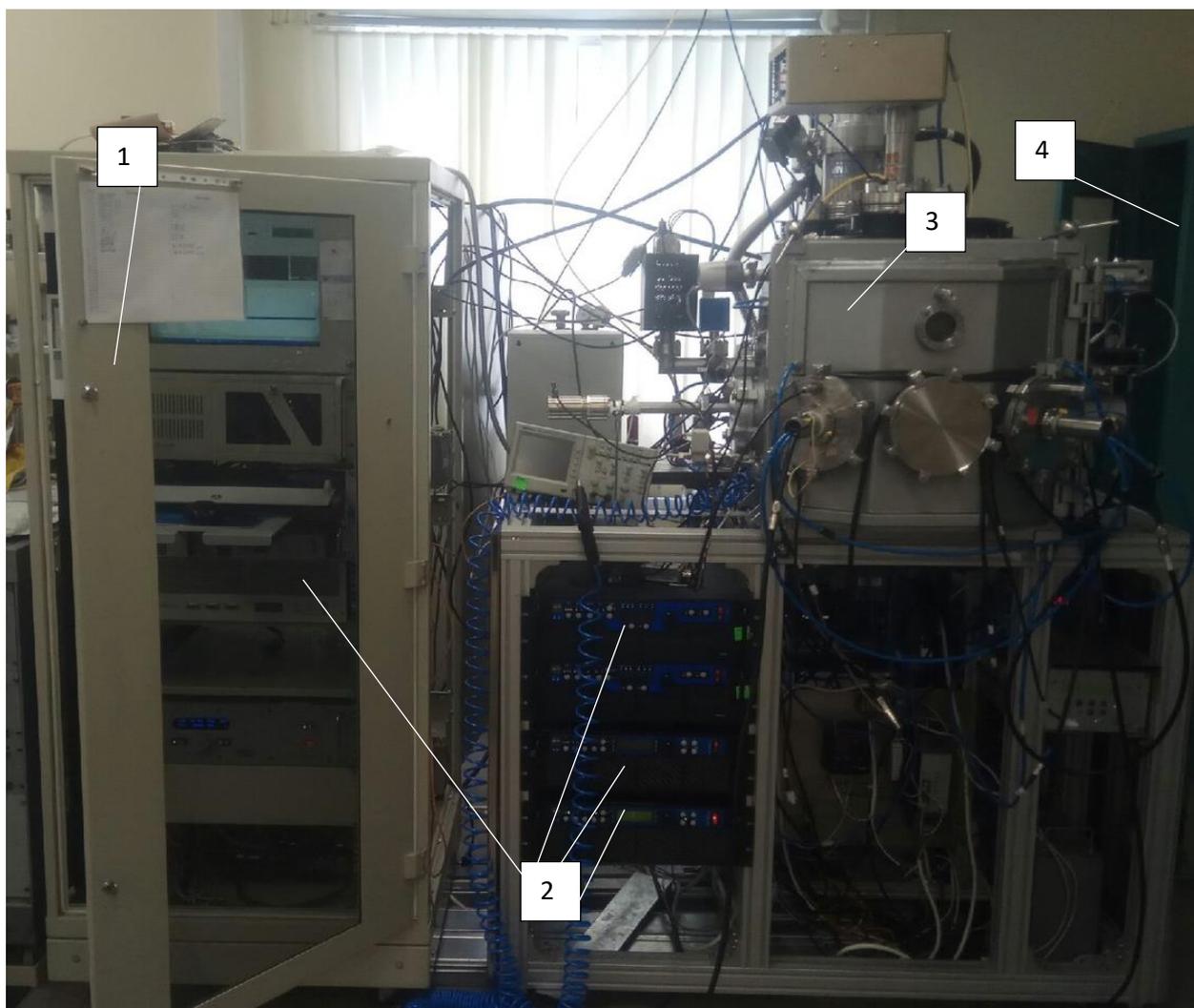


Рисунок 2.1 – Вакуумная ионно-плазменная установка ВЧ: 1 – шкаф управления установкой, 2 – источники питания магнетронов, 3 – вакуумная камера, 4 – система газоснабжения

Вакуумная камера 3 представляет собой герметизированный объем с внутренними размерами 800×700×700 мм (рис 2.2). Помимо насосов

присоединены вакуумметр «Micro-Ion», расходомеры рабочих газов и клапан вакуумный для напуска атмосферы. Слева от установки расположен шкаф управления 1. Установка оборудована источниками питания 2 магнетронов. Система газоснабжения 4 состоит из баллонов с рабочим и реактивными газами.

Внутренний вид вакуумной камеры представлен на рис 2.2.



Рисунок 2.2 – Фотография внутреннего устройства вакуумной камеры установки ионно-плазменного осаждения покрытий: 1 – крепёж для образцов, 2 – ионный источник, 3 – планарный магнетрон, 4 – вращающийся столик

Вакуумная схема ионно-плазменной установки представлена на рис. 2.3.

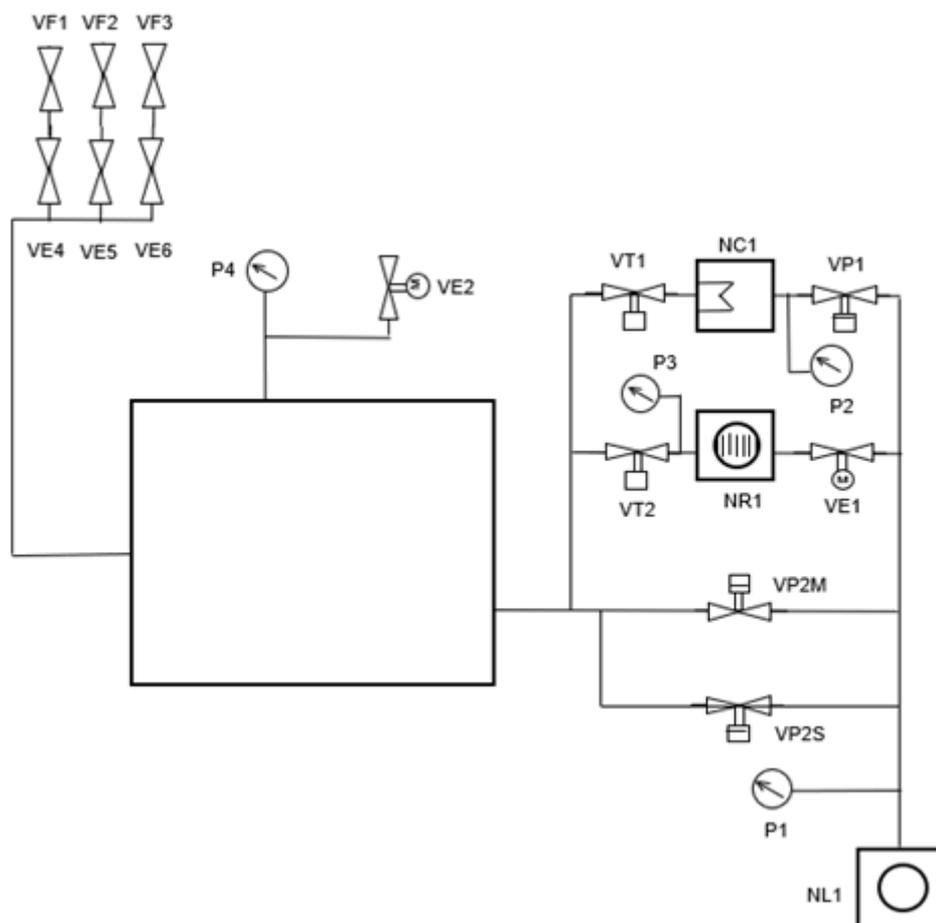


Рисунок 2.3 – Схема ионно-плазменной установки

Установка выполнена на базе двух высоковакуумных криогенного и турбомолекулярного насосов, и одного форвакуумного спирального безмаслянного насоса. Для получения форвакуума производится откачка камеры спиральным насосом NL1 через клапан VP2M до давления порядка 100 Па. Далее необходимо закрыть клапан VP2M и открыть клапан VE1 и пневматический затвор VT2. Для уменьшения времени откачки и получения более высокого вакуума необходимо открыть затвор VT1. Для контроля давления в камере используется широкодиапазонный вакуумметр P4. Напуск рабочих и реактивных газов производится открытием натекателей VE4, VE5, VE6, напуск атмосферы осуществляется через клапан напуска VE2.

