

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

Школа – Инженерная школа ядерных технологий  
 Направление подготовки – 14.03.02 «Ядерная физика и технологии»  
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение ядерно-топливного цикла

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
Электрофизические особенности высокочастотного факельного разряда, горящего в аргоне

УДК 537.5:546.29:537.86.08

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А6Д	Доржиев Антон Евгеньевич		25.05.2020

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Луценко Ю.Ю.	д.ф.-м.н.		25.05.2020

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Е.С. Киселева	к.э.н.		25.05.2020

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОЯТЦ ИЯТШ	Т.С. Гоголева	к.ф.-м.н.		25.05.2020

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
14.03.02 Ядерные физика и технологии	П.Н. Бычков	к.т.н., доцент		25.05.2020

Томск – 2020 г.

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

Школа – Инженерная школа ядерных технологий  
 Направление подготовки (специальность) – 14.03.02 «Ядерная физика и технологии»  
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение ядерно-топливного цикла

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП

\_\_\_\_\_ П.Н. Бычков  
 « \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 г.

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

В форме:

бакалаврской работы
---------------------

Студенту:

Группа	ФИО
0А6Д	Доржиев Антон Евгеньевич

Тема работы:

Электрофизические особенности высокочастотного факельного разряда, горящего в аргоне	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 59-84/с от 28.02.2020 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:	25.05.2020
--	------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b></p> <p><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>1. Предмет исследования: высокочастотный факельный разряд, горящий в аргоне.</p> <p>2. Используемое оборудование: плазмохимический реактор, емкостные зонды, осциллограф, дистанционный термометр.</p>
<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><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,</i></p>	<p>Аналитический обзор литературы; постановка цели и задач исследования; разработка методики проведения экспериментов; анализ полученных результатов; экономическое обоснование проведения НИР; выводы по работе.</p>

<i>конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	
--	--

**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы**

Раздел	Консультант
Основная часть	доцент ОЯТЦ ИЯТШ Ю.Ю. Луценко
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	доцент ОСГН ШБИП Е.С. Киселева
Социальная ответственность	ассистент ОЯТЦ ИЯТШ Т.С. Гоголева

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	28.02.2020
---	------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Ю.Ю. Луценко	д.ф.-м.н., доцент		28.02.2020

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А6Д	Доржиев Антон Евгеньевич		28.02.2020

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
0А6Д	Доржиеву Антону Евгеньевичу

<b>Школа</b>	ИЯТШ	<b>Отделение</b>	ОЯТЦ
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	14.03.02«Ядерные физика и технологии»

<b>Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:</b>	
1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска. Оклад руководителя и инженера определены в соответствии с внутренними нормами ТПУ.</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>-30% премии; 20% надбавки; 16% накладные расходы; 30% районный коэффициент.</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Отчисления во внебюджетные фонды 30,2%. (НК РФ)</i>
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>Проведение анализа конкурентоспособности SWOT - анализ</i>
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>Формирование плана и графика разработки: - определение трудоемкости работ; -определение структуры работ; -разработка графика Гантта. Формирование бюджета затрат на научное исследование: - материальные затраты; - заработная плата; - отчисления на социальные цели; - накладные расходы.</i>
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<i>Расчёт и оценка сравнительной финансовой эффективности</i>
<b>Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):</b>	
1. <i>Оценка конкурентоспособности технических решений</i> 2. <i>Матрица SWOT</i> 3. <i>Диаграмма Гантта</i>	

<b>Дата выдачи задания по линейному графику</b>	28.02.2020
---	------------

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент ОСГН ШБИП	Киселева Елена Станиславовна	к.э.н.		28.02.2020

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
0А6Д	Доржиев Антон Евгеньевич		28.02.2020

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
0А6Д	Доржиеву Антону Евгеньевичу

<b>Школа</b>	<b>ИЯТШ</b>	<b>Отделение (НОЦ)</b>	<b>ОЯТЦ</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	Ядерные физика и технологии

Тема ВКР:

Электрофизические особенности высокочастотного факельного разряда, горящего в аргоне	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Определение величины удельной электропроводности плазмы разряда, горящего в аргоне, и расчёт степени затухания электромагнитного поля в плазме разряда. Область применения – использование разряда для нанесения покрытий из чистых металлов.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	– ТК РФ; – Федеральный закон «Об основах охраны труда в Российской Федерации» – Требования к организации и оборудованию рабочих мест с ПЭВМ: – ГОСТ 12.2.049-80 (ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования) – ГОСТ ИЕС 60519-1-2011 (Безопасность электротермического оборудования. Часть 1.)
<b>2. Производственная безопасность:</b> 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	– микроклимат; – шум и вибрация; – недостаточная освещенность рабочего места; – электромагнитное излучение; – психофизиологические факторы; – электрический ток.
<b>3. Экологическая безопасность:</b>	– анализ влияния объекта и процесса исследования на окружающую среду; – разработка организационных и технических мероприятий по защите окружающей среды.
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	– анализ типичной ЧС – пожар в рабочем помещении; – превентивные меры и порядок действий при возникновении ЧС.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	13.04.2020
--	------------

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Ассистент ОЯТЦ ИЯТШ	Гоголева Т.С.	к.ф-м.н.		13.04.2020

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
0А6Д	Доржиев А.Е.		13.04.2020

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (компетенции)
<b>Общекультурные компетенции</b>	
P1	Демонстрировать культуру мышления, способность к обобщению, анализу, восприятию информации, постановке цели и выбору путей ее достижения; стремления к саморазвитию, повышению своей квалификации и мастерства; владение основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, навыки работы с компьютером как средством управления информацией; способность работы с информацией в глобальных компьютерных сетях.
P2	Способность логически верно, аргументировано и ясно строить устную и письменную речь; критически оценивать свои достоинства и недостатки, намечать пути и выбирать средства развития достоинств и устранения недостатков.
P3	Готовностью к кооперации с коллегами, работе в коллективе; к организации работы малых коллективов исполнителей, планированию работы персонала и фондов оплаты труда; генерировать организационно-управленческих решения в нестандартных ситуациях и нести за них ответственность; к разработке оперативных планов работы первичных производственных подразделений; осуществлению и анализу исследовательской и технологической деятельности как объекта управления.
P4	Умение использовать нормативные правовые документы в своей деятельности; использовать основные положения и методы социальных, гуманитарных и экономических наук при решении социальных и профессиональных задач, анализировать социально-значимые проблемы и процессы; осознавать социальную значимость своей будущей профессии, обладать высокой мотивацией к выполнению профессиональной деятельности.
P5	Владеть одним из иностранных языков на уровне не ниже разговорного.
P6	Владеть средствами самостоятельного, методически правильного использования методов физического воспитания и укрепления здоровья, готов к достижению должного уровня физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.
P7	Использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования.
P8	Владеть основными методами защиты производственного персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий; И быть готовым к оценке ядерной и радиационной безопасности, к оценке воздействия на окружающую среду, к контролю за соблюдением экологической безопасности, техники безопасности, норм и правил производственной санитарии, пожарной, радиационной и ядерной безопасности, норм охраны труда; к контролю соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям, требованиям безопасности и другим нормативным документам; за соблюдением технологической дисциплины и обслуживанию технологического оборудования ; и к организации защиты объектов интеллектуальной собственности и результатов исследований и разработок как коммерческой тайны предприятия; и понимать сущность и значение информации в развитии современного информационного общества, сознавать опасности и угрозы, возникающие в этом процессе, соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны).

P9	Уметь производить расчет и проектирование деталей и узлов приборов и установок в соответствии с техническим заданием с использованием стандартных средств автоматизации проектирования; разрабатывать проектную и рабочую техническую документацию, оформление законченных проектно-конструкторских работ; проводить предварительного технико-экономического обоснования проектных расчетов установок и приборов.
P10	Готовность к эксплуатации современного физического оборудования и приборов, к освоению технологических процессов в ходе подготовки производства новых материалов, приборов, установок и систем; к наладке, настройке, регулировке и опытной проверке оборудования и программных средств; к монтажу, наладке, испытанию и сдаче в эксплуатацию опытных образцов приборов, установок, узлов, систем и деталей.
P11	Способность к организации метрологического обеспечения технологических процессов, к использованию типовых методов контроля качества выпускаемой продукции; и к оценке инновационного потенциала новой продукции.
P12	Способность использовать информационные технологии при разработке новых установок, материалов и приборов, к сбору и анализу информационных исходных данных для проектирования приборов и установок; технические средства для измерения основных параметров объектов исследования, к подготовке данных для составления обзоров, отчетов и научных публикаций; к составлению отчета по выполненному заданию, к участию во внедрении результатов исследований и разработок; и проведения математического моделирования процессов и объектов на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования и исследований.
P13	Уметь готовить исходные данные для выбора и обоснования научно-технических и организационных решений на основе экономического анализа; использовать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования, современные компьютерные технологии и базы данных в своей предметной области; и выполнять работы по стандартизации и подготовке к сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов.
P14	Готовность к проведению физических экспериментов по заданной методике, составлению описания проводимых исследований и анализу результатов; анализу затрат и результатов деятельности производственных подразделений; к разработки способов применения ядерно-энергетических, плазменных, лазерных, СВЧ и мощных импульсных установок, электронных, нейтронных и протонных пучков, методов экспериментальной физики в решении технических, технологических и медицинских проблем.
P15	Способность к приемке и освоению вводимого оборудования, составлению инструкций по эксплуатации оборудования и про- грамм испытаний; к составлению технической документации (графиков работ, инструкций, планов, смет, заявок на материалы, оборудование), а также установленной отчетности по утвержденным формам; и к организации рабочих мест, их техническому оснащению, размещению технологического оборудования.

## Реферат

Выпускная квалификационная работа объемом 82 страницы, 27 рисунков, 24 таблицы, 40 источников, 51 формула.

Ключевые слова: плазма, факельный разряд, длина канала, электронная температура, газовая температура, напряженность поля, затухание электромагнитного поля, тепловые потери.

Объектом исследования является высокочастотный факельный разряд (ВЧФР).

Цель работы: исследование электрофизических особенностей высокочастотного факельного разряда, горящего в аргоне.

В процессе исследования проводились:

1. Измерение электронной температуры факельного разряда, горящего в аргоне;
2. Определение газовой температуры ВЧФР, горящего в аргоне;
3. Определение удельной электропроводности, напряженности электрического поля плазмы ВЧФР, горящего в аргоне;
4. Измерение и расчет тепловых потерь ВЧФР, горящего в аргоне;
5. Выводы по работе.

В результате исследований установлено, что:

1. Электронная температура аргонной плазмы факельного разряда возрастает с увеличением его мощности;
2. Электромагнитное поле факельного разряда, горящего в аргоне, затухает вдоль его канала на 20–25%;
3. Тепловые потери линейно возрастают с увеличением длины канала разряда.

Область применения: ВЧФР, горящий в аргоне может быть использован в качестве генератора плазмы при проведении различных плазмохимических процессов. В частности, высокочастотные плазменные

установки на базе факельного разряда используются для нанесения покрытий из чистых металлов, а также для утилизации отработанного ядерного топлива.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2016. Вычисления выполнялись с помощью математического пакета Matlab 6.0. Построение графиков проводилось в программе OriginPro 2016.

## Оглавление

Введение.....	12
1. Электрофизические свойства факельного разряда.....	13
2 Определение характеристик аргоновой плазмы разряда.....	25
2.1 Определение электронной температуры аргоновой плазмы разряда.....	25
2.2 Определение газовой температуры аргоновой плазмы разряда.....	29
2.3 Определение удельной электропроводности плазмы разряда.....	31
2.4 Определение напряженности электрического поля.....	32
3 Определение тепловой мощности высокочастотного факельного разряда.....	37
3.1 Измерение тепловой мощности методом калориметрирования.....	37
3.2 Расчет тепловой мощности.....	38
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение...	40
4.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....	41
4.2 Анализ конкурентных технических решений.....	41
4.3 SWOT-анализ.....	43
4.4 Планирование научно-исследовательских работ.....	48
4.4.1 Определение трудоемкости выполнения работ.....	49
4.4.2 Разработка графика проведения научного исследования.....	50
4.5 Бюджет научно-технического исследования (НТИ).....	52
4.5.1 Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты.....	52
4.5.2 Основная заработная плата исполнителей темы.....	55
4.5.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	58
4.5.4 Накладные расходы.....	58
4.5.5 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта ...	59

4.6 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	60
Выводы по разделу.....	63
5 Социальная ответственность .....	64
Введение.....	64
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	65
5.2 Производственная безопасность.....	66
5.2.2 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов .....	67
5.2.2.1 Отклонение показателей микроклимата.....	67
5.2.2.2 Повышенный уровень электромагнитного излучения.....	68
5.2.2.3 Недостаточная освещенность рабочей зоны.....	69
5.2.2.4 Превышение уровня шума .....	70
5.2.2.5 Психофизиологические факторы .....	71
5.3 Экологическая безопасность.....	73
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	74
5.4.1 Анализ вероятной чрезвычайной ситуации, которая может возникнуть на рабочем месте при проведении исследований .....	74
5.4.2 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и порядок действий в случае возникновения ЧС.....	75
Выводы по разделу.....	77
Выводы по работе .....	78
Список используемых источников.....	79

## **Введение**

В настоящее время плазменные технологии получили широкое применение в различных областях промышленности. Низкотемпературная плазма используется для получения новых материалов, а также для обработки и модификации поверхностей уже имеющихся материалов: нанесения плазменных покрытий, проведения ионной имплантации и т. д.

Одним из перспективных источников плазмы в плазмохимических процессах является высокочастотный факельный разряд (ВЧФР), который обладает рядом преимуществ перед другими высокочастотными разрядами. ВЧФР устойчив к запылению, имеет большой объем плазмы и при этом легко возбуждается в любых средах.

При проведении некоторых плазмохимических процессов, таких как нанесение покрытий из чистых металлов, требуется исключить окисление перерабатываемого материала. В этом случае в качестве плазмообразующего газа используют инертные газы, как правило – аргон. Заметим, что особенности процесса горения факельного разряда в аргоне в настоящее время недостаточно исследованы.

В настоящей работе проведены измерения осевого распределения электрического поля, а также электронной и газовой температуры факельного разряда, горящего в аргоне. На основе проведённых температурных измерений рассчитано значение удельной электропроводности плазмы разряда и определена степень затухания электромагнитного поля в плазме разряда. Проведено сопоставление рассчитанной величины тепловой мощности разряда с экспериментальными результатами.

## 1. Электрофизические свойства факельного разряда

В 1928 году при исследовании работы ВЧ генератора [1] Зилитинкевич С.И. открыл высокочастотный факельный (одноэлектродный) разряд.

Высокочастотный факельный (одноэлектродный) разряд представляет собой плазменный шнур (рис.1.1), горящий с поверхности электрода, к которому приложено ВЧ напряжение. ВЧФР может быть возбужден с поверхности не только проводника, но и диэлектрика [2].

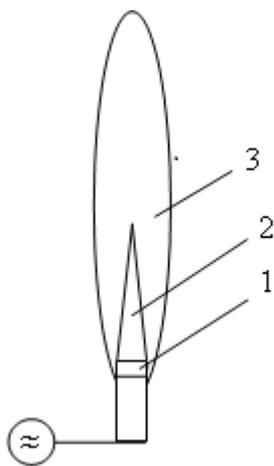


Рис. 1.1 – Высокочастотный факельный разряд

1 – приэлектродный слой; 2 – канал; 3 – диффузионная оболочка

ВЧФР (рис. 1.1) состоит из трех структурных элементов: 1– приэлектродный слой, 2 – канал и 3 – диффузионная оболочка. Канал разряда представляет собой яркосветящееся образование цилиндрической формы, диаметр которого постепенно уменьшается вдоль оси разряда. В канале разряда протекает высокочастотный ток и происходит преимущественная диссипация энергии электромагнитной волны. Канал разряда окружён слабосветящейся диффузионной оболочкой, диаметр которой в 3–10 раз больше диаметра канала. В диффузионной оболочке происходит рекомбинация ионов, образовавшихся в результате термической ионизации в зоне канала разряда. Приэлектродный слой расположен между разрядной плазмой и поверхностью электрода. Он характеризуется высокими

значениями напряжённости электрического поля. В этой зоне происходит ускорение электронов до энергий достаточных для ионизации молекул газа. Механизм горения ВЧФР обусловлен процессами термической ионизации [3].

В случае возбуждения разряда с охлаждаемого электрода при мощностях  $W > 70$  Вт в большинстве случаев можно наблюдать только ВЧФР. В связи с этим при работе с довольно мощными разрядами, возбуждаемых при частоте  $\nu > 10$  МГц, одноэлектродный разряд можно принять, как ВЧФР.

Исследования ВЧФР до настоящего времени проводились в основном в следующих направлениях:

1. исследование влияния разных факторов (формы, материала электрода, рода плазмообразующего газа, величины подводимой мощности) на свойства высокочастотного факельного разряда [3, 4, 5];

2. изучение характеристик плазмы высокочастотного факельного разряда (температуры и концентрации электронов, температуры тяжелых частиц, степени неравновесности плазмы разряда) [4, 5, 6, 7];

3. исследование тепломассопереноса в плазме высокочастотного факельного разряда [8, 9];

4. изучение амплитудно-модулированной плазмы высокочастотного факельного разряда [10, 11];

5. изучение воздействия внешних электрических полей на свойства высокочастотного факельного разряда [12-15];

6. исследование согласования ВЧФР с ВЧ генератором [16, 17];

7. исследование электрических характеристик высокочастотного факельного разряда [3, 18].

ВЧФР при давлениях  $10^1 - 5 \cdot 10^5$  Па без затруднений возбуждается в любых газовых средах, таких как воздух, инертные газы, водород и т.д. При давлениях более  $3,3 \cdot 10^4$  Па разряд обычно имеет контрагированную форму, однако, при горении в газах с высокой теплопроводностью, его форма становится диффузной.

Из проведённых ранее экспериментальных исследований следует, что структура и размеры высокочастотного факельного разряда определяются свойствами плазмообразующего газа, а также характером и уровнем мощности, вводимой в разряд.

Основные результаты по исследованию свойств и особенностей ВЧФР, приведены в таблице 1.1 и на рис. 1.2 и 1.3.

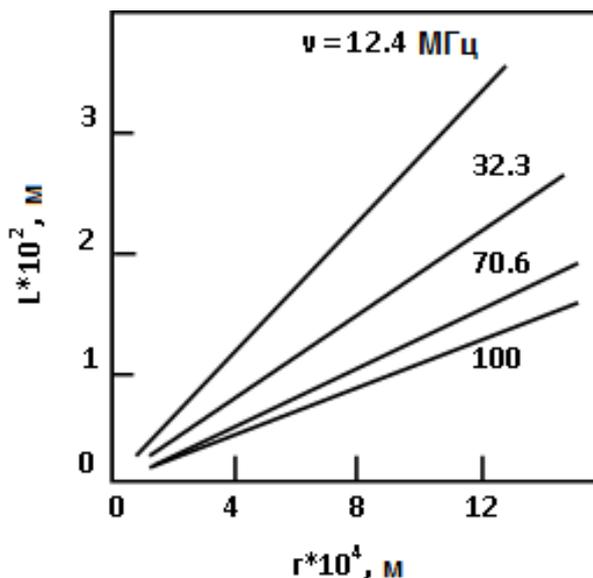


Рис – 1.2

Зависимость длины канала ВЧФР от радиуса разряда

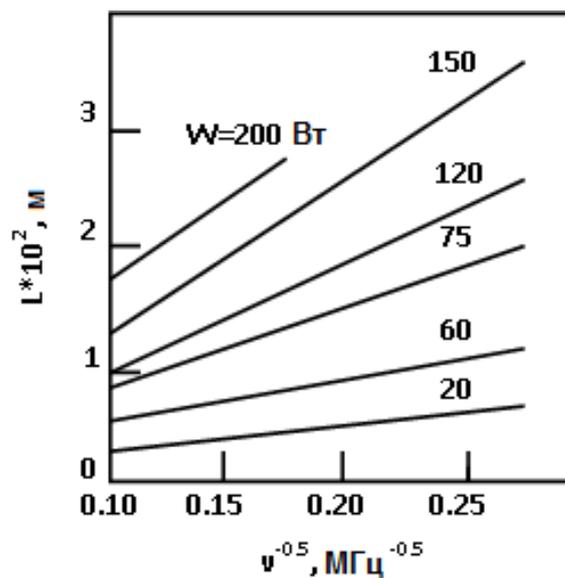


Рис. – 1.3.

Зависимость длины канала ВЧФР от частоты

В случае заданной мощности при уменьшении частоты увеличивается длина канала разряда и уменьшается температура плазмы, при этом зависимость носит логарифмический характер [4]. Зависимость длины канала разряда от частоты электромагнитного поля показана на рис. 1.4.

В таблице 1.1 приведены значения температуры канала ВЧФР. Видно, что газовая температура ВЧФР в большей степени зависит от рода плазмообразующего газа и частоты питающего разряд электромагнитного поля. Также газовая температура зависит [5, 6] от мощности, вкладываемой в разряд и от частоты (рис. 1.4 и рис. 1.5).

Таблица 1.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Мощность, P <sub>0</sub> , Вт	Плазмообразующий газ	Частота, $\nu \cdot 10^{-6}$ , Гц	Радиус канала ВЧФР, $a \cdot 10^2$ , м	Длина разряда, $L \cdot 10^2$ , м	Проводимость, $\sigma$ , см/м	Газовая температура, $T_g \cdot 10^{-3}$ , К (в канале)	Температура электронов (канала) $T_e \cdot 10^{-3}$ , К	Ток в разряде, I, А	Напряжение разряда $U \cdot 10^{-3}$ , В	Напряженность электрического поля, $E \cdot 10^{-2}$ , В/м	Концентрация электронов, $n_e \cdot 10^{-6}$ , м <sup>-1</sup>
1											
500-600	ВОЗДУХ	6-20	-	15-20	-	-	-	-	-	-	-
20-200	ВОЗДУХ	12-100	0,25-0,35	0,3-3,6,6	-	3,3-4,3	-	0,01-0,14	-	-	-
-	ВОЗДУХ	31	-	-	-	3,8-4,2	-	-	-	300-500	5·10 <sup>10</sup> -10 <sup>11</sup>
30	АЗОТ	31	-	-	-	3,8	-	-	-	-	10 <sup>11</sup> -10 <sup>12</sup>
15-308	ВОЗДУХ	8,3	-	-	-	-	-	4·10 <sup>-3</sup> -3·10 <sup>-2</sup>	3,6-4,4	-	-
-	ВОЗДУХ	42	-	-	-	3,5	7,1	1,24	-	-	-
500-600		35	-	-	-	0,9	7,5	-	-	-	3·2·10 <sup>13</sup> -1·5·10 <sup>14</sup>
500-600		35	-	-	-	-	7,7	-	-	-	0,7·10 <sup>14</sup> -1,9·10 <sup>14</sup>
100	Гелий	24	-	-	-	0,9	2,5	-	-	-	1,2·10 <sup>15</sup> -3,0·10 <sup>15</sup>
-	ВОЗДУХ	-	-	-	-	3,8-4,2	-	-	-	-	-
-	АЗОТ	-	-	-	-	4,0	-	-	-	-	-
-	АРГОН	-	-	-	-	1,4	-	-	-	-	-
-	ВОЗДУХ	-	-	-	-	3,0-5,0	6,5	-	-	400-600	-
-	АРГОН	-	-	-	-	1,4-2,0	6,0-7,2	-	-	12-12	-
920	ВОЗДУХ	36	1,18	-	-	3,8	-	-	-	510	7·10 <sup>11</sup>
1020	ВОЗДУХ	36	0,27	-	-	4,2	-	-	-	420	5·10 <sup>12</sup>
800	СО <sub>2</sub>	36	0,13	-	-	-	-	-	-	-	3·10 <sup>11</sup>
670	СО	36	0,11	-	-	-	-	-	-	-	1,2·10 <sup>12</sup>
750	О <sub>2</sub>	36	0,13	-	-	0,81	-	-	-	-	1,2·10 <sup>12</sup>
200-800	ВОЗДУХ	41	-	-	-	3,5-3,9	-	-	-	-	-
-	ВОЗДУХ	41	-	5,22	-	-	-	0,8-1,6	-	-	-
150-1000	ВОЗДУХ	-	0,06-0,18	3,1-2,8	-	-	-	-	-	-	-
16000	ВОЗДУХ	0,75	1,2	-	-	-	-	-	-	-	-

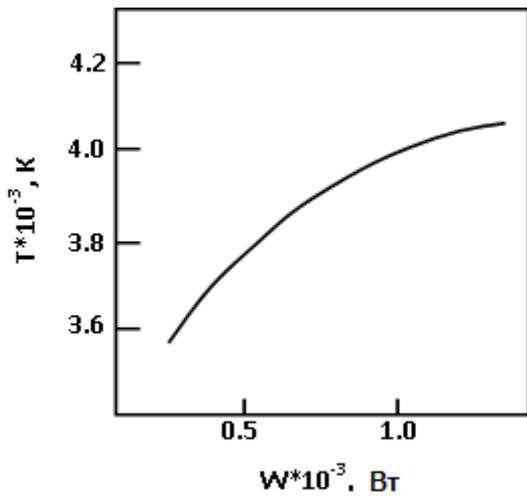


Рис – 1.4.

Зависимость температуры в канале ВЧФР от мощности

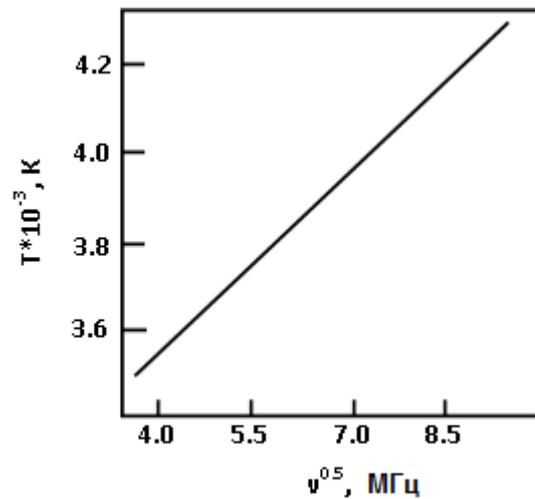


Рис – 1.5.

Зависимость температуры ВЧФР от частоты поля  $\nu$

При горении в молекулярных газах температура ВЧФР составляет  $(3...4,5) \cdot 10^3$  К. Электронная температура в этом случае незначительно отличается от температуры тяжёлых частиц. В случае же горения разряда в одноатомных газах его газовая температура составляет  $(0,8...2,0) \cdot 10^3$  К. При этом электронная температура значительно превышает газовую температуру. Так, например, для аргона разница между электронной и газовой температурами составляет 5000 – 6000 К, а для гелия – десятки тысяч градусов. Таким образом, плазма ВЧФР не находится в условиях термодинамического равновесия.

Для молекулярных газов при уменьшении мощности разряда и давления отличие между электронной и газовой температурами растет. На рис. 1.6. представлены результаты измерений электронной и газовых температур ВЧФР, горящего в воздухе, в зависимости от давления. Из рисунка видно, что с увеличением давления изотермия плазмы увеличивается.

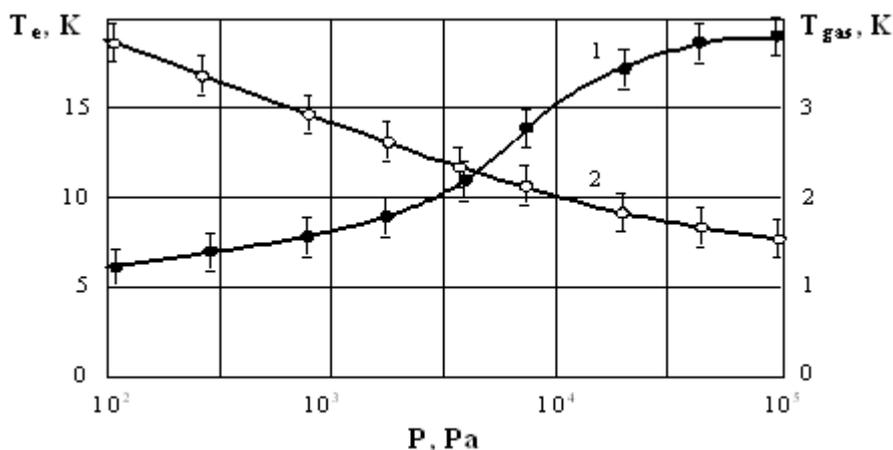


Рис. 1.6 – Зависимость электронной и газовой температур ВЧФР от давления

Осевое и радиальное распределение газовой температуры ВЧФР, горящего в воздухе, представлено на рис 1.7 и рис. 1.8. Из рисунков видно, что изменение температуры вдоль оси незначительно (300 – 500 К). В тоже время радиальное изменение температуры достаточно существенно. На рисунке 1.7 координаты оси X приведены в единицах длины канала l ВЧФР.

Электронная температура ВЧФР распределяется в радиальном направлении аналогично газовой. Радиальное распределение электронной температуры в воздушной (кривая 1) и азотной (кривая 2) плазме представлено на рисунке 1.9.

Также на распределение температур ВЧФР влияет скорость прокачки плазмообразующего газа. Среднеосевая газовая температура растет с увеличением скорости прокачки газа. Это объясняется тем, что при повышении скорости продува газа, температура возрастает в центральной части, а на периферии снижается. Данная зависимость представлена на рис. 1.10.