## 2.2 Сканирующий электронный микроскоп

Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ) используется для изучения морфологии поверхности, ее структуры и фазового состава материалов.

В данном методе изображение исследуемого объекта формируется с помощью сканирования его поверхности точно сфокусированным пучком электронов. Такой пучок называется электронным зондом и имеет диаметр от 5 до 1000 нм [15].

В данной работе использовался сканирующий электронный микроскоп Zeiss Supra 55, представленный на рисунке 2.4.



Рисунок 2.4 – Сканирующий электронный микроскоп Zeiss Supra 55 [16]

При взаимодействии электронов с поверхностью исследуемого материала протекает ряд сложных процессов, приводящих к появлению излучений различной природы. Эти излучения регистрируются с применением различных детекторов. Создаваемые сигналы после их регистрации детекторами усиливаются, а затем используют для модуляции яркости изображения. Таким образом, каждой точке на поверхности образца ставится в соответствие точка на мониторе компьютера. Яркость изображения точки

пропорциональна интенсивности сигнала от соответствующей точки на изучаемой поверхности.

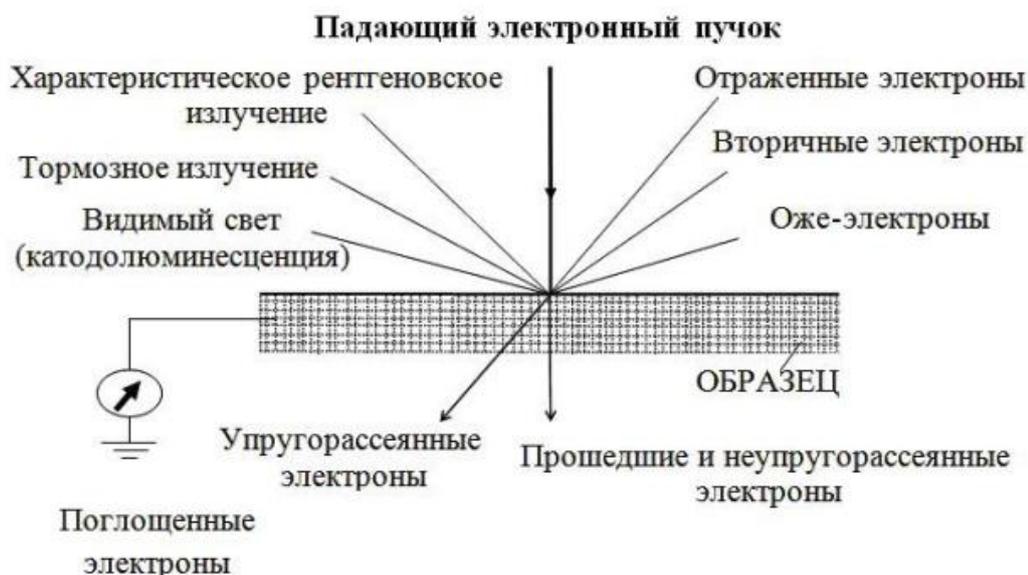


Рисунок 2.5 – Эффекты, возникающие при взаимодействии электронного пучка с веществом [15]

### 2.3 Рентгеновский дифрактометр

Для определения структуры исследуемого образца с использованием набора измеренных дифракционных данных обычно используется модель эксперимента XRD (X-ray diffraction, метод рентгеновской дифракции), где учитываются эффекты взаимодействия зондирующего излучения с образцом.

На рисунке 2.6 представлен рентгеновский дифрактометр Shimadzu XRD-7000S, используемый для определения фазового состава кристаллических тел.



Рисунок 2.6 – Рентгеновский дифрактометр Shimadzu XRD-7000S [17]

Принципиальная схема дифрактометра представлена на рисунке 2.3.

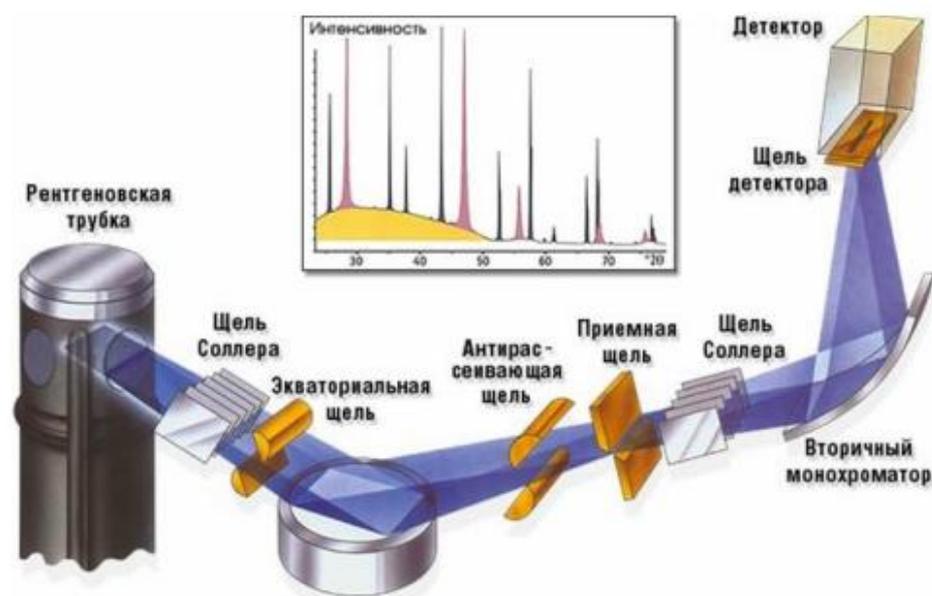


Рисунок 2.7 – Принципиальная схема дифрактометра [18]

Главными компонентами дифрактометра являются рентгеновская трубка и детектор, размещенные на подвижном устройстве гониометре. Это система точной установки и отслеживания угла излучения по отношению к

поверхности образца. Одно плечо гониометра задает угол облучения образца рентгеновской трубкой, другое определяет угол брэгговского отражения излучения от образца (детектируемый сигнал). Детектор непрерывно во время движения (при изменении угла) регистрирует интенсивность рентгеновского излучения. Остальные части оптической схемы дифрактометра придают излучению такие свойства, чтобы оптимизировать его для решения тех или иных задач дифрактометрических исследований.

К основным параметрам съемки на дифрактометре относятся:

- вещество анода и фильтра  $K_{\beta}$ -излучения (или используемый монохроматор);
- величина высокого напряжения;
- тип счетчика;
- используемая шкала скорости счета импульсов;
- скорость движения детектора;
- расстояние между штрихами отметчика в градусах.

## **2.4 Вакуумная печь**

Отжиг полученных пленок для получения необходимой фазы проводился в автоматизированном комплексе Gas Reaction Controller, состоящем из стальной вакуумной камеры, высокотемпературной печи и контроллера. Комплекс позволяет производить отжиг как в при высоком вакууме, так и при давлениях от 2 до 50 атмосфер с возможностью напуска рабочего газа. Максимальная рабочая температура составляет 900 °С.

Внешний вид установки представлен на рисунке 2.8.



Рисунок 2.8 – Автоматизированном комплексе Gas Reaction Controller [19]

Для создания и поддержания вакуума в системе используется вакуумная система, состоящая из форвакуумного мембранного и турбомолекулярного насосов.

### **Выводы по разделу “Оборудование и методы”**

В данной главе были представлены внешний вид и схема ионно-плазменной установки, а также описано оборудование и методы для анализа полученных покрытий. Для изучения морфологии поверхности и структуры использовался сканирующий электронный микроскоп Zeiss Supra 55, фазовый состав изучался на рентгеновском дифрактометре Shimadzu XRD-7000S, вакуумная печь использовалась для формирования в полученных пленках сверхпроводящей фазы  $Nb_3Sn$ .

## 4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

### 4.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Работа посвящена технологии получения сверхпроводящих покрытий Nb<sub>3</sub>Sn методом магнетронного осаждения. Такие покрытия используются в сверхпроводящих СВЧ резонаторах для ускорителей частиц, так как Nb<sub>3</sub>Sn обладает более высокой температурой сверхпроводимости и критическим магнитным полем, что позволяет ускоряемой частице достичь больших значений скорости.

Сверхпроводник – материал, электрическое сопротивление которого при понижении температуры до некоторой величины T<sub>C</sub> становится равным нулю.

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

### 4.2 Анализ конкурентных технических решений

Анализ конкурентных решений целесообразно проводить при помощи оценочной карты, для этого были определены 2 конкурента на рынке: технология восстановления хлоридов ниобия и олова в среде водорода (B1), механическая формовка (B2).

Расчет показателя конкурентоспособности производился по следующей формуле:

$$K = \sum_i B_i \cdot V_i, \quad (4.1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

V<sub>i</sub> – вес показателя (в долях единицы);

B<sub>i</sub> – балл i-го показателя.

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки. Для этого была составлена оценочная карта, таблица 4.1. Обозначения в таблице: индекс ф – рассматриваемый метод, индекс к1 – метод конкурента В1, индекс к2 – метод конкурента В2.

Таблица 4.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Бф	Бк1	Бк2	Лф	Лк1	Лк2
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Производительность	0,2	5	5	4	1	1	0,8
2. Удобство эксплуатации	0,1	5	4	3	0,5	0,4	0,3
3. Надежность	0,1	5	5	3	0,5	0,5	0,3
4. Безопасность	0,1	5	3	5	0,5	0,3	0,5
5. Простота эксплуатации	0,1	5	3	4	0,5	0,3	0,4
6. Уровень шума	0,05	4	3	1	0,2	0,15	0,05
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Фиксирование научной разработки	0,09	5	4	4	0,45	0,36	0,36
2. Цена	0,08	5	4	4	0,4	0,32	0,32
3. Послепродажное обслуживание	0,07	5	5	3	0,35	0,35	0,21
4. Конкурентоспособность продукта	0,06	5	4	3	0,3	0,24	0,18
5. Срок выхода на рынок	0,05	5	4	4	0,25	0,2	0,2
Итого		54	44	38	4,95	4,12	3,62

Согласно вышеприведенному расчету видно, что предлагаемая нами технология азотирования покрытий имеет более высокий показатель конкурентоспособности (4,95). Это обусловлено следующим рядом факторов: технология безопасна, проста в эксплуатации и надёжна, а также имеет высокую производительность.

### 4.3 SWOT-анализ

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

В рамках данного этапа необходимо построить интерактивную матрицу проекта (таблица 4.2). Ее использование помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей матрицы SWOT.

Результаты исследования приведены в SWOT-анализ (таблица 4.2).

Таблица 4.2 – SWOT-анализ

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Заявленная экономичность технологии; С2. Экологичность технологии и продукта; С3. Более простая методика получения; С4. Квалифицированный персонал.	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Отсутствие достаточного финансирования; Сл2. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров; Сл3. Использование устаревшего оборудования для исследования; Сл4. Большой срок поставок комплектующих рабочей установки.
--	--	---

Продолжение таблицы 4.2

<p>Возможности:</p> <p>В1. Использование инновационной структуры ТПУ;</p> <p>В2. Повышение стоимости конкурентных разработок.</p>	<p>Сильные стороны и возможности:</p> <p>1. Получение результатов НТИ</p> <p>2. Продвижение НТИ на рынок</p>	<p>Слабые стороны и возможности:</p> <p>1. Поиск дополнительного финансирования в виде грантов и др.</p> <p>2. Повышение квалификации кадров у потенциальных потребителей</p> <p>3. Приобретения необходимого оборудования либо использование инновационной инфраструктуры ТПУ</p> <p>4. Сокращение поставок или смена поставщика</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Отсутствие спроса на НТИ;</p> <p>У2. Уменьшение финансирования исследования;</p> <p>У3. Введение дополнительных государственных требований к сертификации продукции.</p>	<p>Сильные стороны и угрозы:</p> <p>1.Продвижение НТИ с целью создания спроса</p> <p>2.Поиск дополнительного финансирования в виде грантов и др.</p> <p>3.Сертификация и стандартизация продукта</p>	<p>Слабые стороны и угрозы:</p> <p>1.Поиск дополнительного финансирования в виде грантов и др.</p> <p>2. Повышение квалификации кадров у потенциальных потребителей</p> <p>3. Приобретение необходимого оборудования либо использование инновационной инфраструктуры ТПУ</p>

#### Продолжение таблицы 4.2

		4. Сокращение поставок или смена поставщика 5. Продвижение НТИ с целью создания спроса
--	--	---

Результаты SWOT-анализа учитываются при разработке структуры работ, выполняемых в рамках научно-исследовательского проекта.

Приведённый анализ показал, что технология, находясь на этапе разработки, имеет хорошие шансы на коммерциализацию, с учетом проявляемого интереса партнеров и удачных исследований.

### **4.4 Планирование научно-исследовательских работ**

#### **4.4.1 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.

В данном разделе необходимо составить перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, провести распределение исполнителей по видам работ. Порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ работ	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследования	2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
	3	Выбор направления исследования	Руководитель
	4	Календарное планирование	Руководитель, инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Проведение теоретических обоснований	Инженер
	6	Подготовка образцов для исследования	Инженер
	7	Проведения эксперимента	Инженер
Обобщение и оценка результатов	8	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, инженер
	9	Определение целесообразности проведения	Руководитель, инженер
Разработка технической документации и проектирование	10	Оценка эффективности производства и применения проектируемого изделия	Руководитель, инженер
	11	Составление пояснительной записки	Инженер

#### 4.4.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования. Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости  $t_{ожі}$  используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{min\ i} + 2t_{max\ i}}{5}, \quad (4.2)$$

где  $t_{ожі}$  – 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.

Среднее значение трудоемкости составляет:

$$t_{ожі} = \frac{3 \cdot 10 + 2 \cdot 25}{5} = 16 \text{ чел. - дн.}$$

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

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i} \quad (4.3)$$

где  $T_{pi}$  – продолжительность одной работы, раб. дн.;  $t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы чел.-дн.;  $Ч_i$  – численность

исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Продолжительность одной работы составляет:

$$T_{pi} = \frac{16}{2} = 8 \text{ раб. дн.}$$

#### 4.4.3 Разработка графика проведения научного исследования

Диаграмма Ганта является наиболее удобным и наглядным способом представления графика проведения работ и представляет собой отрезки, размещенные на горизонтальной шкале времени. Каждый отрезок соответствует отдельной задаче или подзадаче. Начало, конец и длина отрезка на шкале времени соответствуют началу, концу и длительности задачи.

Длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (4.4)$$

где  $T_{ki}$  – продолжительность выполнения  $i$ -ой работы в календарных днях;

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

$k_{\text{кал}}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (4.5)$$

где  $T_{\text{кал}}$  – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$  – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$  – количество праздничных дней в году.

Коэффициент календарности составляет:

$$k_{\text{кал.рук}} = \frac{365}{365 - 52 - 14} = 1,22.$$

Продолжительность выполнения  $i$ -ой работы:

$$T_{ki} = 8 \cdot 1,22 = 9,76 \approx 10 \text{ раб. дн.}$$

Календарный план-график проведения НИОКР по теме представлен в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Календарный план-график проведения НИОКР

№	Вид работ	Тк, кал. дн.	Исполнитель	Продолжительность выполнения работ												
				Февр.			Март			Апр.			Май			
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
1	Составление ТЗ	5	Руководитель	■												
		5	Инженер	■												
2	Изучение литературы по теме	18	Инженер	■	■	■										
3	Подбор режимов работы	13	Руководитель			■	■									
		13	Инженер			■	■									
4	Календарное планирование	8	Руководитель				■	■								
		8	Инженер				■	■								
5	Осаждение покрытий	18	Руководитель					■	■	■						
		18	Инженер					■	■	■						
6	Измерение полученных покрытий	15	Руководитель							■	■					
		15	Инженер							■	■					
7	Анализ полученных результатов	5	Руководитель									■	■			
		10	Инженер									■	■			
8	Оценка эффективности и результатов	5	Руководитель										■	■		
		5	Инженер										■	■		
9	Составление пояснительной записки	30	Инженер											■	■	■
Итого		122														

## 4.5 Бюджет научно-технического исследования

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

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

### 4.5.1 Расчет материальных затрат НТИ

В эту статью включаются затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ по данной теме. Количество потребных материальных ценностей определяется по нормам расхода.

Также в стоимость материальных затрат включают транспортно-заготовительные расходы (3 – 5 % от цены).