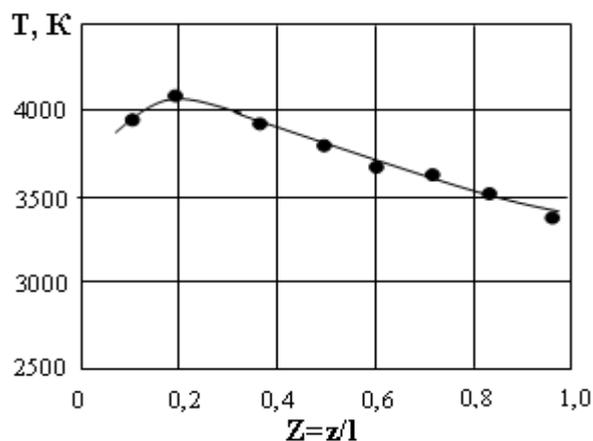


Рис. 1.7 – Осевое распределение газовой температуры ВЧФР в воздухе

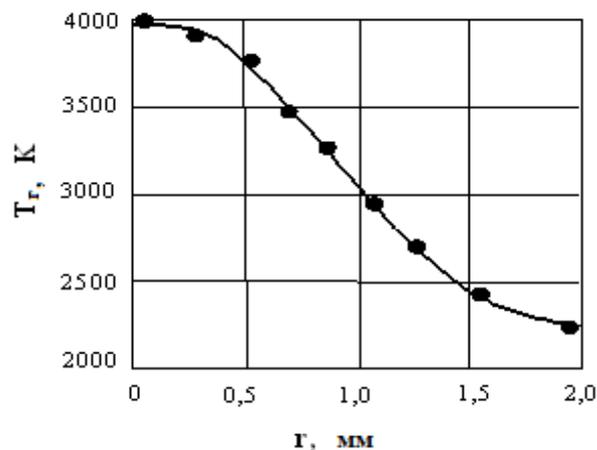


Рис. 1.8 – Осевое распределение газовой температуры ВЧФР в воздухе

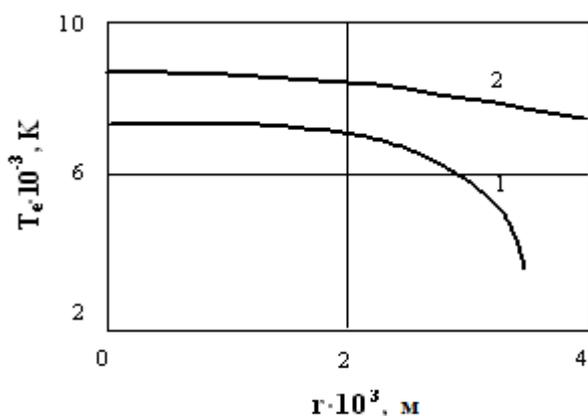


Рис. 1.9 – Радиальное распределение электронной температуры ВЧФР.

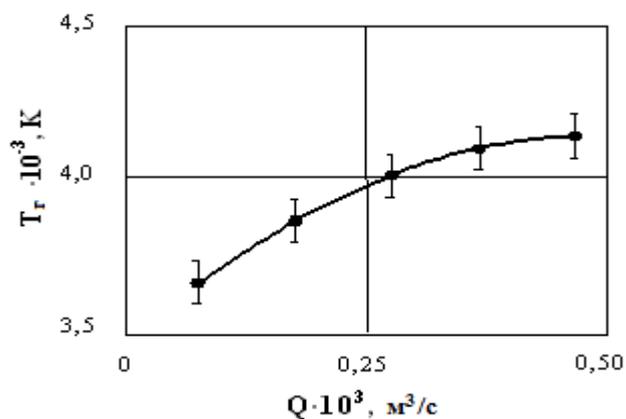


Рис. 1.10 – Зависимость газовой температуры ВЧФР в воздухе от скорости прокачки газа

Для определения концентрации электронов в плазме разряда используются два метода: спектральный и микроволновой. Плюсом микроволнового метода является возможность определения не только концентрации электронов, но и частоты столкновения электронов с атомами. Однако данный метод имеет малое пространственное разрешение и поэтому

позволяет определить концентрацию и частоту столкновения лишь усреднёнными значениями по сечению разряда.

В свою очередь спектральные методы позволяют определить концентрацию электронов в самом канале разряда. В большинстве случаев для уширения спектральных линий используется штарковский эффект.

Исходя из работ [7, 19, 20, 21] можно сказать, что концентрация электронов в плазме разряда, горящего в одноатомных газах выше, чем концентрация электронов при горении разряда в молекулярных газах.

Предположение о процессе передачи энергии от электромагнитного поля к плазме высокочастотного факельного разряда предоставили авторы работы [6]. По их мнению, на механизм передачи электромагнитной энергии влияют процессы диссоциативной рекомбинации.

Подтверждением [22] данного механизма передачи электромагнитной энергии является измерение температуры разряда, возбуждаемого в молекулярных газах при различных энергиях диссоциации.

При описании высокочастотного факельного разряда важное значение имеет нахождение величин емкостного сопротивления, адмитанса, активного сопротивления плазмоида ВЧФР.

Проведенные в работе [18] теоретические расчеты вышеупомянутых параметров показывают, что расчеты, базирующиеся только на геометрических характеристиках плазмоида разряда без учета происходящих в нем физических процессов, могут привести к серьезным ошибкам. В связи с этим большое количество работ по определению электрических параметров разряда носят экспериментальный характер.

В работах [6, 21] на рис. 1.11 представлены зависимости емкостного сопротивления, проводимости и адмитанса плазмоида ВЧФР, горящего при атмосферном давлении в воздухе и аргоне от величины высокочастотной мощности, подводимой к разряду. Из рисунка видно, что электрические параметры плазмоида ВЧФР существенно зависят от рода плазмообразующего газа и геометрических размеров разряда.

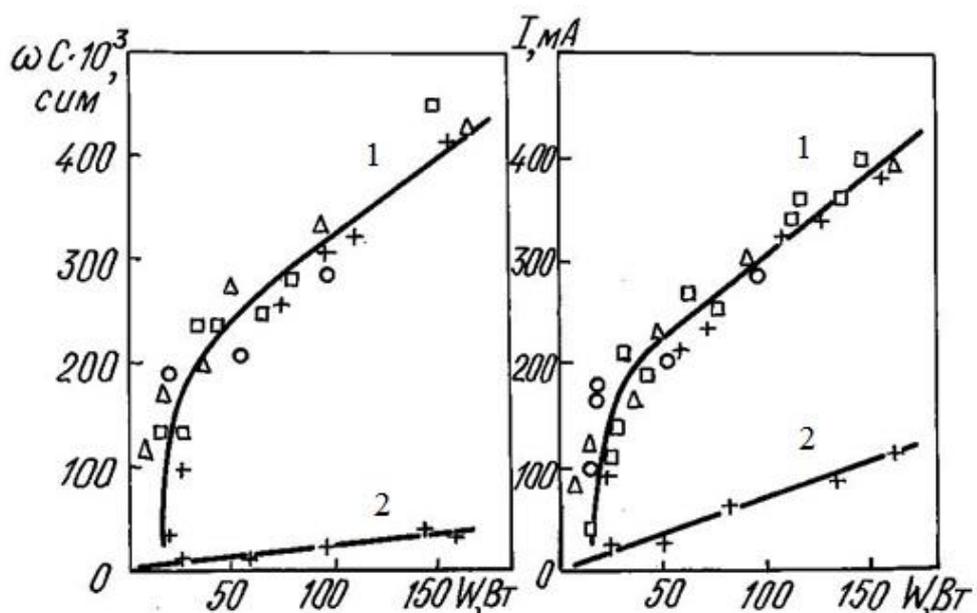
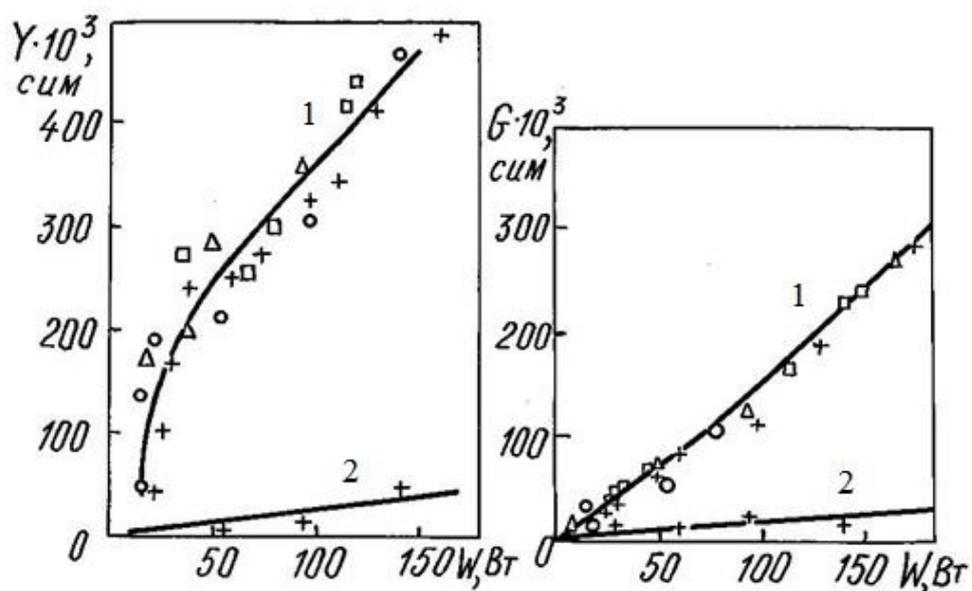


Рис. 1.11 – Зависимость емкостного сопротивления  $\omega C$ , проводимости  $G$ , адмитанса  $Y$  и тока  $I$  от мощности разряда  $W$ .

1 – воздух; 2 – аргон

Измерения высокочастотного тока и напряжения факельного разряда показали, что его вольтамперная характеристика имеет возрастающий характер. Однако, изменение напряжения при увеличении мощности разряда настолько незначительно, что можно говорить о стабилизации факельным разрядом высокочастотного напряжения.

Для моделирования электрофизических особенностей ВЧФР в работе [24] предложена следующая модель. Согласно этой модели, канал разряда рассматривается в виде однородного проводящего цилиндра вдоль которого распространяется поперечно-магнитная (ТМ) волна. Амплитуда этой волны угасает вдоль оси разряда по экспоненциальному закону:

$$U = U_0(r)e^{j(hz - \omega t)} \quad (1.1)$$

Здесь  $U$  – амплитуда электромагнитной волны;  $h$  – волновое число;  $\omega$  – угловая частота;  $t$  – время;  $z$  и  $r$  – соответственно осевая и радиальная координаты.

Предложенная модель ВЧФР [24] была экспериментально проверена в работе [25] путем измерения распределения амплитуды и фазового сдвига высокочастотного тока вдоль оси разряда. ВЧФР возбуждался внутри цилиндрического блока, собранного из поясов Роговского (рис. 1.12), причем корпуса поясов Роговского заземлялись. Таким образом, в работе [25] рассматривалось горение экранированного факельного разряда.

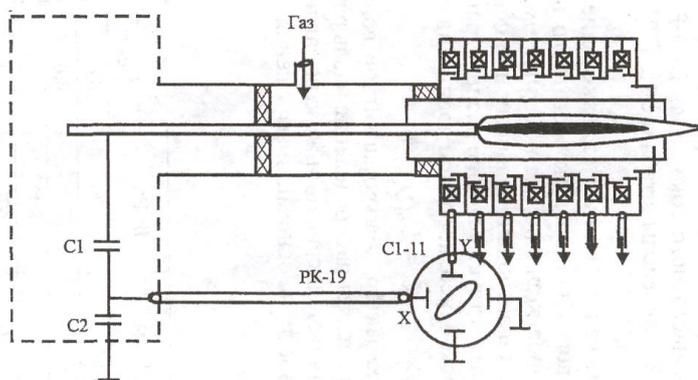


Рис. 1.12 – Схема экспериментальной установки

На рис. 1. 13 и рис. 1. 14 представлены результаты измерений распределения амплитуды и фазового сдвига высокочастотного тока вдоль оси ВЧФР.

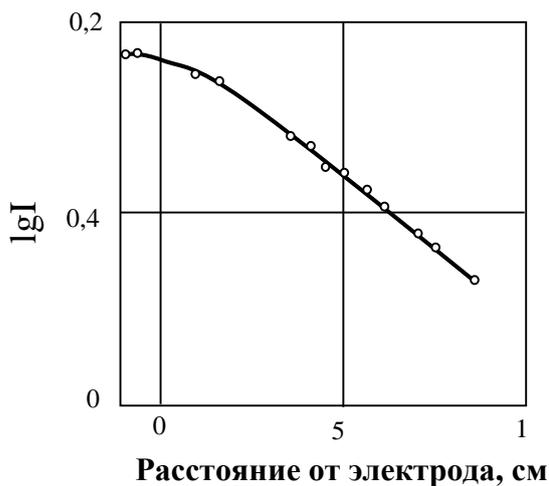


Рис. 1.13 – Осевое распределение амплитуды высокочастотного тока ВЧФР



Рис.1.14 – Осевое изменение фазового сдвига ВЧФР

Из представленных рисунков можно сделать вывод о том, что амплитуда высокочастотного тока затухает вдоль канала разряда по закону близкому к экспоненциальному. Фазовый сдвиг изменяется по линейному закону почти по всей длине канала разряда, за исключением зоны, где канал разряда заканчивается. Следовательно, результаты данных измерений подтвердили предположение, высказанное в работе [24], о поддержании процесса горения высокочастотного факельного разряда плоской, неоднородной электромагнитной волной, амплитуда которой описывается выражением (1.1).

Большое значение при анализе процесса распространения электромагнитной волны вдоль высокочастотного факельного разряда имеет вычисление волнового числа  $h = \alpha j + \beta$ , где  $\alpha$  - коэффициент, характеризующий затухание электромагнитной волны в плазме разряда,  $\beta$  - коэффициент фазы ( $2\pi\beta^{-1} = \lambda$  - длина электромагнитной волны в плазме разряда).

Для экранированного ВЧФР авторами работы [25] получено выражение (1.2) для волнового числа, которое незначительно отличается от волнового числа, отвечающему случаю свободного горения разряда.

$$h^2 \approx -\frac{2}{a_1^2 \varepsilon_1 \ln a_2/a_1}, \quad (1.2)$$

где  $a_2/a_1$  - отношение радиуса разрядной камеры к радиусу канала разряда.