Таблица 4.5 – Сырье, материалы, комплектующие изделия

Наименование	Марка, размер	Кол-во	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Мишень Nb	Nb, 99.9%	1	19290	19290
Мишень Sn	Sn, 99.9%	1	20830	20830
Мишень Nb <sub>3</sub> Sn	Nb <sub>3</sub> Sn, 99.9%	1	57870	57870
Баллон аргона	Ar, 99.9%	1	9000	9000
Всего за материалы				106990
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)				4279,6
Итого				111269,6

#### 4.5.2 Затраты на специальное оборудование для научных работ

При выполнении ВКР было использовано оборудование, которое уже имелось в ТПУ, а именно: вакуумная установка и персональный компьютер. Данный вид оборудования не учитывался в материальных затратах, так как был приобретен заранее, при оснащении лаборатории.

Проведем расчет амортизации использованного оборудования на примере персонального компьютера. Первоначальная стоимость 30000. Срок полезного использования составляет от 2 лет и 1 месяца до 6 лет. Время работы на всем оборудовании не превышало 1 месяца за все время исследования.

Расчет нормы амортизации:

$$H_a = \frac{1}{n} \cdot 100\% = \frac{1}{6} \cdot 100\% = 16,7\%, \quad (4.6)$$

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

Годовые амортизационные отчисления:

$$A_r = 30000 \cdot 0,167 = 5010 \text{ руб.} \quad (4.7)$$

Ежемесячные амортизационные отчисления:

$$A_M = \frac{5010}{12} = 417,5 \text{ руб.} \quad (4.8)$$

Итоговая сумма амортизации основных средств:

$$A = 417,5 \cdot 1 = 417,5 \text{ руб.} \quad (4.9)$$

Результаты расчета амортизационных отчислений для всего оборудования представлены в таблице 4.6.

Таблица 4.6 – Расчет амортизационных отчислений

Наименование	Первоначальная цена, руб.	Норма амортизации, %	Годовые амортизационные отчисления, руб.	Ежемесячные амортизационные отчисления, руб.	Затраты, руб.
Вакуумная установка	8000000	20	1600000	133333,3	133333,3
Персональный компьютер	30000	16,7	5010	417,5	417,5
Итого					133750,8

Таким образом, амортизационные затраты на специальное оборудование в ходе научного исследования в сумме на специальное оборудование (вакуумная установка, персональный компьютер) составили 133750,8 рублей.

#### 4.5.3 Основная заработная плата исполнителей темы

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме и дополнительная заработная плата научно-производственного персонала. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы. Баланс рабочего времени и расчет основной заработной платы представлены в таблице 4.7 и 4.8, соответственно.

Таблица 4.7 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
– выходные дни	52	82
– праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
– отпуск	45	52
– невыходы по болезни	-	-
Действительный годовой фонд рабочего времени	254	217

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

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (4.10)$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата,  $Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата  $Z_{осн}$  руководителя рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} + Z_{раб}, \quad (4.11)$$

где  $T_{раб}$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.,  $Z_{дн}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_M \cdot M}{F_d}, \quad (4.12)$$

где  $Z_M$  – месячный должностной оклад работника, руб.,  $M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 45 раб. дней  $M=10,4$  месяца, 6 - дневная неделя,  $F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала (в рабочих днях).

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_M = Z_{TC} \cdot k_p, \quad (4.13)$$

где  $Z_{TC}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб.;  $k_p$  – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томской области).

Таблица 4.8 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$Z_{TC}$ , руб.	$k_p$	$Z_M$	$Z_{дн}$	$T_p$ , раб. дн.	$Z_{осн}$ , руб.
Руководитель	37300	1,3	48490	2251,3	48	108062,4
Инженер	13900	1,3	18070	739,9	76	56232,4
Итого $Z_{осн}$						164294,8

#### 4.5.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10 – 15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы. Таким образом, сумма основной заработной платы участников проекта и дополнительной будет составлять статью затрат расходов на зарплату:

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (4.14)$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата, руб.,  $Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата, по следующей формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} + Z_{осн}, \quad (4.15)$$

где  $k_{доп}$  – коэффициент дополнительной зарплате (на стадии проектирования принимаем равным 0,15).

Таблица 4.9 – Дополнительная заработная плата исполнителей НТИ

Заработная плата	Руководитель	Инженер
Основная заработная плата	108062,4	56232,4
Дополнительная заработная плата	16209,4	8434,9

#### Продолжение таблицы 4.9

Заработная плата исполнителей	124271,8	64667,3
Итого по статье, руб.	188939,1	

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется по формуле:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} + Z_{\text{осн}}, \quad (4.16)$$

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

Отчисления на социальные нужды (30% от статьи заработной платы) составили 56681,7 руб.

#### 4.5.6 Накладные расходы

Накладные расходы – это затраты на управление и хозяйственное обслуживание и расходы по содержанию, эксплуатации и ремонту оборудования, производственного инструмента и инвентаря, зданий, сооружений и др. Что порядка 15% от заработной платы. Суммарно накладные расходы составляют 28340,9 рублей.

#### 4.5.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Расчет бюджета затрат НИИ представлен в таблице 4.10.

Таблица 4.10 – Бюджет затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	Удельный вес, %
Материальные затраты	111269,6	21,44
Затраты на специальное оборудование	133750,8	25,77
Затраты на основную заработную плату	164294,8	31,66
Затраты на дополнительную заработную плату	24644,3	4,75
Страховые взносы	56681,7	10,92
Накладные расходы	28340,9	5,46
Бюджет затрат НИИ	518982,1	100

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

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:

$$I_{\Phi}^P = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}} = \frac{518982,1}{518982,1} = 1, \quad (4.17)$$

$$I_{\Phi}^{a1} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}} = \frac{764925}{518982,1} = 1,47 \quad (4.18)$$

$$I_{\Phi}^{a2} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}} = \frac{440673}{518982,1} = 0,85 \quad (4.19)$$

где  $P_{\phi}$  - интегральный финансовый показатель разработки;  $\Phi_{pi}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;  $\Phi_{\max}$  – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

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

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

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (4.20)$$

где  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности для  $i$ -го варианта исполнения разработки;  $a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го варианта исполнения разработки;  $a_i$ ,  $b_i$  – балльная оценка  $i$ -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Далее в таблице 4.11 представлена сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта, где аналог 1 – технология восстановления хлоридов ниобия и олова в среде водорода, а аналог 2 – механическая формовка.

Таблица 4.11 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
Критерии				
1. Простота эксплуатации	0,2	5	3	4
2. Экологичность	0,15	5	3	4
3. Надежность	0,2	5	5	3
4. Безопасность	0,3	5	3	5
5. Экономичность	0,15	5	3	4
Итого	1	25	17	20

$$I_m^P = 0,2 \cdot 5 + 0,15 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5 + 0,3 \cdot 5 + 0,15 \cdot 5 = 5, \quad (4.21)$$

$$I_1^a = 0,2 \cdot 3 + 0,15 \cdot 3 + 0,2 \cdot 5 + 0,3 \cdot 5 + 0,15 \cdot 3 = 3,4,$$

$$I_2^a = 0,2 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,2 \cdot 3 + 0,3 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 = 4,1,$$

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

$$I_{\text{финр}}^P = \frac{I_m^P}{I_{\phi}^P} = \frac{5}{1} = 5, \quad (4.22)$$

$$I_{\text{финр}}^{a1} = \frac{I_m^{a1}}{I_{\phi}^{a1}} = \frac{3,4}{1,47} = 2,31,$$

$$I_{\text{финр}}^{a2} = \frac{I_m^{a2}}{I_{\phi}^{a2}} = \frac{4,1}{0,85} = 4,82,$$

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

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{финр}}^P}{I_{\text{финаi}}^a}, \quad (4.22)$$

где  $\mathcal{E}_{\text{ср}}$  – сравнительная эффективность проекта;  $I_{\text{финр}}^P$  – интегральный показатель разработки;  $I_{\text{финаi}}^a$  – интегральный технико-экономический показатель аналога.

В таблице 4.12 представлена сравнительная эффективность разработки, где аналог 1 – технология катодного распыления оксида кремния, а аналог 2 – технология химического осаждения из газовой фазы.

Таблица 4.12 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Разработка	Аналог 1	Аналог 2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	1,28	1,06

Продолжение таблицы 4.12

2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	5	3,4	4,1
3	Интегральный показатель эффективности	5	2,31	4,82
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	2,17	1,04

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

### **Выводы по разделу**

В ходе выполнения раздела «Финансовый менеджмент» был выполнен анализ конкурентоспособности. Данный анализ подтвердил конкурентоспособность применения метода магнетронного осаждения для получения пленок  $Nb_3Sn$ , в связи с более высокими показателями характеристик.

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

На основе временных показателей по каждой из произведенных работ был построен календарный план-график Ганта, по которому можно увидеть, что самая продолжительная по времени работа – измерение полученных покрытий и составление пояснительной записки.

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

Бюджет затрат научно-технического исследования составил 518982,1 рубля. Наибольшая статья расходов приходится на основную заработную плату (31,66%). На втором месте затраты на специальное оборудование (25,77%).

## **5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ**

### **Введение**

В современных условиях труда для снижения производственного травматизма и профессиональной заболеваемости важным является внедрение системы целенаправленных действий по защите и охране труда на всех стадиях производственного процесса.

Охрана труда – система сохранения жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности, включающая в себя правовые, социально-экономические, организационно-технические, санитарно-гигиенические, лечебно-профилактические, реабилитационные и иные мероприятия [21].

Правила по охране труда и техники безопасности вводятся в целях предупреждения несчастных случаев, обеспечения безопасных условий труда работающих и являются обязательными для исполнения рабочими, руководящими, инженерно-техническими работниками.

Опасным производственным фактором, согласно [22], называется такой производственный фактор, воздействие которого в определенных условиях приводят к травме или другому внезапному, резкому ухудшению здоровья.

Научно-технической базой для проведения исследований стала лаборатория 101 научно-образовательного центра Б.П. Вейнберга.

В данной работе эксперименты производились на вакуумной установке, состоящей из источника электромагнитного излучения, ЭВМ, баллонов с газами аргоном и азотом, форвакуумного пластинчато-роторного, турбомолекулярного и криогенного насосов и блоков питания высокого напряжения. Следовательно, для внедрения определенных правил и мер предосторожности требуется разработать комплекс мероприятий технического, организационного, режимного и правового характера, минимизирующих негативные последствия.

## 5.1 Анализ вредных производственных факторов

Во время работы, на персонал воздействовали следующие вредные и опасные факторы, представленные в таблице 5.1 [22].

Таблица 5.1 – Вредные и опасные факторы

ФАКТОРЫ (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работы			Нормативные документы
	Разработ ка	Изготов ление	Эксплуа тация	
Превышение уровня шума	+	+	-	Требования к допустимым уровням шума приводятся в СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки [23] и СН 2.2.4/2.1.8.566- 96.
Освещенность	+	+	-	Требования к освещению устанавливаются СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05- 95*[24].

Продолжение таблицы 5.1

Отклонение показателей микроклимата	+	+	-	Требования к допустимым параметрам микроклимата регулируются СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений [25].
Превышение уровня вибрации	+	+	-	Требования к допустимым уровням вибрации приводятся в СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания [26].
Опасность поражения электрическим током	+	+	+	Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. ГОСТ 12.1.019-2017 [27].

Продолжение таблицы 5.1

Пожар взрывоопасность	+	+	-	Пожаро- и взрывобезопасность промышленных объектов. ГОСТ Р12.1.004-85 ССБТ [28].
--------------------------	---	---	---	---

При эксплуатации вакуум-аппарата персонал должен проходить [29]:

- повторный инструктаж по охране труда на рабочем месте не реже 1 раза в 3 месяца;
- периодический медицинский осмотр в соответствии с действующим законодательством РФ;
- очередную проверку знаний требований охраны труда не реже 1 раза в год.

Персонал обязан выполнять только ту работу, которая поручена непосредственным руководителем работ. Не допускается поручать свою работу другим работникам и допускать на рабочее место посторонних лиц.

Персонал должен быть обеспечен средствами индивидуальной защиты в соответствии с действующими нормами [29] выдачи специальной одежды, специальной обуви и других средств индивидуальной защиты (СИЗ), разработанными на основании Межотраслевых правил обеспечения работников специальной одеждой, специальной обувью и другими средствами индивидуальной защиты.

Выдаваемая специальная одежда, специальная обувь и другие СИЗ должны соответствовать характеру и условиям работы, обеспечивать безопасность труда, иметь сертификат соответствия или декларацию [29].

### 5.1.1 Повышенный уровень шума

Шум – совокупность аperiodических звуков различной интенсивности и частоты. С физической точки зрения шум – это нежелательные звуковые воздействия способные нанести вред здоровью.

При работе на ионно-плазменной установке источниками шума являются вытяжка, форвакуумный и турбомолекулярный насосы. Вытяжка работает постоянно. Основной шум при работе форвакуумного насоса приходится на первые 5 минут получения вакуума и соответствует порядка 50 дБа. Шум от турбомолекулярного насоса, работающего постоянно на полной скорости, не превышает 43 дБа. Данный уровень шума является допустимым при проведении научных экспериментов, который не должен превышать 75 дБа [30].

Шум является биологическим раздражителем, способным влиять на все органы и системы организма, вызывая разнообразные физиологические изменения. К биологически агрессивному шуму относятся импульсный и тональный шум. Шум с уровнем звукового давления до 35 дБа привычен для человека и не беспокоит его. Повышение этого уровня до 40–80 дБа создает значительную нагрузку на нервную систему, вызывая ухудшение самочувствия, а при длительном действии может быть причиной неврозов. Воздействие шума уровнем свыше 80 дБа может привести к потере слуха – профессиональной глухоте. При действии уровней свыше 130 дБа возможен разрыв барабанных перепонок, контузия, а при уровне более 160 дБа наступает летальный исход. Уровни шума на рабочих местах пользователей персональных компьютеров не должны превышать значений, утвержденных [23].

Для снижения воздействия шума принято использовать коллективные средства защиты: объемные поглотители, экраны, ограждения; или индивидуальные: противозумные наушники, каски, вкладыши в ушную раковину.

В лаборатории 101 НОЦ Б.П. Вейнберга, где работают вентиляция, форвакуумный и турбомолекулярные насосы, уровень шума достигает 50 дБа и не превышает допустимых значений в соответствии с [23].

### **5.1.2 Освещенность**

Правильно спроектированное и выполненное производственное освещение улучшает условия зрительной работы, снижает утомляемость, способствует повышению производительности труда, благотворно влияет на производственную среду, оказывая положительное психологическое воздействие на работающего, повышает безопасность труда и снижает травматизм.

Утомляемость органов зрения может быть связана недостаточной освещенностью, которая вызывает напряжение зрения, ослабление внимания и приводит к преждевременной утомляемости. Чрезмерная освещенность также негативно влияет на работу, вызывая раздражение, резь в глазах и ослепление.

Нормы освещенности устанавливаются согласно [24]. В лаборатории, где проводятся периодические наблюдения за ходом производственного процесса при постоянном нахождении людей в помещении освещенность при системе общего освещения должна быть не менее 200 Лк. При анализе структурных и функциональных свойств материалов использовался персональный компьютер. Освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 400 – 500лк. Освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана. Освещенность поверхности экрана не должна быть более 300 лк [24].

Производственное помещение, где располагается экспериментальная ионно-плазменная установка, имеет параметры, представленные в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Параметры помещения

Длина (А), м	Ширина (В), м	Высота (Н), м	Высота рабочей поверхности над полом ( $h_{pn}$ ), м
14,5	9,5	3,7	0,8

Рассчитаем площадь помещения:

$$S = A \cdot B = 14,5 \cdot 9,5 = 137,75 \text{ м}^2. \quad (5.1)$$

Коэффициент отражения свежепобеленных стен с окнами, без штор  $\rho_c=50$  %, свежепобеленного потолка  $\rho_{п}=70$  %. Коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, для помещений с малым выделением пыли равен  $K_3 = 1,5$ . Коэффициент неравномерности для светодиодных светильников  $Z= 1,1$ .

Выбираем светильники LED VLSU-1. Этот светильник имеет четыре лампы мощностью 45 Вт, длина светильника равна 624 мм, ширина – 595 мм.

Интегральным критерием оптимальности расположения светильников является величина  $\lambda$ , которая для люминесцентных светильников равна 1,5. Принимаем  $\lambda=1,5$ , расстояние светильников от перекрытия (свес)  $h_c = 0,3$  м.

Для коэффициентов отражения берутся приблизительные значения, стен = 50% и потолка = 70%. Значения коэффициента использования светового потока светильников с светодиодными лампами примем равным 62 %.