Заметим, что рассмотренные выше физические особенности высокочастотного факельного разряда относятся преимущественно к разрядам, горящим в молекулярных газах. При этом особенности процесса горения ВЧФР в одноатомных газах, и в частности в аргоне, на данный момент недостаточно исследованы. Так, до настоящего времени, отсутствуют данные по зависимости электронной и газовой температуры разряда от его мощности, отсутствуют данные по его тепловыделению и степени затухания электромагнитного поля в плазме разряда. В связи с этим невозможно проводить достаточно обоснованный расчёт конструкций высокочастотных факельных плазмотронов, использующих аргон в качестве плазмообразующего газа.

## 2 Определение характеристик аргонной плазмы разряда

### 2.1 Определение электронной температуры аргонной плазмы разряда

На рис. 2.1 представлена схема установки, использовавшаяся для проведения опытов.

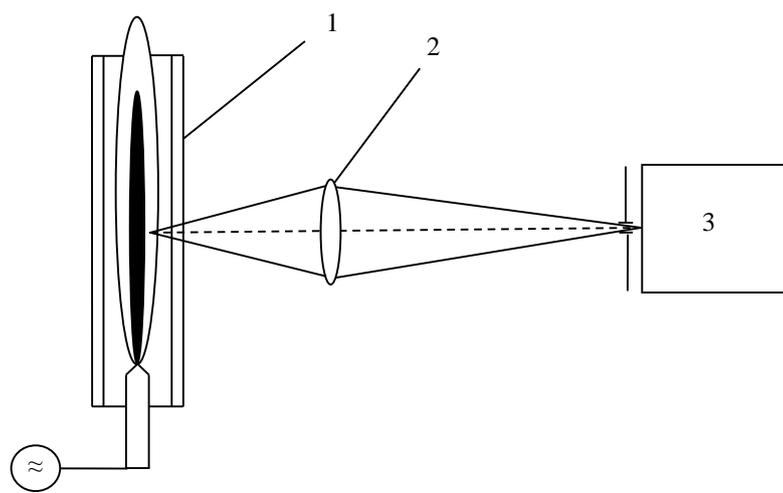


Рис 2.1.1 – Схема экспериментальной установки. 1 – ВЧ факельный разряд; 2 – линза; 3 – спектрограф Shamrock 303i

Исследуемый факельный разряд возбуждался в кварцевой трубке диаметром 28 мм и длиной 50 см на частоте 37 МГц. Расход аргона составил 0,4 м<sup>3</sup>/час. Газовая и электронная температура измерялась вблизи электрода при разных длинах канала ВЧФР. Посредством линзы, излучение изучаемого разряда проецировалось на щель спектрографа Shamrock 303i.

На экран компьютера выводился полученный спектр. Время экспозиции спектра варьировалось от 0,5 до 1,5 секунды. Ширина щели используемого спектрографа составляла 0,3 мм. Для того чтобы снизить влияние собственных шумов ПЗС камера охлаждалась до температуры -50 °С. Перед каждым измерением проводилось измерение фона, который позже вычитался из полученных результатов.

Измерение электронной температуры проводилось спектральным методом [26] по относительной интенсивности линий меди. Обеспечение паров меди в плазме разряда происходило путем испарения материала поверхности медного электрода. Линии меди: 5106 Å и 5133Å.

В таблице 2.2.1 представлены характеристики линий меди [26], наблюдаемые в диапазоне от 4900 до 5400Å, где  $\lambda$  – длина волны, E - энергия возбужденного состояния,  $(Agv)_i$  – произведение относительной вероятности перехода, частоты спектральной линии и статистического веса возбужденного состояния.

Таблица 2.2.1 Характеристики линий меди

Линия	$\lambda$ , Å	E, эВ	$(Agv)_i$
1	5782	3,77	8,58
2	5700	3,80	1,754
3	5218	6,16	2080
4	5153	6,16	1164
5	5106	3,80	36,7

Полученные спектры аргоновой плазмы ВЧФР в диапазоне длин волн от 4900 до 5400Å (линии меди) имеют следующий вид:

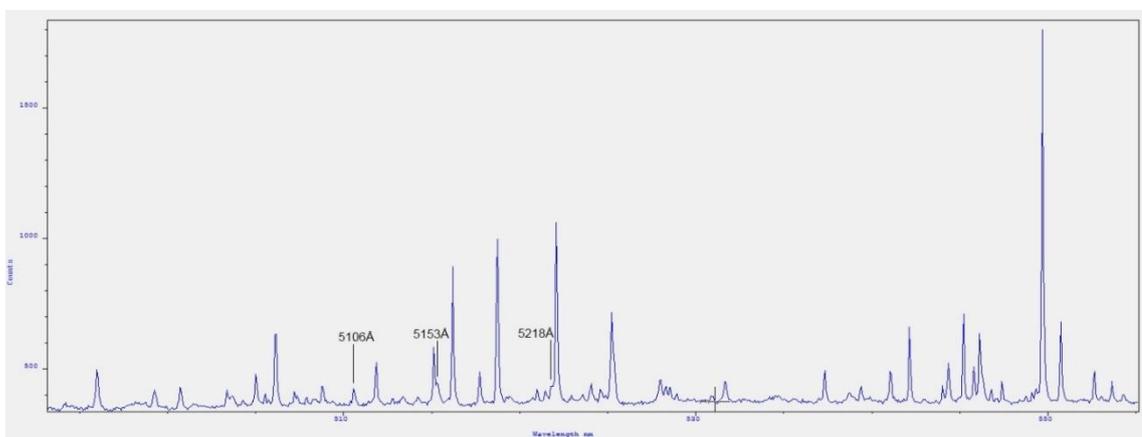


Рис. 2.1.2 – Спектр аргоновой плазмы

В связи с тем, что температура факельного разряда незначительно меняется вдоль его оси [27], измерения проводились вблизи электрода при трех длинах канала разряда ( $L = 10, 20$  и  $30$  см).

Согласно [26] электронная температура определяется по следующей формуле:

$$T_e = \frac{5040(E_l - E_k)}{\left[ \lg\left(\frac{J_{ki}}{J_{lm}}\right) + \lg\left(\frac{P_{lm}}{P_{ki}}\right) \right]} = 5040(E_l - E_k) / \left[ \lg\left(\frac{J_{ki}}{J_{lm}}\right) + \lg\left[\frac{A_{lm}g_m\lambda_{ki}}{A_{ki}g_k\lambda_{lm}}\right] \right] \quad (2.1.1)$$

В нашем случае формула (2.1.1) примет вид:

$$T_e = \frac{E_1 - E_2}{k \cdot \ln \frac{I_1(Ag\nu)_2}{I_2(Ag\nu)_1}} \quad (2.1.2)$$

где  $k$  – постоянная Больцмана;  $E_1, E_2$  – энергия возбужденных состояний;  $A$  – вероятность спонтанных переходов;  $g$  – статистический вес возбужденного состояния,  $\nu$  – частота,  $I_1$  – интенсивность линии меди ( $\lambda_1 = 5153 \text{ \AA}$ ),  $I_2$  – интенсивность линии меди ( $\lambda_2 = 5106 \text{ \AA}$ ).

Определим электронную температуру для трех длин канала разряда на основе полученных спектров с помощью формулы (2.1.2).

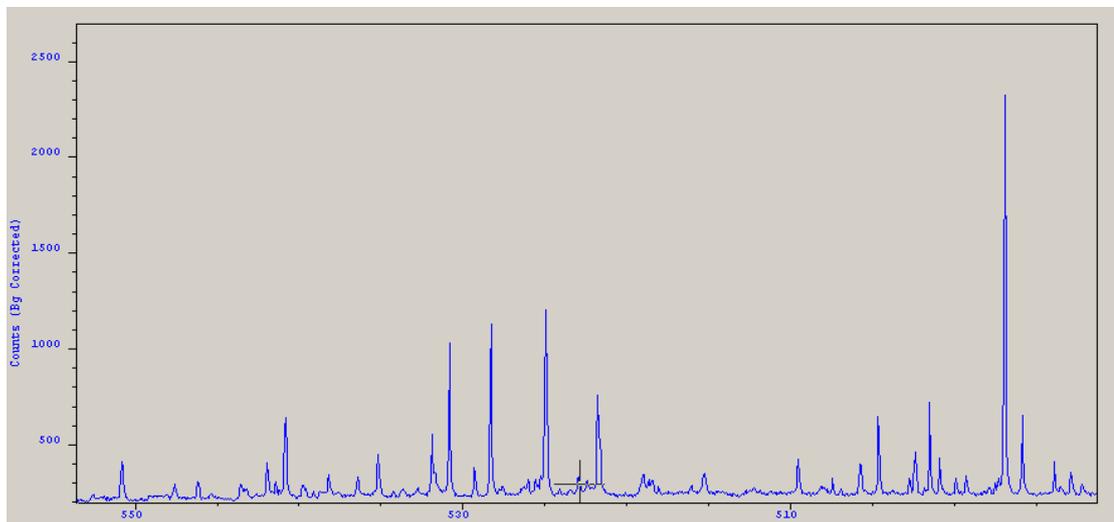


Рис. 2.1.3 – Спектр аргоновой плазмы при длине канала 10 см.

Из полученного спектра (рис. 2.1.3) находим нужные нам величины и рассчитываем температуру при длине канала 10 см:

$$T_e = \frac{E_1 - E_2}{k \cdot \ln \frac{I_1(Ag\nu)_2}{I_2(Ag\nu)_1}} = \frac{(6,16 - 3,18) \cdot 1,6^{-19}}{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot \ln 0,895291 \cdot \frac{36,7}{1164}} \approx 7670 \text{ K}$$

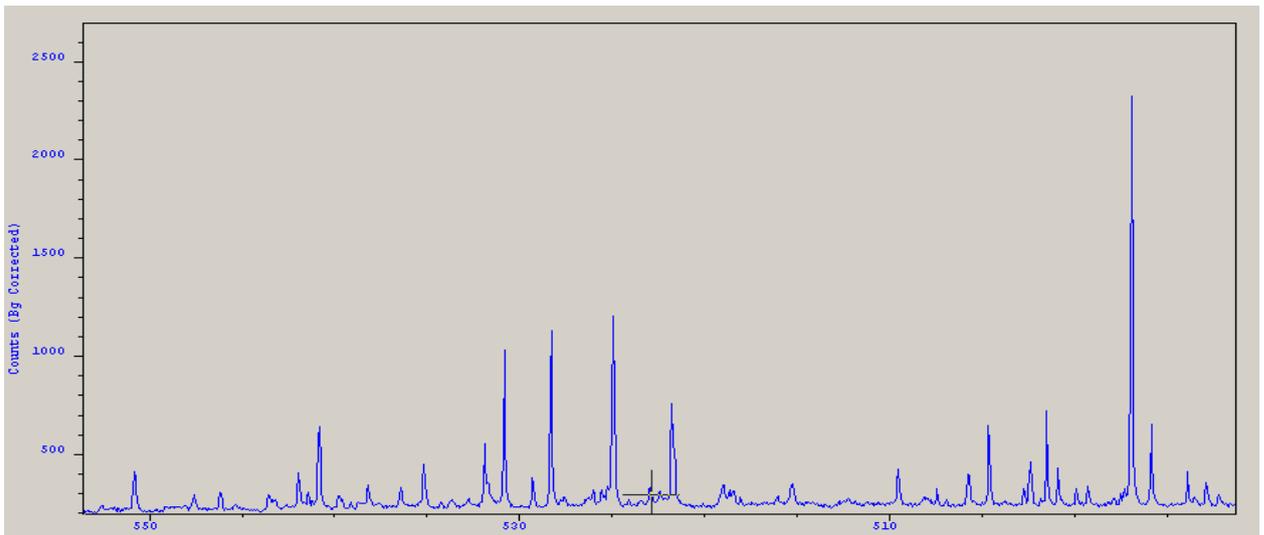


Рис. 2.1.4 – Спектр аргоновой плазмы на при длине канала 20 см.

Из полученного спектра (рис. 2.1.4) находим нужные нам величины и рассчитываем температуру при длине канала 20 см:

$$T_e = \frac{E_1 - E_2}{k \cdot \ln \frac{I_1(Agv)_2}{I_2(Agv)_1}} = \frac{(6,16 - 3,18) \cdot 1,6^{-19}}{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot \ln 1,087383 \cdot \frac{36,7}{1164}} \approx 8112 \text{ K}$$

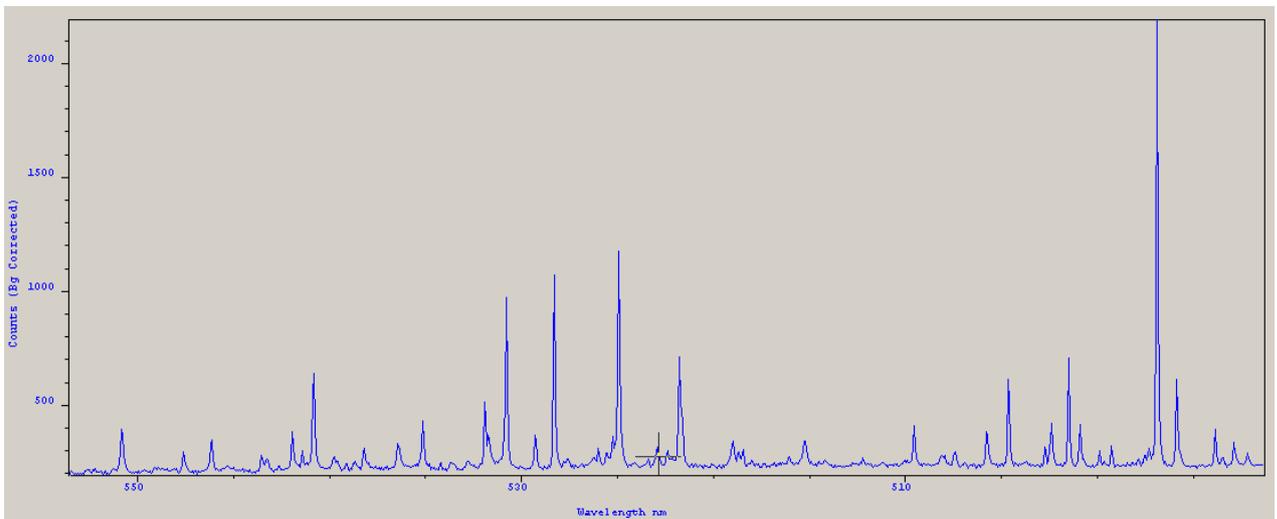


Рис. 2.1.5 – Спектр аргоновой плазмы при длине канала 30 см.

Из полученного спектра (рис. 2.1.5) находим нужные нам величины и рассчитываем температуру при длине канала 30 см:

$$T_e = \frac{E_1 - E_2}{k \cdot \ln \frac{I_1(Agv)_2}{I_2(Agv)_1}} = \frac{(6,16 - 3,18) \cdot 1,6^{-19}}{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot \ln 1,199467 \cdot \frac{36,7}{1164}} \approx 8355 \text{ K}$$

В таблице 2.1.2 приведены характеристики аргоновой плазмы.

Таблица 2.1.2 Характеристики аргоновой плазмы

L, см	I1/I2	Te, К
10	0,895291	7670
20	1,087383	8112
30	1,199467	8355

## 2.2 Определение газовой температуры аргоновой плазмы разряда

Для определения газовой температуры плазмы разряда в плазмообразующий газ добавляют воздух, концентрация которого не должна превышать 5 %. При снятии спектра разряда наблюдается полоса гидроксидов 3064 Å. По относительной интенсивности вращательных переходов этой молекулярной полосы производится оценка газовой температуры. Используются линии колебательной ветви Q<sub>1</sub>, а именно Q<sub>14</sub>, Q<sub>16</sub>, Q<sub>19</sub>, Q<sub>10</sub>, так как данные линии свободны от наложения других линий.

Газовая температура разряда соответствует распределению интенсивностей в молекулярной полосе. Для вращательных термов молекул OH в возбужденном состоянии <sup>2</sup>Σ интенсивности I<sub>n</sub> определяются как:

$$0,095 \lg \frac{I_n}{i} = 0,095 \lg a - K(K + 1) \frac{1}{T} \quad (2.2.1)$$

$$K = 0,1,2, \dots, J = K \pm 1/2$$

где, J – вращательное квантовое число возбужденного состояния, i – фактор интенсивности вращательной линии, a – постоянная величина.

В нашем случае для вычисления газовой температуры удобное принять выражение вида:

$$0,1 \lg \frac{I_n}{i} = 0,1 \lg a - K(K + 1) \frac{1}{T} \quad (2.2.2)$$

Если зависимость  $\lg - f[K(K + 1)]$  представляет собой прямую линию, то система находится в термодинамическом равновесии (больцмановское распределение) и тангенс угла наклона этой линии будет равен 1/T.

Длины волн линий ветви  $Q_1$ , факторы интенсивности  $i$  и квантовые числа  $K$  приведены в таблице 2.2.1 [28].

Таблица 2.2.1 Факторы интенсивностей линий ветви  $Q_1$  полосы ОН  $\lambda$  3064 Å

K	J	K(K+1)	$\lambda$	i	lgi
4	9/2	20	3083,261	2,100	0,323
6	13/2	42	3087,325	3,16	0,5
9	19/2	90	3095,328	4,73	0,672
10	21/2	110	3098,576	5,16	0,714

Результаты измерений газовой температуры [29] при длине канала 30 см и расходе аргона 0,4 м<sup>3</sup>/час приведены на рисунке 2.2.1. На рисунке показано осевое распределение газовой температуры вдоль оси канала факельного разряда.

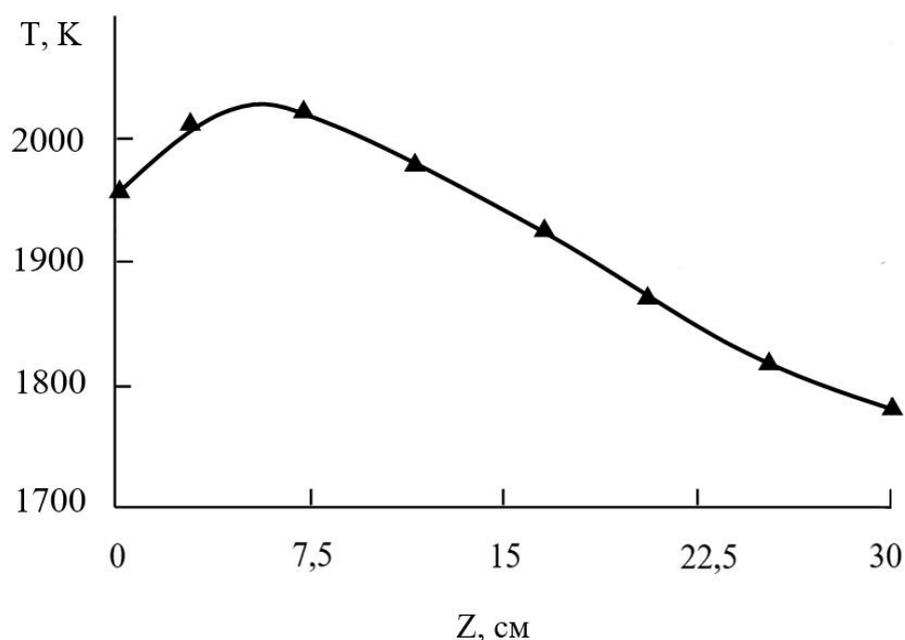


Рис. 2.2.1 – Осевое распределение газовой температуры вдоль оси канала факельного разряда, горящего в аргоне

Как видно из представленного рисунка, диапазон изменения газовой температура вдоль оси разряда составляет от 1790 К до 2050 К, что довольно незначительно. В связи с этим, можно принять, что газовая температура плазмы разряда равна усреднённому значению 1920 К.

В работе [30] также проводилась оценка газовой температуры аргоновой плазмы разряда. Измерения проводились при длине канала 10 см. При этом газовая температура находилась в районе 2000 К, что не сильно отличается от значений, полученных в работе [29] при длине канала 30 см. В связи с этим, можно утверждать, что с увеличением длины канала и соответственно мощности разряда газовая температура меняется незначительно и значение, полученное в работе [29] можно использовать при дальнейших расчетах.

### 2.3 Определение удельной электропроводности плазмы разряда

Для определения удельной электропроводности используются ранее измеренные нами значения газовой и электронной температур. Согласно результатам работы [30] удельная электропроводность определяется с помощью отношения электронной к газовой температуре:

$$\theta = \frac{T_e}{T_r} \quad (2.3.1)$$

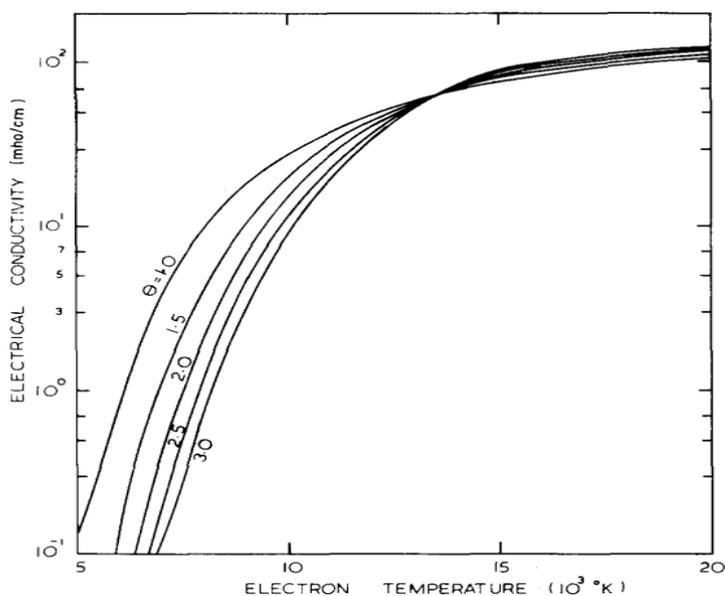


Рис 2.3.1 – Зависимость удельной электропроводности от электронной температуры

После нахождения  $\theta$  определяется кривая (рис 2.3.1) по которой находится значение удельной электропроводности.

В таблице 2.3.1 приведены значения удельной электропроводности для трех длин канала разряда. Видно, что при увеличении длины канала разряда значение удельной электропроводности снижается.

Таблица 2.3.1 Значения величины  $\sigma$

L, см	$\sigma$ , Ом <sup>-1</sup> /м
10	15
20	62
30	65

## 2.4 Определение напряженности электрического поля

Измерения электрического поля проводились емкостными зондами, которые перемещались в радиальном и осевом направлении относительно оси плазмы разряда. На рис. 2.4.1 приведена схема экспериментальной установки.

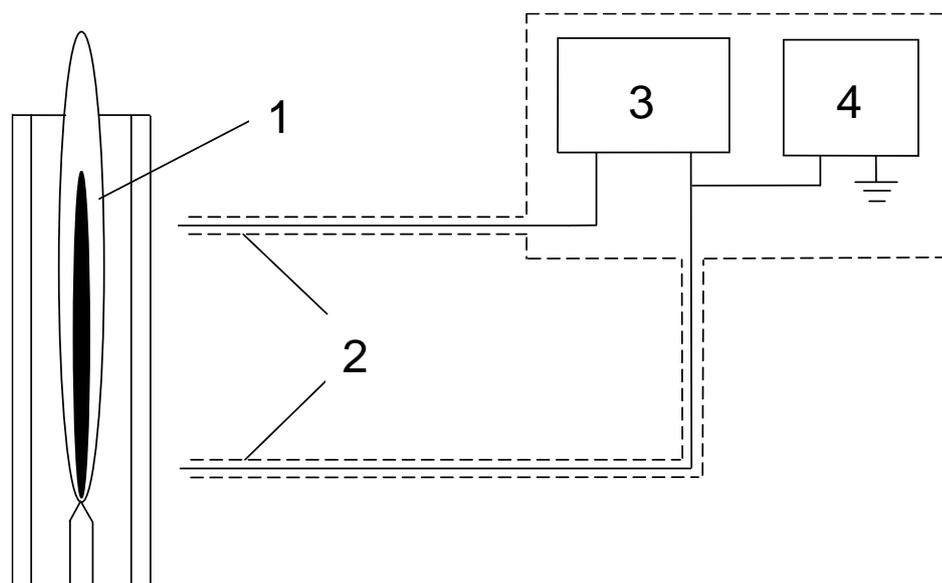


Рис. 2.4.1 – Схема экспериментальной установки: 1 – ВЧ факельный разряд, 2 – емкостной и индуктивные зонды, 3 – измерительный прибор, 4 – генератор опорного сигнала

Для измерения электрической составляющих поля применялся емкостной зонд, представляющий собой медный штырь с длиной 3-5 мм и диаметром 1 мм.

Для определения составляющих магнитного поля применялся индуктивный зонд. Зонд представляет собой одновитковую рамку из нихромового провода, навитую на круглый тефлоновый каркас диаметром пять миллиметров. Сигнал с зондов подавался на вход фазометра или осциллографа в зависимости от измеряемой величины.

Экранирующая поверхность зондов покрывалась ферромагнитным материалом с высоким коэффициентом потерь в используемом диапазоне частот для уменьшения искажений от переотраженного поля.

На рисунках 2.4.2 и 2.4.3 приведены результаты измерений радиального и осевого распределений радиальной компоненты электрического поля разряда при длине канала 30 см. Так как диаметр кварцевой трубки 28 мм, для того, чтобы исключить опасность пробоя разряда на емкостный зонд, измерения проводились, начиная от 20 мм от оси разряда.

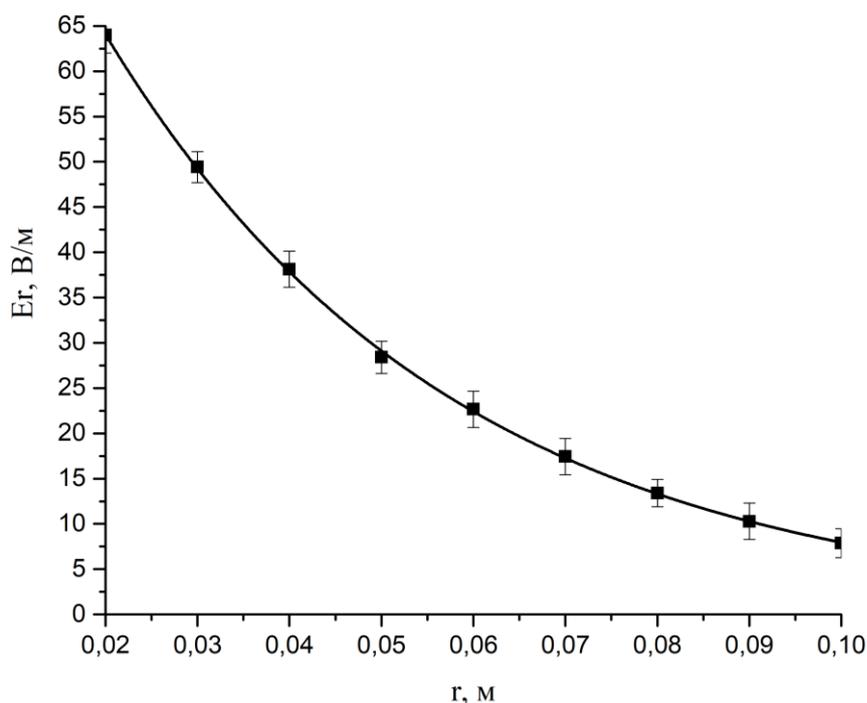


Рисунок 2.4.2 – Радиальное распределение напряженности электрического поля при длине канала 30 см

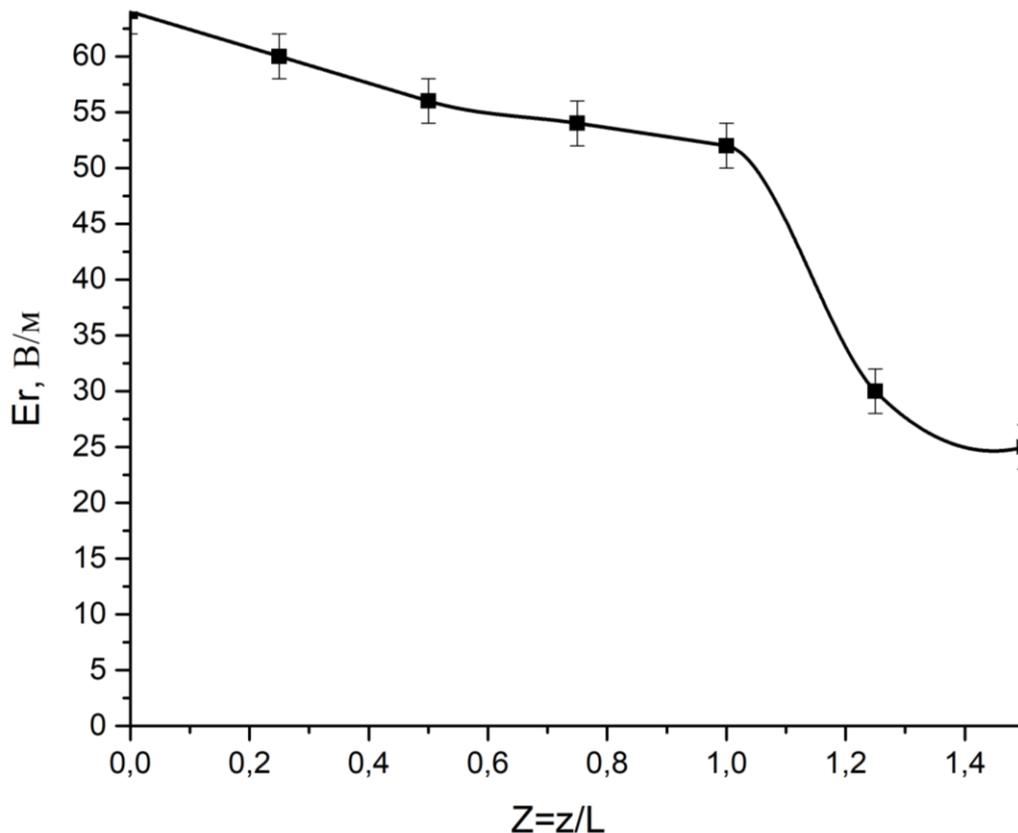


Рисунок 2.4.3 – Осевое распределение напряженности электрического поля при длине канала 30 см

На рисунке 2.4.3 осевая координата представлена в единицах длины канала ВЧФР. Как видно из рисунка, радиальная компонента напряженности электрического поля факельного разряда, горящего в аргоне, затухает вдоль его канала на 20–25%.