Определяем расчетную высоту светильника над рабочей поверхностью по формуле:

$$h = H - h_c - h_{pn} = 3,7 - 0,3 - 0,8 = 2,6 \text{ м}. \quad (5.2)$$

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

$$L = \lambda \cdot h = 1,1 \cdot 2,6 = 2,86 \text{ м}. \quad (5.3)$$

Расстояние от крайнего ряда светильников до стены:

$$L/3 = 0,953 \text{ м}.$$

Индекс помещения определяется по формуле:

$$i = \frac{S}{h \cdot (A + B)} = \frac{137,75}{2,6 \cdot (14,5 + 9,5)} = 2,2 \approx 2. \quad (5.4)$$

Определим число светильников по методу коэффициента использования:

$$N = \frac{E \cdot S \cdot K_3}{\eta \cdot n \cdot \Phi_{\text{л}}} = \frac{200 \cdot 137,75 \cdot 1,5}{0,62 \cdot 1 \cdot 4500} = 14,81 \approx 15 \text{ шт.} \quad (5.5)$$

Потребный световой поток группы светодиодных светильников определяется по формуле:

$$\Phi_{\text{п}} = \frac{E \cdot S \cdot K_3 \cdot Z}{N \cdot \eta} = \frac{200 \cdot 137,75 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{15 \cdot 0,62} = 4887 \text{ лм.} \quad (5.6)$$

Делаем проверку выполнения условий:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{лд}} - \Phi_{\text{п}}}{\Phi_{\text{лд}}} \cdot 100\% \leq 20\%, \quad (5.7)$$

$$\frac{\Phi_{\text{лд}} - \Phi_{\text{п}}}{\Phi_{\text{лд}}} \cdot 100\% = \frac{4500 - 4887}{4500} \cdot 100\% = -8,6\%. \quad (5.8)$$

Таким образом:  $-10\% \leq -8,6\% \leq 20\%$ , необходимый световой поток светильника не выходит за пределы требуемого диапазона.

Следовательно, в производственном помещении площадью  $137,75 \text{ м}^2$ , где ведутся работы с установкой, в соответствии с характеристикой зрительной работы (грубая, малой точности), для создания освещенности данного помещения не ниже  $E_{\text{н}} = 200 \text{лк}$ , необходимо пятнадцать светильников LED VLSU-1. Параметры освещенности соответствуют нормам [24].

### 5.1.3 Отклонение показателей микроклимата

Микроклиматом производственных помещений называют метеорологические условия внутри помещений. Эти условия определяются факторами, действующими на организм человека: температура воздуха, относительная влажность, скорость движения воздуха и тепловое излучение.

Так же на микроклимат влияет набор физических факторов: оказывающих влияние на состояние человека (теплообмен организма человека с окружающей средой) и определяющие самочувствие (работоспособность, здоровье и производительность).

Оптимальные микроклиматические условия установлены по критериям оптимального теплового и функционального состояния человека. Они обеспечивают общее и локальное ощущение теплового комфорта в течение 8- часовой рабочей смены при минимальном напряжении механизмов терморегуляции, не вызывают отклонений в состоянии здоровья, создают предпосылки для высокого уровня работоспособности и являются предпочтительными на рабочих местах [25].

Микроклиматом производственных помещений называют метеорологические условия внутри помещений. Эти условия определяются действующим на организм человека рядом факторов. В этот ряд входят температура воздуха, влажность, скорость движения воздуха и тепловое излучение. Так же на микроклимат влияет набор физических факторов, оказывающих влияние на состояние человека. Это теплообмен человека с окружающей средой и факторы, определяющие самочувствие. Такие факторы как работоспособность, здоровье и производительность.

Перегрев организма наступает при высокой температуре воздуха и высокой относительной влажности, которые сопровождаются низкой подвижностью воздушной массы. При наступлении переохлаждения снижается температура тела, происходит сужение кровеносных сосудов, возникают сбои в работе сердечно-сосудистой системы [31].

В таблице 5.3 представлены оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений для категории работ Ib. К таковым относятся работы, производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой и сопровождающиеся физическим напряжением.

Таблица 5.3 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений [25]

Период года	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	22-24	21-25	40-60	0,1
Теплый	23-25	22-26	40-60	0,1

Допустимые микроклиматические не вызывают повреждений или нарушений состояния здоровья, но могут приводить к возникновению общих и локальных ощущений теплового дискомфорта, напряжению механизмов терморегуляции, ухудшению самочувствия и понижению работоспособности.

Допустимые величины показателей микроклимата устанавливаются в случаях, когда по технологическим требованиям, техническим и экономически обоснованным причинам не могут быть обеспечены оптимальные величины.

В таблице 5.4 представлены допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений.

Таблица 5.4 – Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений [25]

Период года	Температура воздуха, °С		Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м
	диапазон ниже оптимальных величин	диапазон выше оптимальных величин			
Холодный	20,0-21,9	24,1-25,0	19,0-26,0	15-75	0,1
Теплый	21,0-22,9	25,1-28,0	20,0-29,0	15-75	0,1

Для создания оптимальных метеорологических условий применяется кондиционер, который поддерживает оптимальные параметры микроклимата автоматически, независимо от меняющихся условий. В холодное время года для поддержания в помещении оптимальной температуры воздуха применяется отопление.

Рассчитаем объем помещения:

$$V = S \cdot h = 137,75 \cdot 3,7 = 509,68 \text{ м}^3. \quad (5.9)$$

Кратность воздухообмена для производственных помещений согласно [32], определяется как:

$$K_{\text{в}} = \frac{L_{\text{возд}}}{V_{\text{помещ}}}, \quad (5.10)$$

где  $L_{\text{возд}}$  – расчётный воздухообмен помещения,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ,

$V_{\text{помещ}}$  – объем помещения,  $\text{м}^3$ .

Расчётный воздухообмен помещения вычисляют по формуле:

$$L = L_0 \cdot N, \quad (5.11)$$

где  $L_0$  — нормативный воздухообмен на 1 человека,  $\text{м}^3/(\text{чел} \cdot \text{ч})$ ;

$N$  – количество людей в помещении.

Для лабораторий нормативный воздухообмен на 1 человека в производственных помещениях с естественным проветриванием составляет  $30 \text{ м}^3/(\text{чел} \cdot \text{ч})$  [33], в лаборатории 101 НОЦ Б.П. Вейнберга Томского политехнического университета постоянно находятся не более 15 человек, рассчитаем воздухообмен:

$$L = 30 \cdot 15 = 450 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Следовательно, кратность воздухообмена равна:

$$K_{\text{в}} = \frac{450}{509,68} \approx 0,88 = 1.$$

Подберем систему кондиционирования со следующей производительностью:

$$L = 1 \cdot 509,68 \approx 510 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Выбран вентилятор ФЬОРДИ ВПУ CF 500 Н, производительность которого составляет 600 м<sup>3</sup>/ч [34].

#### **5.1.4 Превышение уровня вибрации**

По физической природе вибрация, также, как и шум, представляет собой колебательное движение материальных тел. Вибрация - механические колебания упругих тел, проявляющиеся в перемещении центра их тяжести или оси симметрии в пространстве, а также в периодическом изменении ими формы [22].

К источникам вибрации в данном случае можно отнести форвакуумный насос.

Результатом действия вибрации могут быть головокружения, расстройство координации движений, симптомы укачивания, вегетативная неустойчивость, нарушения зрительной функции, снижение болевой, тактильной и вибрационной чувствительности и другие отклонения в состоянии здоровья.

Частота и особенности клинических проявлений заболеваний, вызванных воздействием вибрации, зависят главным образом от спектрального состава вибрации, продолжительности воздействия, индивидуальных особенностей человека, направления вибрационного воздействия, места приложения, явлений резонанса, условий воздействия вибрации (факторов производственной среды, усугубляющих вредное воздействие вибрации на организм человека).

Колебания высоких частот вызывают спазм сосудов. В некоторых случаях сосудистые нарушения при вибрационной болезни могут привести к постепенному развитию хронической недостаточности мозгового кровообращения.

Санитарные нормы СН 2.2.4/2.1.8.566-96 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий»

устанавливают классификацию, нормируемые параметры, предельно допустимые значения производственных вибраций, допустимые значения вибраций в жилых и общественных зданиях.

В таблице 5.5 представлены предельно допустимые значения производственной локальной вибрации.