Так как электромагнитная волна распространяется вдоль проводящего цилиндра, каким и является канал разряда, то радиальное распределение радиальной компоненты электрического поля  $E_r$  будет определяться функцией Ханкеля 1 – го рода 1 – порядка:

$$E_r = AH_1^{(1)}(\sqrt{k^2 - h^2}r) \quad (2.4.1)$$

$$k^2 \ll h^2$$

Где,  $r$  – радиальная координата;  $A$  - константа;  $k$  – коэффициент распространения электромагнитной волны,  $h$  – волновое число.

$k$  – коэффициент распространения электромагнитной волны, определяющийся по формуле:

$$k = \varepsilon_0 \mu \omega^2 \quad (2.4.2)$$

где,  $\varepsilon_0$  – абсолютная диэлектрическая проницаемость;  $\mu$  – магнитная проницаемость;  $\omega$  – частота электромагнитного поля.

$h$  – волновое число, определяется по формуле:

$$h = \frac{1+i}{a\sqrt{5}} \sqrt{\frac{\omega \varepsilon_0}{\sigma}} \quad (2.4.3)$$

где,  $i$  – мнимая  $a$  – радиус канала;  $\sigma$  – удельная электропроводность единица.

Из рис. 2.4.2 видно, что экспериментальное распределение радиальной компоненты электрического поля и распределение электрического поля, рассчитанного с помощью выражения (2.4.1) незначительно отличаются. В связи с этим значение напряженности в канале разряда можно определить путём экстраполяции экспериментальной кривой величины напряжённости электрического поля (рис. 2.4.2).

Напряженность в канале разряда будет определяться следующим выражением:

$$E_r|_{1mm} = \frac{1}{\zeta} E_r|_{50mm} \quad (2.4.4)$$

$$\text{где } \zeta = \frac{E_r|_{50mm}}{E_r|_{1mm}} = AH_1^{(1)}(\sqrt{k^2 - h^2}0,05) / AH_1^{(1)}(\sqrt{k^2 - h^2}0,001) \quad (2.4.5)$$

Вычислим волновое число  $h$  для разряда с длиной канала 30 см и удельной электропроводностью 65 Ом<sup>-1</sup>/м:

$$h = \frac{1+i}{a\sqrt{5}} \sqrt{\frac{\omega \varepsilon_0}{\sigma}} = \frac{1+i}{10^{-3} \cdot \sqrt{5}} \sqrt{\frac{2 \cdot 3,14 \cdot 37 \cdot 10^6 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}}{65}} \approx (1+i) \cdot 2,5 \text{ м}^{-1}$$

Учитывая, что  $k^2 \ll h^2$  рассчитаем соотношение (2.4.5) в программе MatLab выполнив следующий код:  $z=0,125*(i-1)$ ;  $y=0.0025*(i-1)$ ;  $x=besselh(1,z)$ ;  $r=besselh(1,y)$ ;  $abs(x)/abs(r)$ .

В итоге получим:

$$\zeta = \frac{E_r|_{50mm}}{E_r|_{1mm}} = \frac{AH_1^{(1)}((i-1) * 0,125)}{AH_1^{(1)}((i-1) * 0,0025)} = 0,0198$$

Подставляем полученное выше значение в формулу 2.4.4 и определяем напряженность в канале разряда учитывая, что экспериментальное значение напряженности электрического поля при длине канала 30 см на расстоянии 50 мм составило 28,4 В/м:

$$E_r|_{1mm} = \frac{1}{\zeta} E_r|_{50mm} = \frac{1}{0,0198} \cdot 28,4 \approx 1434 \text{ В/м}$$

### 3 Определение тепловой мощности высокочастотного факельного разряда

#### 3.1 Измерение тепловой мощности методом калориметрирования

Для определения тепловой мощности проводилось суммирование тепловых потерь на электроде разряда, тепловых потерь в разрядной камере и теплового потока разрядной плазмы в осевом направлении.

На рисунке 3.1.1 приведена схема экспериментальной установки.

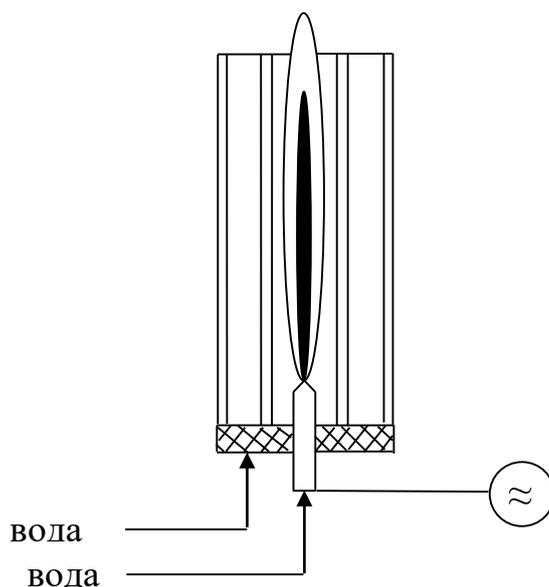


Рис. 3.1.1 – Схема экспериментальной установки

Исследуемый факельный разряд возбуждался в кварцевой трубке диаметром 28 мм и длиной 50 см на частоте 37 МГц. Расход аргона составил 0,4 м<sup>3</sup>/час. Соосно с разрядной камерой была установлена вторая цилиндрическая камера диаметром 50 мм. Промежуток между ними заполнялся водой. Тепловые потери разряда в радиальном направлении оценивались по нагреву воды за определённый промежуток времени.

Таким же образом измерялись тепловые потери на высоковольтном водоохлаждаемом электроде. Температура плазменного потока на выходе из

разрядной камеры определялась с помощью дистанционного инфракрасного термометра при этом значение температуры не превышало 500°C.

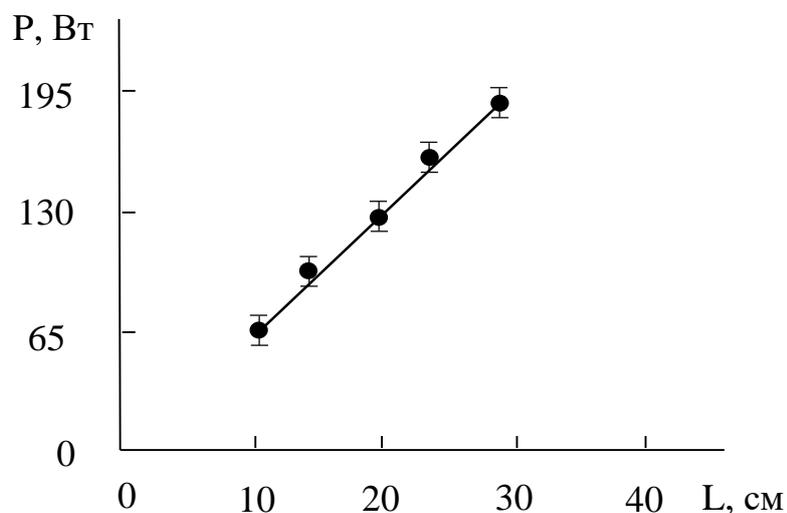


Рис. 3.1.2 – Зависимость тепловой мощности факельного разряда, горящего в аргоне от длины его канала

На рис. 3.1.2 представлены результаты измерений для факельного разряда, горящего в аргоне. Как видно из представленного рисунка тепловая мощность разряда линейно возрастает с увеличением длины канала разряда.

### 3.2 Расчет тепловой мощности

Проведем оценочный расчет тепловыделения факельного разряда, горящего в аргоне с длиной канала 30 см.

Величина джоулевых потерь в плазме разряда определяется с помощью следующего выражения:

$$W = V_{\text{разряда}} \sigma |E|^2 \quad (3.1.1)$$

Где,  $V_{\text{разряда}}$  – объем разряда;  $\sigma$  – удельная электропроводность плазмы разряда;  $|E|$  – действующее значение напряжённости электрического поля.

Из полученных ранее значений электропроводности плазмы разряда и напряженности электрического поля определим величину тепловой мощности для ВЧФР с длиной канал 30 см:

$$W = V_{\text{разряда}} \sigma |E|^2 = 0,3 \cdot 3,14 \cdot 4 \cdot 10^{-6} \cdot 65 \cdot 1434^2 \approx 126 \text{ Вт}$$

Определим удельную мощность:

$$w = \frac{W}{L} = \frac{126}{30} \approx 4,2 \text{ Вт/см}$$

Для других длин канала разряда расчет проводился аналогично. Полученная расчетная кривая тепловой мощности в зависимости от длины канала представлена на рис. 3.2.1.

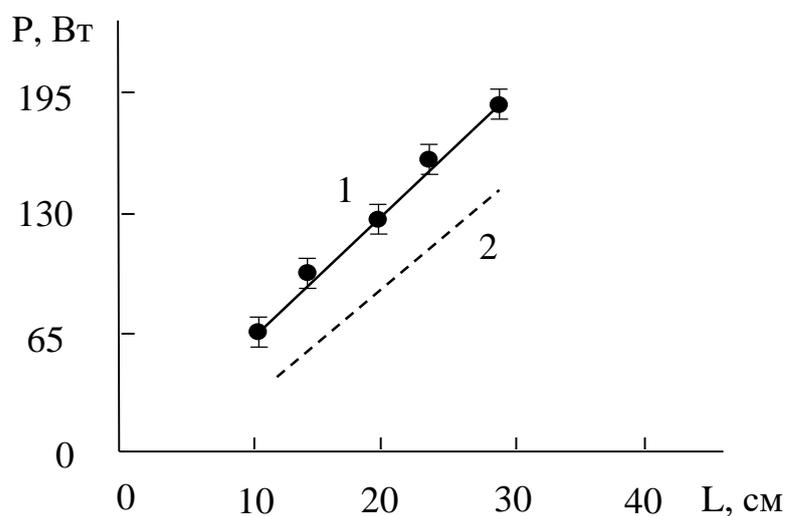


Рис. 3.2.1 – Зависимость тепловой мощности факельного разряда, горящего в аргоне от длины его канала. 1 – экспериментальная кривая; 2 – расчетная кривая

Как видно из представленного рисунка для расчетной кривой также наблюдается линейная зависимость тепловой мощности факельного разряда, горящего в аргоне от длины его канала.

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

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

Необходимо понимать, что коммерческая привлекательность научного исследования определяется не только превышением технических параметров над предыдущими разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сумеет найти ответы на такие вопросы – будет ли продукт востребован рынком, какова будет его цена, каков бюджет научного проекта, какой срок потребуется для выхода на рынок и т.д.

Целью данного раздела является определение экономической целесообразности исследования электрофизических свойств высокочастотного факельного разряда, горящего в аргоне.

В данном разделе необходимо решить следующие задачи:

- Провести SWOT-анализ;
- Выполнить планирование научно-исследовательской работы;
- Провести расчёт бюджета научно-исследовательской работы;
- Провести расчёт и оценку сравнительной финансовой эффективности

исследования.

#### 4.1 Потенциальные потребители результатов исследования

В данной научно-исследовательской работе изучаются электрофизические особенности высокочастотного факельного разряда, горящего в аргоне.

К целевым сегментам рынка данных исследований можно отнести металлургические предприятия, предприятия микроэлектронной промышленности, а также государственную корпорацию по атомной энергии «Росатом».

#### 4.2 Анализ конкурентных технических решений

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

Оценочная карта анализа представлена в таблице 4.2.1. Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1. Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot \text{Б}_i, \quad (4.2.1)$$

где  $K$  – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

$B_i$  – вес показателя (в долях единицы);

$\text{Б}_i$  – балл  $i$ -го показателя.

$\text{Б}_\phi$  – продукт, который является результатом данной работы,  $\text{Б}_{K1}$  и  $\text{Б}_{K2}$

– конкурентные разработки

Таблица 4.2.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
1. Помехоустойчивость	0,1	5	4	3	0,5	0,4	0,3
2. Экологичность	0,18	5	3	3	0,9	0,54	0,54
3. Надежность	0,05	5	4	3	0,25	0,2	0,15
4. Простота эксплуатации	0,1	5	3	3	0,5	0,3	0,3
5. Экономичность	0,09	5	3	3	0,45	0,27	0,27
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
1. Конкурентоспособность продукта	0,07	5	4	3	0,35	0,28	0,21
2. Уровень проникновения на рынок	0,07	4	5	5	0,28	0,35	0,35
3. Цена	0,07	5	4	4	0,35	0,28	0,28
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,08	5	5	5	0,4	0,4	0,4
5. Послепродажное обслуживание	0,06	5	3	2	0,3	0,18	0,12
6. Финансирование научной разработки	0,03	4	5	4	0,12	0,15	0,12
7. Срок выхода на рынок	0,04	5	4	4	0,2	1,16	0,16

8.Наличие сертификации разработки	0,06	4	5	4	0,24	0,3	0,24
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>62</b>	<b>52</b>	<b>46</b>	<b>4,84</b>	<b>3,81</b>	<b>3,44</b>

Проводимые в работе исследования электрофизических особенностей высокочастотного факельного разряда, горящего в аргоне, являются оптимальными для использования в практических целях.

### 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.

Он проводится в несколько этапов.

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

Результаты первого этапа SWOT-анализа представлены в таблице 4.3.1.

Таблица 4.3.1 – Матрица SWOT

	<b>Сильные стороны</b> <b>научно-исследовательского проекта:</b> С1. Низкая себестоимость атомарного газа-аргона	<b>Слабые стороны</b> <b>научно-исследовательского проекта:</b> Сл1.Неизученность метода и сложности в его развитии
--	--	---

	<p>С2. Экономичное использование электроэнергии.</p> <p>С3. Компактность установки</p> <p>С4. Простота монтажа установки и эксплуатация.</p>	<p>Сл2. Низкая актуальность исследований</p>
<p><b>Возможности:</b></p> <p>В1. Проведение дальнейших исследований и открытие новых перспектив</p> <p>В2. Усовершенствование установки</p> <p>В3. Сотрудничество с научными исследовательскими центрами</p>		
<p><b>Угрозы:</b></p> <p>У1. Появление более актуальных методик</p> <p>У2. Малый спрос на установку.</p>		

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

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений. Пример интерактивной матрицы проекта представлен в таблице 4.3.2.

Таблица 4.3.2 – Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта					
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4
	B1	+	+	+	+
	B2	-	+	+	+
	B3	-	-	-	-

Слабые стороны проекта			
Возможности проекта		Сл.1	Сл.2
	B1	-	-
	B2	-	-
	B3	-	-

Сильные стороны проекта					
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4
	У1	-	-	-	-
	У2	-	-	-	-

Слабые стороны проекта			
Угрозы проекта		Сл.1	Сл.2
	У1	+	+
	У2	-	-

Анализ интерактивных таблиц представляется в форме записи сильно коррелирующих сильных сторон и возможностей, или слабых сторон и возможностей и т.д. Каждая из записей представляет собой направление реализации проекта.

В рамках третьего этапа должна быть составлена итоговая матрица SWOT-анализа, которая приводится в бакалаврской работе (таблица 4.3.3).

Таблица 4.3.3 – Итоговая матрица SWOT – анализа

	<b>Сильные стороны</b>	<b>Слабые стороны</b>
	<b>научно-исследовательского проекта:</b> С1. Низкая себестоимость атомарного газа-аргона С2. Экономичное использование электроэнергии. С3. Компактность установки С4. Простота монтажа установки и эксплуатация.	<b>научно-исследовательского проекта:</b> Сл1. Неизученность метода и сложности в его развитии Сл2. Низкая актуальность исследований
<b>Возможности:</b> В1. Проведение дальнейших исследований и открытие новых перспектив	Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и возможности»: Проведению дальнейших исследований и	Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и возможности»: В свою очередь не изученность метода, а также низкая актуальность может

<p>В2. Усовершенствование установки</p> <p>В3. Сотрудничество с научными исследовательскими центрами</p>	<p>открытию новых перспектив, усовершенствованию установки и сотрудничеству с научными исследовательскими центрами могут поспособствовать выше перечисленные сильные стороны НИП, такие как дешевизна, простота и компактность.</p>	<p>внести много трудностей при работе с установкой и разработке новых проектов.</p>
<p><b>Угрозы:</b></p> <p>У1. Появление более актуальных методик</p> <p>У2. Малый спрос на установку.</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и угрозы»</p> <p>Угрозы слабо влияют на сильные стороны проекта, так как присутствует возможность ее усовершенствования и проведения новых опытов.</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и угрозы»:</p> <p>могут отрицательно сказаться на реализации данной установки в научно-исследовательской деятельности, так как малый спрос и появление более актуальных методик могут сыграть свою роль.</p>

Из таблицы SWOT-анализа можно выделить, что исследования, проводимые в работе, могут столкнуться с проблемами реализации данной установки в научно-исследовательской деятельности, так как малый спрос и появление более актуальных методик могут сыграть свою роль. С другой стороны, проведению дальнейших исследований и открытию новых перспектив, усовершенствованию установки и сотрудничеству с научными исследовательскими центрами могут поспособствовать выше перечисленные сильные стороны, такие как дешевизна, простота и компактность.

#### 4.4 Планирование научно-исследовательских работ

В данном разделе необходимо составить перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, провести распределение исполнителей по видам работ. Примерный порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 4.4.1

Таблица 4.4.1 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб.	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение темы дипломной работы	Руководитель
	2	Анализ актуальности темы	Руководитель, студент
Выбор направления исследований	3	Поиск и изучение материала по теме	Руководитель, студент
	4	Выбор направления исследования	Руководитель
	5	Календарное планирование работ	Руководитель
	6	Подбор нормативных документов	Руководитель, студент

	7	Изучение экспериментальной методики	Студент
Теоретические и экспериментальные исследования	8	Исследование механизмов образования кратеров на поверхности стали при лазерном воздействии	Руководитель, студент
Обобщение и оценка результатов	9	Анализ результатов	Руководитель, студент
	10	Заключение	Студент
	11	Оформление пояснительной записки к ВКР	Студент
	12	Подготовка к защите ВКР	Студент

#### 4.4.1 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.

$$t_{ожi} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (4.4.1.1)$$

где  $t_{ожi}$  – 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.

$$T_{Pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}, \quad (4.4.1.2)$$

где  $T_{Pi}$  – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожi}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

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

#### 4.4.2 Разработка графика проведения научного исследования

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

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (4.4.2.1)$$

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

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

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (4.4.2.2)$$

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

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

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

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

Все рассчитанные значения необходимо свести в таблицу (таблица 4.4.2.1).

Таблица 4.4.2.1. – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работ			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$	Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$
	$t_{min}$ , чел-дни	$t_{max}$ , чел-дни	$t_{ож}$ , чел-дни			
Составление и утверждение темы дипломной работы	3	8	5	Р	5	8

Анализ актуальности темы	2	6	3,6	Р, С	1,8	3
Поиск и изучение материала по теме	5	9	6,6	Р, С	3,3	5
Выбор направления исследования	4	6	4,8	Р	4,8	8
Календарное планирование работ	2	2	2	Р	2	3
Подбор нормативных документов	5	9	6,6	Р, С	3,3	5
Изучение экспериментальной методики	6	13	8,8	С	8,8	13
Проведение исследований	9	25	15,4	Р, С	7,7	12
Анализ результатов	4	14	8	Р, С	4	6
Заключение	5	13	8,2	С	8,2	13
Оформление пояснительной записки к ВКР	7	21	12,6	С	12,6	19
Подготовка к защите ВКР	7	14	9,8	С	9,8	15
Итого:			91,4		72 Р/С37/66	110 Р/С57/102

Диаграмма Гантта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ. Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни, все значения занесены в таблицу 4.4.4.2..

Таблица 4.4.4.2 – Календарный план-график проведения ВКР по теме

№ работ	Вид работ	Исполнители	$T_{ki}$ кал. дн.	Продолжительность выполнения работ													
				февр.		март			апрель			май			июнь		
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1	Составление и утверждение темы дипломной работы	Р	8	■													
2	Анализ актуальности темы	Р, С	3		■												
3	Поиск и изучение материала по теме	Р, С	5		■	■											
4	Выбор направления исследования	Р	8			■	■										
5	Календарное планирование работ	Р	3				■										
6	Подбор нормативных документов	Р, С	5				■	■									
7	Изучение экспериментальной методики	С	13					■	■	■							
8	Проведение исследований	Р, С	12							■	■	■					
9	Анализ результатов	Р, С	6									■	■				
10	Заключение	С	13										■	■	■		
11	Оформление пояснительной записки к ВКР	С	19											■	■	■	■
12	Подготовка к защите ВКР	С	15													■	■

■ – студент    ▨ –руководитель

## 4.5 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

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

- материальные затраты НТИ;
  - затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
  - основная заработная плата исполнителей темы;
  - дополнительная заработная плата исполнителей темы;
  - отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы

### 4.5.1 Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты

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.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$C_M = (1 + k_T) \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{\text{расх}i}, \quad (4.5.1.1)$$

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

$N_{\text{расх}i}$  – количество материальных ресурсов  $i$ -ого вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м<sup>2</sup> и т.д.);

$C_i$  – цена приобретения единицы  $i$ -ого вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м<sup>2</sup> и т.д.);

$k_T$  – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы, принимаются в пределах 15-25 % от стоимости материалов. Примем  $k_T$  равным 0,2.

Расчет стоимости материальных затрат производится по действующим прейскурантам или договорным ценам. В стоимость материальных затрат включают транспортно-заготовительные расходы (3 – 5 % от цены). В эту же статью включаются затраты на оформление документации (канцелярские принадлежности, тиражирование материалов). Результаты по данной статье заносятся в таблицу 4.5.1.1.

Таблица 4.5.1.1 – Материальные затраты

Наименование	Количество, шт.	Цена за ед., руб.	$C_m$ , руб.
Шариковая ручка	1	40	48
Тетрадь формата А4	1	300	360
Итого:			408

На статью "Спецоборудование" для разработки и экспериментальных работ относятся затраты на приобретение, изготовление, аренду или амортизационные отчисления специальных приборов, устройств и т.д. При выполнении данной работы всё используемое оборудование собственное.

Сумма амортизационных отчислений рассчитывается по следующей формуле:

$$C_a = \sum_i^n \frac{C_{бал} \cdot H_a \cdot g_i \cdot t}{\Phi_{эф}} \quad (4.5.1.2)$$

где  $C_{бал}$  – стоимость  $i$ -го вида оборудования, руб;

$H_a$  – норма годовых амортизационных отчислений;

$g_i$  – количество единиц  $i$ -го вида оборудования;

$t$  – время работы  $i$ -го вида оборудования;

$\Phi_{эф}$  – эффективный фонд времени работы оборудования.

Эффективный фонд рабочего времени  $\Phi_{эф}$  рассчитывается по следующей формуле:

$$\Phi_{эф} = (\Phi_{кал} - \Phi_{пр,вых}) \cdot k_{см} \cdot k_{нп} \quad (4.5.1.3)$$

где  $\Phi_{кал}$ – количество календарных дней в году, дни;

$\Phi_{пр,вых}$ – количество праздничных и выходных дней в году, дни;

$k_{см}$ – коэффициент сменности (в данном случае  $k_{см}=1$ );

$k_{н.п.}$ – коэффициент неучтённых потерь ( $k_{н.п.}=20-30\%$ ).

Эффективный фонд рабочего времени составляет 250 дней.

Таблица 4.5.1.2 – Расчёт затрат по статье "Спецоборудование"

Наименование оборудования	Стоимость оборудования, руб.	Норма Амортизации, %	Время использованная, час	Сумма амортизационных отчислений, руб.
Компьютер	20000	25	300	250
Баллон с Аргонном	3900	22	15	2
Осциллограф универсальный С1-68	39425	17	30	34
Спектрометр	98994	20	50	165
Итого по статье $C_a$				451

Затраты на потребляемую электроэнергию рассчитываются по следующей формуле:

$$C_{эл} = W_y \cdot T_g \cdot S_{эл} \quad (4.5.1.4)$$

где  $W_y$ – установленная мощность, кВт;

$T_g$ – время работы оборудования, час;

$S_{эл}$ – тариф на электроэнергию.

Тариф в 2020 в Томской области на электроэнергию составляет – 2,28 руб/кВт·час. Расчёт затрат на потребляемую электроэнергию представлен в таблице 4.5.1.2

Таблица 4.5.1.2– Расчёт затрат на потребляемую электроэнергию

Наименование оборудования	Мощность прибора, кВт	Продолжительность работы, час	Сумма, руб.
Компьютер	0,3	280	191,52
Лампа дневного освещения (8шт.)	0,4	500	456
Осциллограф	0,2	30	13,68
Спектрометр	0,2	50	22,8
Итого по статье С <sub>3</sub>			684

#### 4.5.2 Основная заработная плата исполнителей темы

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

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп} \quad (4.5.2.1)$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата, руб.;

$Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата, руб.

Основную заработную плату руководителя НИР можно рассчитать по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} * T_{раб} \quad (4.5.2.2)$$

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

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

Для руководителя:  $Z_{\text{осн}} = 1688,75 \times 28 = 47285$  рублей

Для инженера:  $Z_{\text{осн}} = 910,29 \times 96 = 87387,84$  рублей

Среднедневная заработная плата работника рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} \quad (3.12)$$

где  $Z_{\text{м}}$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года, дн.

$F_{\text{д}}$  – расчетный годовой фонд рабочего времени персонала (в рабочих днях).

Количество месяцев работы без отпуска в течение года при отпуске в 56 дней составляет  $M = 10,2$  месяца. Тогда,

для руководителя:  $Z_{\text{дн}} = \frac{32313,72 \cdot 10,4}{199} = 1688,75$  рублей

для инженера:  $Z_{\text{дн}} = \frac{17418,24 \cdot 10,4}{199} = 910,29$  рублей

Таблица 4.5.2.1 – Расчетный годовой фонд рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	366	366
Количество нерабочих дней		
-выходные дни	104	104
-праздничные дни	14	14
Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Потери рабочего времени: - отпуск	48	48
- невыходы по болезни	–	–
Действительный годовой фонд рабочего времени	199	199

Месячный должностной оклад работника рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{тс}} + (K_{\text{пр}}) \cdot K_{\text{р}}, \quad (4.5.2.3)$$

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

$K_{пр}$  – премиальный коэффициент (индивидуально стимулирующая добавка(ИСН)), равный 20% от  $Z_{тс}$ ;

$K_p$  – районный коэффициент, равный 1,3 для Томска;

Заработная плата  $Z_{тс}$  по тарифной ставке (оклад) доцента, кандидата наук – 23264,86 руб., ассистента - 13824 руб., согласно «Положению об оплате труда» ТПУ

Работникам, имеющим ученую степень устанавливается ежемесячная доплата: кандидату наук – 7 000 рублей, учтем это при расчете  $Z_m$ .

$$Z_m = 23264,86 + (4652,97) * 1,3 + 3000 = 32313,72 \text{ руб.}$$

$$Z_m = 13824 + (2764,8) * 1,3 = 17418,24 \text{ руб.}$$

Результаты расчета основной заработной платы представлены в таблице 4.5.2.2.

Таблица 4.5.2.2 – Результаты расчета основной заработной платы

Исполнители	$Z_{тс}$ , руб.	$K_{пр}$	$K_p$	$Z_m$ , руб	$Z_{дн}$ , руб.	$T_{раб}$ раб. дн.	$Z_{осн}$ , руб.
Руководитель	23264,86	4652,97	1,3	32313,72	1688,75	28	47285
Инженер	13824	2764,8	1,3	17418,24	910,29	96	87387,84
Итого $Z_{осн}$							134672,84

Дополнительная заработная плата включает оплату за непроработанное время (очередной и учебный отпуск, выполнение государственных обязанностей, выплата вознаграждений за выслугу лет и т.п.) и рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$Z_{доп} = Z_{осн} * K_{доп}, \quad (4.5.2.4)$$

где  $Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата, руб.;

$K_{доп}$  – коэффициент дополнительной зарплаты;

$Z_{осн}$  – основная заработная плата, руб.