Таблица 5.5 – Предельно допустимые значения производственной локальной вибрации [26]

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц	Виброускорение		Виброскорость	
	м/с <sup>2</sup>	дБ	м/с·10 <sup>-2</sup>	дБ
8	1,4	123	2,8	105
16	1,4	123	1,4	109
31,5	2,8	129	1,4	109
63	5,6	135	1,4	109
125	11,0	141	1,4	109

К средствам защиты от вибрации можно отнести вибродемпфирование (процесс уменьшения уровня вибрации путём превращения энергии механических колебаний системы в другие виды энергии), виброгашение (уменьшение уровня вибрации защищаемого объекта путем введения в систему дополнительных сопротивлений упругого или инерционного типа) и виброизоляцию (осуществляется посредством упругой связи, препятствующей передаче вибраций от источника колебаний к элементам конструкции или человеку). Уровень вибрации в лаборатории 101 НОЦ Б.П. Вейнберга не превышает допустимых значений согласно [26].

## 5.2 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 ЭВМ и других электроустановок 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 землей металлическим элементам и металлическим корпусом электрооборудования. Оператор ЭВМ работает с электроприборами: компьютером (дисплей, системный блок и т.д.) и периферийными устройствами.

Электроустановки классифицируют по напряжению: с номинальным напряжением до 1000 В (помещения без повышенной опасности), до 1000 В с присутствием агрессивной среды (помещения с повышенной опасностью) и свыше 1000 В (особо опасные помещения) [35].

Лаборатория относится ко второму классу «Помещение с повышенной опасностью» ввиду большого количества металлического оборудования. Имеется угроза поражения электротоком при косвенном касании токоведущих элементов [35].

Существует опасность электропоражения в следующих случаях:

- при непосредственном прикосновении к токоведущим частям во время ремонта;
- при прикосновении к нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением (в случае нарушения изоляции токоведущих частей);
- при прикосновении с полом, стенами, оказавшимися под напряжением;
- при коротком замыкании в высоковольтных блоках: блоке питания и блоке дисплейной развертки.

Мероприятия по обеспечению электробезопасности электроустановок:

– отключение напряжения с токоведущих частей, на которых или вблизи которых будет проводиться работа, и принятие мер по обеспечению невозможности подачи напряжения к месту работы;

– вывешивание плакатов, указывающих место работы;

– заземление корпусов всех установок через нулевой провод;

– покрытие металлических поверхностей инструментов надежной изоляцией;

– недоступность токоведущих частей аппаратуры (заключение в корпус электропоражающих элементов, заключение в корпус токоведущих частей).

Опасность поражения электрическим током при прикосновении к корпусу и другим металлическим частям оборудования, оказавшимися под напряжением вследствие замыкания на корпусе и по другим причинам, может быть устранена быстрым отключением поврежденной установки от питающей сети и вместе с тем снижением напряжения корпуса относительно земли [27].

Для предотвращения поражения электрическим током следует проводить следующие мероприятия [27]:

1. содержать оборудование в работоспособном состоянии и эксплуатировать его в соответствии с нормативно-техническими документами;

2. своевременно проводить техническое обслуживание;

3. соблюдать технику безопасности при работе с оборудованием;

4. проводить инструктаж для работников.

В качестве мероприятий по обеспечению безопасности работы с электрооборудованием могут быть использованы [27]:

1. изоляция токоведущих частей;

2. малое напряжение в электрических цепях;

3. защитное заземление, зануление, защитное отключение;

4. применение разделяющих трансформаторов;

5. использование оболочек и блокировок для предотвращения возможности случайного прикосновения к токоведущим частям и ошибочных действий или операций;

6. защитные средства и предохранительные приспособления.

### **5.3 Пожаро-взрывобезопасность**

Понятие пожарная безопасность означает состояние объекта, при котором исключается возможность пожара. В случае возникновения пожара в первую очередь необходимо предотвратить воздействие его на людей и обеспечить защиту материальных ценностей, находящихся в зоне горения или вблизи от нее.

Согласно [28], в зависимости от характеристики используемых в производстве веществ и их количества, по пожарной и взрывной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В, Г, Д. Так как помещение по степени пожаро-взрывоопасности относится к категории В, т.е. к помещениям с твердыми сгорающими веществами, необходимо предусмотреть ряд профилактических мероприятий.

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 [35]:

- исключение образования горючей среды (герметизация оборудования, контроль воздушной среды, рабочая и аварийная вентиляция);
- применение при строительстве и отделке зданий негорюемых 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.

## 5.4 Аварийные и чрезвычайные ситуации

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

Работники допускаются к работе только после прохождения инструктажа о мерах пожарной безопасности, во всех помещениях вывешены таблички с указанием номера телефона вызова пожарной охраны и таблички с направлением пути эвакуации и план эвакуации. В лаборатории расположены порошковые огнетушители ОП-4(з)-АВСЕ-02 (предназначен для тушения твердых, жидких и газообразных веществ и электроустановок до 1000 вольт).

В таблице 5.6 приведены возможные чрезвычайные ситуации (ЧС), которые могут возникнуть в лаборатории 101 НОЦ Б.П. Вейнберга, меры по предотвращению, меры по ликвидации последствий ЧС.

Таблица 5.6 – Возможные чрезвычайные ситуации, меры по их предотвращению и меры по ликвидации последствий ЧС

Ситуация	Меры предотвращения	Меры по ликвидации последствий
Возникновение пожара вследствие короткого замыкания	– проведение периодических инструктажей по пожарной безопасности; – периодический контроль состояния и работоспособности аппаратов защиты электрической сети;	– вызвать пожарный расчет (тел. 01, моб. 112) – отключить электропитание и выключить вентиляцию; – закрыть двери, чтобы убрать сквозняк и снизить доступ кислорода для горения;

Продолжение таблицы 5.6

	<p>– контроль состояния используемых электроприборов, электропроводки и электроустановочных изделий;</p> <p>– использование только исправного оборудования;</p>	<p>– воспользоваться первичными средствами пожаротушения (огнетушитель ВП, УК или П) или песком. При невозможности - начать эвакуацию людей из помещения [36];</p> <p>– сообщить о пожаре администрации лаборатории и института.</p>
<p>Поражение электрическим током вследствие нарушения целостности изоляции</p>	<p>– проведение мероприятий по обучению, аттестации и переаттестации персонала;</p> <p>– осуществление контроля за состоянием изоляции;</p> <p>– все оборудование должно быть заземлено;</p> <p>– использование специальной одежды и инструментов при работе с токоведущими частями установки.</p>	<p>– принять меры по освобождению пострадавшего от действия электрического тока;</p> <p>– оказать пострадавшему первую помощь;</p> <p>– поставить в известность о случившемся руководство и принять меры к эвакуации пострадавшего в лечебное учреждение или вызвать скорую помощь (тел. 03, моб. 112).</p>

Продолжение таблицы 5.6

<p>Травмирование в результате взрыва газового баллона</p>	<p>– проведение периодических инструктажей по безопасности, связанной с утечкой газа из баллона;</p> <p>– баллон располагать вертикально и надежно фиксировать;</p> <p>– проверять целостность баллона;</p> <p>– баллоны с газом должны находиться от радиаторов отопления и других отопительных приборов на расстоянии не менее 1 метра и от печей и других источников тепла с открытым огнем не менее 5 метров;</p> <p>– выпуск газа из баллона производить через редуктор.</p>	<p>– отключить электрооборудование;</p> <p>– сообщить об аварийной ситуации непосредственному руководителю;</p> <p>– позвонить в подразделение пожарной охраны по телефону 01 или 112.</p>
---	---	--

## **Выводы по разделу**

В данном разделе были рассмотрены вредные и опасные факторы при эксплуатации экспериментальной ионно-плазменной установки, а именно: повышенный уровень шума [23], повышенный уровень вибрации [26], освещенность [24], электробезопасность [27], пожаро – и взрывоопасность [28]. По результатам анализа вредных и опасных факторов, был определен алгоритм действий по предупреждению и возникновению чрезвычайных ситуаций, вызванных данными факторами при эксплуатации ионно-плазменной установки.

Помещение 101 НОЦ Б.П. Вейнберга отнесено:

- по электробезопасности к 3 классу с повышенной опасностью [35];
- по пожаровзрывоопасности к категории В4 [28].

Приведены возможные чрезвычайные ситуации (ЧС), которые могут возникнуть в лаборатории 101 НОЦ Б.П. Вейнберга, меры предосторожности, меры по ликвидации последствий ЧС.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных экспериментов была изучена методика осаждения сверхпроводящих пленок станнида триниобия методом магнетронного распыления, а также подобраны параметры работы магнетронов для получения покрытий послойным осаждением из металлических мишеней и осаждением с использованием композитной мишени.

Для определения рабочих режимов осаждения при реактивном магнетронном распылении были проведены измерения содержания олова в покрытиях в зависимости от изменяемых параметров, а именно от мощности разряда магнетрона с оловянной мишенью при послойном осаждении и от давления рабочего газа в камере для композитной мишени.

Во всех режимах при проведении вакуумного отжига произошло формирование фазы  $Nb_3Sn$ , что указывает на верное измерение соотношения олова и ниобия в формируемых покрытиях. Образование необходимой фазы происходит в диапазоне мощности 0,45-0,8 кВт для и в диапазоне давлений 0,2-0,35 Па для первого и второго методов соответственно.

После исследования фазового состава покрытий было выявлено отсутствие нежелательных фаз  $Nb_6Sn_5$  и  $NbSn_2$ , но обнаружено высокое содержание фазы  $NbO$ , что объясняется негерметичностью автоматического комплекса Gas Reaction Controller, в котором проводился отжиг образцов.

Использование композитной мишени является более перспективной технологией, так как процесс протекает стабильней, его легче контролировать, а оптимальная стехиометрия получается в большем диапазоне рабочих давлений. Также, пленки, полученные с использованием композитной мишени, характеризуются большим размером кристаллитов (114 нм) в сравнение с послойным осаждением (89 нм), что в свою очередь положительно влияет на сверхпроводник, так как границы между зернами способствуют появлению микротрещин, адсорбирующих влагу и окислы, что в свою очередь

приводит к увеличению остаточного сопротивления и к снижению таких характеристик, как добротность и критическая температура перехода.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1) de Oliveira I. G. Instability in the magnetic field penetration in type II superconductors //Physics Letters A. – 2015. – Т. 379. – №. 22-23. – P. 1486-1491;
- 2) Khan H. R. Encyclopedia of Physical Science and Technology //Encyclopedia of Physical Science and Technology. – 1989. – Т. 16. –P. 222;
- 3) Sayeed M. N. et al. Structural and superconducting properties of Nb<sub>3</sub>Sn films grown by multilayer sequential magnetron sputtering //Journal of Alloys and Compounds. – 2019. – Т. 800. – P. 272-278;
- 4) Pudasaini U. et al. Growth of Nb<sub>3</sub>Sn coating in tin vapor-diffusion process //Journal of Vacuum Science & Technology A: Vacuum, Surfaces, and Films. – 2019. – Т. 37. – №. 5. – P. 051509;
- 5) Менде Ф. Ф., Бондаренко И. Н., Трубицын А. В. Сверхпроводящие и охлаждаемые резонансные системы. – Киев, Наукова думка., 1976;
- 6) Franz S. et al. Electrochemical synthesis of Nb<sub>3</sub>Sn coatings on Cu substrates //Materials Letters. – 2015. – Т. 161. – P. 613-615;
- 7) Ilyina E. A. et al. Development of sputtered Nb<sub>3</sub>Sn films on copper substrates for superconducting radiofrequency applications //Superconductor Science and Technology. – 2019. – Т. 32. – №. 3. – P. 035002;
- 8) Stewart G. R. Superconductivity in the A15 structure //Physica C: Superconductivity and its Applications. – 2015. – Т. 514. – P. 28-35;
- 9) Диденко А. Н. и др. Сверхпроводящие ускоряющие резонаторы //М., МИФИ. – 2008;
- 10) Колосов В. Н., Шевырев А. А. Сверхпроводящие СВЧ-резонаторы на основе электролитических Nb<sub>3</sub>Sn //Неорганические материалы. – 2010. – Т. 46. – №. 12. – С. 1448-1455;
- 11) Godeke A. Performance boundaries in Nb<sub>3</sub>Sn superconductors. – Lawrence Berkeley National Lab.(LBNL), Berkeley, CA (United States), 2006. – №. LBNL-63608;

12) Юрьева А.В., Степанова О.М., Блейхер Г.А., Юрьев Ю.Н. Баланс энергии на катодном узле магнетронной распылительной системы с жидкофазной мишенью // Известия ВУЗов. Физика. – 2014 – Т. 57 – №. 3/3.– С. 283-287;

13) Rosaz G. et al. Development of Nb  $_3$  Sn coatings by magnetron sputtering for SRF cavities. – 2016. – №. CERN-ACC-2016-0045. – P. TUPB051;

14) Sayeed M. N. et al. Properties of Nb<sub>3</sub>Sn films fabricated by magnetron sputtering from a single target //Applied Surface Science. – 2021. – Т. 541. – P. 148528;

15) Томский политехнический университет: «Технологии исследования состава и структуры перспективных электротехнических материалов». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://portal.tpu.ru/SHARED/d/DIMMASSIKK/academics/Tab5/Рентген%20и%20микроскопия.pdf>, свободный. Дата обращения: 23.05.2022 г;

16) Аналитический электронный микроскоп Zeiss Supra 55/55VP [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.rusnanonet.ru/equipment/zeiss\\_supra55/](http://www.rusnanonet.ru/equipment/zeiss_supra55/);

17) Рентгеновский дифрактометр XRD-7000 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.shimadzu.ru/xrd-7000>, свободный. Дата обращения: 16.05.2022 г;

18) Курзина И.А. К93 Рентгенофазовый анализ нанопорошков. Методические указания к выполнению лабораторной работы по курсу «Отрасли nanoиндустрии. Области применения наноматериалов» для магистрантов, обучающихся по направлению 150600 «Материаловедение и технология новых материалов» / сост. Курзина И.А., Годымчук А.Ю., Качаев А.А. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 14 с;

19) Томский политехнический университет: «Автоматизированный комплекс Gas Reaction Controller». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://portal.tpu.ru/departments/kafedra/of/lab/Tab1/GasReactionController.pdf>, свободный. Дата обращения: 28.05.2022 г;

- 20) Godeke A. A review of the properties of Nb<sub>3</sub>Sn and their variation with Al<sub>15</sub> composition, morphology and strain state //Superconductor Science and Technology. – 2006. – Т. 19. – №. 8. – P. R68;
- 21) Федеральный закон «Об основах охраны труда» от 17.07.1999 г. № 181-ФЗ;
- 22) Безопасность жизнедеятельности: Учебник/ Под ред. проф. Э.А. Арустамова. – 10-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и Ко», 2006;
- 23) СН 2.2.4/2.8.1.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки»;
- 24) СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение»;
- 25) СанПин 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений;
- 26) СН 2.2.4/2.1.8.566. Санитарные нормы. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий;
- 27) ГОСТ 12.1.019-2017 Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты;
- 28) Пожаро- и взрывобезопасность промышленных объектов. ГОСТ Р12.1.004-85 ССБТ Пожарная безопасность;
- 29) ГОСТ 12.4.011-89 Система стандартов безопасности труда. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация;
- 30) СанПиН: 2.2.2/2.4.1340-03 "Гигиенические требования к персональным вычислительным машинам и организации работы";
- 31) Суворов, Г.А. Шум и здоровье (эколого-гигиенические проблемы) / Г.А. Суворов, Л.В. Прокопенко, Л. Д. Якимова - М: Союз, 1996. - 150 с;
- 32) СП 60.13330.2012 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха»;
- 33) СНиП 2.04.05-91 «Отопление, вентиляция и кондиционирование»
- 34) Приточно-вытяжная установка с пластинчатым рекуператором ФЬОРДИ ВПУ CF 500 Н [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

[https://blagovest.ru/catalog/ventilyatsionnye\\_ustanovki/pritочно\\_vytyazhnye\\_ustanovki\\_s\\_rekuperatsiey\\_teploa/fordi/pritочно\\_vytyazhnaya\\_ustanovka\\_s\\_plastinchatym\\_rekuperatorom\\_fordi\\_vpu\\_cf\\_500\\_n/](https://blagovest.ru/catalog/ventilyatsionnye_ustanovki/pritочно_vytyazhnye_ustanovki_s_rekuperatsiey_teploa/fordi/pritочно_vytyazhnaya_ustanovka_s_plastinchatym_rekuperatorom_fordi_vpu_cf_500_n/);

35) ГОСТ 12.2.085-82. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов;

36) ГОСТ 22.0.01-94. Безопасность в ЧС. Основные положения.