Для руководителя:  $Z_{доп} = 47285 * 0,1 = 4728,5$  рублей

Для инженера:  $Z_{доп} = 87387,84 * 0,1 = 8738,784$  рублей

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

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot Z_{\text{общ}}, \quad (4.5.3.1)$$

$$C_{\text{внеб}} = 0,302 \cdot 134672,84 = 40671,198 \text{ руб.}$$

где  $k_{\text{внеб}} = 30,2\%$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

### 4.5.4 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д.

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

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (4.5.4.1)$$

где  $k_{\text{накл}}$  – коэффициент накладных расходов;

$$C_{\text{накл}} = 0,8 \cdot 148140,124 = 118512,1 \text{ руб.}$$

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

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в табл. 4.5.5.1

Таблица 4.5.5.1 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	Примечание
1. Материальные затраты НИИ	408	пункт 4.5.1
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	451	
Затраты на потребляемую электроэнергию	684	
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	134672,84	пункт 4.5.2
4. Отчисления во внебюджетные фонды	40671.198	пункт 4.5.3
5. Накладные расходы	118512,1	пункт 4.5.4
6. Бюджет затрат НИИ	295399,14	пункт 4.5.5

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

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

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

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{ипс.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (4.6.1)$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{ипс.}i} = \frac{295399,14}{295399,14} = 1,$$

где  $I_{\text{финр}}^{\text{ипс.}i}$  – интегральный финансовый показатель разработки;

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

$\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость исполнения научно- исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в разгах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в разгах (значение меньше единицы, но больше нуля).

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

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (4.6.2)$$

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

$a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$b_i^a, b_i^p$  – бальная оценка  $i$ -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

$n$  – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы (табл. 4.6.1).

Таблица 4.6.1 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп. 1
1. Производительность	0,3	5
2. Энергосбережение	0,4	5
3. Надежность	0,2	4
4. Материалоемкость	0,1	4
ИТОГО	1	

$$I_{p-исп1} = 5 \cdot 0,3 + 5 \cdot 0,4 + 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,1 = 4,7. \quad (4.6.3)$$

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод, что научно-техническое исследование будет ресурсоэффективно при первом варианте исполнения проекта, т.е. при высокой производительности и энергоэффективности проекта.

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ( $I_{исп i}$ ) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр.1}}, I_{исп.2} = \frac{I_{p-исп2}}{I_{финр.2}} \text{ и т. д.} \quad (4.6.4)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность

проекта (см. табл. 4.6.2) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ( $\mathcal{E}_{\text{ср}}$ ):

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{исп1}}}{I_{\text{исп2}}} \quad (4.6.5)$$

Таблица 4.6.2 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,7
2	Интегральный показатель эффективности	0,21

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет понять и выбрать более эффективный вариант решения поставленной в бакалаврской работе технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

## Выводы по разделу

1. Оценочная карта сравнения технических решений конкурентов показала, что проводимые в работе исследования электрофизических особенностей высокочастотного факельного разряда, горящего в аргоне, являются оптимальными для использования в практических целях.

2. В ходе планирования научно-исследовательских работ определён перечень работ, выполняемый рабочей группой. В данном случае рабочая группа состоит из двух человек: руководитель и студент. Согласно составленному плану работ длительность трудовой занятости в рабочих днях сотрудников исследовательского проекта составила 110 дней (91 дней – занятость студента, 50 дней – длительность работы руководителя). На основе временных показателей по каждой из произведенных работ был построен календарный план-график, построенный на основе диаграммы Гантта, по которому можно увидеть, что самая продолжительная по времени работа – это оформление пояснительной записки к ВКР.

3. Бюджет научно-технического исследования составил 295399,14 руб. Бюджет НТИ состоит из материальных затрат (408,5 руб.), затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ (451 руб.), затрат на потребляемую электроэнергию (684 руб.), затрат на оплаты труда (134672,84 руб.), отчислений во внебюджетные фонды (40671,198 руб.) и накладных расходов (118512,1 руб.).

4. Проведена оценка результатов ресурсоэффективности, которая составила 4,7 из 5, что говорит о хорошей эффективности реализации технического проекта.

6. Капиталовложения в размере 295399,14 руб. позволят провести исследования электрофизических особенностей высокочастотного факельного разряда. Полученные результаты могут быть применены в отраслях промышленности использующих плазмохимические процессы, например, для нанесения покрытий из чистых металлов.

## **5 Социальная ответственность**

### **Введение**

В данной научно-исследовательской работе изучаются электрофизические особенности высокочастотного факельного разряда, горящего в аргоне. Низкотемпературная плазма используется для получения новых материалов, а также для обработки и модификации поверхностей уже имеющихся материалов: нанесения плазменных покрытий, проведения ионной имплантации и т. д.

К основным потребителям результатов данных исследований можно отнести металлургические предприятия, предприятия микроэлектронной промышленности, а также государственную корпорацию по атомной энергии «Росатом».

Исследования проводились в лабораторных условиях с помощью высокочастотной плазмохимической установки мощностью около 1 кВт.

Целью данного раздела является анализ соблюдения санитарных норм и правил в процессе работы над проектом в лабораторных условиях с использованием плазменных установок. Рассматриваются меры по защите сотрудника от негативного воздействия среды. Исследуются вредные и опасные факторы, пагубно влияющие на здоровье человека при работе с плазменными установками. Изучаются способы снижения воздействия вредных факторов до допустимых пределов. А также, рассматриваются возможные чрезвычайные ситуации и действия, которые научный сотрудник должен выполнить в случае возникновения ЧС.

## **5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

В условиях данной научной-исследовательской работы предусматривается режим гибкого рабочего времени. Согласно статье 102 ТК РФ при работе в данном режиме начало, окончание или общая продолжительность рабочего дня определяется по соглашению сторон.

В соответствии со ст. 37 Конституции РФ сотрудник имеет право на то, чтобы рабочее место соответствовало требованиям охраны труда.

Рабочей зоной является учебно-научная лаборатория с площадью 31,2 м<sup>2</sup>. Максимальное количество рабочих мест – 4.

В соответствии с ГОСТ 12.2.049-80 (ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования):

– уровни физических, химических и биологических опасных и вредных производственных факторов, генерируемых производственным оборудованием в рабочую зону, а также воздействующих на работающего при непосредственном контакте с элементами конструкции, должны соответствовать требованиям безопасности, установленным нормативно-технической документацией, утвержденной в установленном порядке.

– рабочее место должно обеспечивать возможность удобного выполнения работ в положении сидя или стоя или в положениях и сидя, и стоя.

Общие требования для работы с плазмохимическим реактором устанавливаются ГОСТ ИЕС 60519-1-2011 (Безопасность электротермического оборудования. Часть 1.):

– Все элементы электротермического оборудования должны быть спроектированы, сконструированы и установлены с учетом используемых напряжений и частот (включая постоянный ток), исходя из условий эксплуатации, требований соответствующих стандартов и инструкций. Оборудование не должно использоваться в условиях, отличающихся от тех, для которых оно разработано.

– Электрооборудование должно быть спроектировано и сконструировано таким образом, чтобы в нормальных условиях работы были обеспечены безопасность персонала и условия, предотвращающие риск возникновения пожара и взрыва.

## 5.2 Производственная безопасность

### 5.2.1. Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований.

Объектом исследования является высокочастотный факельный разряд, который образуется только в процессе проведения исследований.

Производственные условия на рабочем месте характеризуются наличием опасных и вредных факторов, которые классифицируются по группам элементов: физические, химические, биологические, психофизиологические. Основные элементы производственного процесса представлены в таблице 5.2.1.1.

Таблица 5.2.1.1 Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы

Факторы	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1. Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
2. Повышенный уровень электромагнитного излучения	–	–	+	ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Общие требования безопасности.
3. Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	+	СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий.

4. Превышение уровня шума	+	+	+	СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки
5. Психофизиологические факторы	–	+	+	СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03. «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы».
6. Поражение электрическим током	+	+	+	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.

К психологически вредным факторам, воздействующим на персонал, можно отнести:

- нервно - эмоциональные перегрузки;
- умственное напряжение;
- физические перегрузки.

Биологические и химические вредные производственные факторы отсутствуют.

## **5.2.2 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов**

В соответствии с основными требованиями к помещениям для эксплуатации ПЭВМ и ВЧФ-плазматрона (СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03) они должны иметь естественное и искусственное освещение. Площадь на одно рабочее место пользователей ПЭВМ должна составлять не менее 6 м<sup>2</sup>.

### **5.2.2.1 Отклонение показателей микроклимата**

Воздух рабочей зоны (микроклимат) производственных помещений определяют следующие параметры: температура, относительная влажность, скорость движения воздуха. Оптимальные и допустимые значения характеристик микроклимата устанавливаются в соответствии с нормами и приведены в таблице 3.

Таблица 5.2.2.1.1 Оптимальные и допустимые параметры микроклимата

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

Отклонение показателей микроклимата от нормы не вызывает повреждений или нарушений состояния здоровья, но может приводить к возникновению общих и локальных ощущений теплового дискомфорта, напряжению механизмов терморегуляции, ухудшению самочувствия и понижению работоспособности.

Для обеспечения установленных норм микроклиматических параметров и чистоты воздуха на рабочих местах и в помещениях применяют вентиляцию. Общеобменная вентиляция используется для обеспечения в помещениях соответствующего микроклимата. Периодически должен вестись контроль влажностью воздуха. В летнее время при высокой уличной температуре должны использоваться системы кондиционирования.

### 5.2.2.2 Повышенный уровень электромагнитного излучения

Электромагнитное излучение - распространяющееся в пространстве возмущение (изменение состояния) электромагнитного поля. ВЧФ-плазматрон питается от генератора высокочастотного тока. Генератор полностью экранирован. Предельно допустимая величина электромагнитного воздействия от установки на человека составляет менее 0,2 мкТл. Это значение входит в допустимый порог строгих санитарных норм электромагнитного излучения.

Экран и системные блоки ЭВМ производят электромагнитное излучение. Основная его часть происходит от системного блока и видеокабеля. Напряженность электромагнитного поля на расстоянии 50 см вокруг экрана по электрической составляющей должна соответствовать таблице 5.2.2.2.1.

Повышенный уровень электромагнитного излучения может негативно влиять на организм человека, а именно приводить к нервным расстройствам, нарушению сна, значительному ухудшению зрительной активности, ослаблению иммунной системы, расстройствам сердечно-сосудистой системы.

Таблица 5.2.2.2.1. Допустимые уровни параметров электромагнитного поля

Наименование параметров		Величина допустимого уровня
Напряженность электромагнитного поля	Диапазон частот 5 Гц – 2 кГц	25 В/м
	Диапазон частот 2 кГц – 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	Диапазон частот 5 Гц – 2 кГц	250 нТл
	Диапазон частот 2 кГц – 400 кГц	25 нТл

Существуют следующие способы защиты от ЭМП:

- увеличение расстояния от источника (экран должен находиться на расстоянии не менее 50 см от пользователя);
- применение приэкранных фильтров, специальных экранов и других средств индивидуальной защиты.

### 5.2.2.3 Недостаточная освещенность рабочей зоны

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

По нормативам (СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий) освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 300-500 лк. Освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана. Освещенность поверхности экрана не должна быть более 300 лк.

Яркость светильников общего освещения в зоне углов излучения от 50 до 90° с вертикалью в продольной и поперечной плоскостях должна составлять не более 200 кд/м, защитный угол светильников должен быть не менее 40°. Коэффициент запаса (Кз) для осветительных установок общего освещения должен приниматься равным 1,4. Коэффициент пульсации не должен превышать 5%.

Искусственное освещение в помещениях для эксплуатации ПЭВМ должно осуществляться:

- системой общего равномерного освещения. В производственных и административно-общественных;
- помещениях, в случаях преимущественной работы с документами, следует применять системы;
- комбинированного освещения (к общему освещению дополнительно устанавливаются светильники;
- местного освещения, предназначенные для освещения зоны расположения документов).

#### **5.2.2.4 Превышение уровня шума**

Шум, являясь общебиологическим раздражителем, оказывает влияние не только на слуховой анализатор, но действует на структуры головного мозга, вызывая сдвиги в различных функциональных системах организма. Среди многочисленных проявлений неблагоприятного воздействия шума на организм человека выделяются: снижение разборчивости речи, неприятные

ощущения, развитие утомления и снижение производительности труда, появление шумовой патологии. В нашем случае источником шума является откачивающий компрессор. Уровень шума компрессора менее 65 дБ, что соответствует санитарным нормам.

В таблице 5.2.2.4.1 приведены нормы уровня шума при различных видах работ.

Таблица 5.2.2.4.1. Нормативы уровня шума при различных видах работ

	Максимально допустимый уровень шума (дБ), в полосах следующих октав (Гц)									Эквивалентные уровни шума, дБА
	86	71	61	54	49	45	42	40	38	
Научная работа, расчеты, конструирование										50
Офисы, лаборатории	93	79	70	68	58	55	52	52	49	60

### 5.2.2.5 Психофизиологические факторы

Психофизиологические опасные и вредные производственные факторы, делятся на: физические перегрузки (статические, динамические) и нервно-психические перегрузки (умственное перенапряжение, монотонность труда, эмоциональные перегрузки).

Трудовая деятельность работников непромышленной сферы относится к категории работ, связанных с использованием больших объемов информации, с применением компьютеризированных рабочих мест, с частым принятием ответственных решений в условиях дефицита времени, непосредственным контактом с людьми разных типов темперамента и т.д. Это обуславливает высокий уровень нервно-психической перегрузки, снижает функциональную активность центральной нервной системы, приводит к расстройствам в ее деятельности, развития утомления, переутомления, стрессу.

Наиболее эффективные средства предупреждения утомления при работе на производстве – это средства, нормализующие активную трудовую

деятельность человека. На фоне нормального протекания производственных процессов одним из важных физиологических мероприятий против утомления является правильный режим труда и отдыха (СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03. «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы»).

### **5.2.2.6 Поражение электрическим током**

Помещение для проведения опытов по опасности поражения электрическим током можно отнести ко 2 классу, т.е. это помещение без повышенной опасности из-за возможности одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землей металлоконструкциям зданий, технологическим аппаратам, механизмам и т.п., с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования - с другой.

Существует опасность электропоражения в следующих случаях:

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

Степень опасного воздействия электрического тока на организм человека зависит от:

- рода и величины напряжения и тока;
- частоты электрического тока;
- пути прохождения тока через тело человека;
- продолжительности воздействия на организм человека;

- условий внешней среды.

Электрический ток оказывает на человека термическое, электролитическое, механическое и биологическое воздействие.

Термическое воздействие тока проявляется в ожогах, нагреве кровеносных сосудов и других органов, в результате чего в них возникают функциональные расстройства.

Электролитическое действие тока характеризуется разложением крови и других органических жидкостей, что вызывает нарушения их физико-химического состава.

Механическое действие тока проявляется в повреждениях (разрыве, расслоении и др.) различных тканей организма в результате электродинамического эффекта.

Биологическое действие тока на живую ткань выражается в опасном возбуждении клеток и тканей организма, сопровождающемся произвольными судорожными сокращениями мышц. В результате такого возбуждения может возникнуть нарушение и даже полное прекращение деятельности органов дыхания и кровообращения.

Основными мероприятиями по защите от поражения электрическим током являются:

- обеспечение недоступности токоведущих частей путём использования изоляции в корпусах оборудования;
- применение средств коллективной защиты от поражения электрическим током;
- использование защитного заземления, защитного зануления, защитного отключения (ГОСТ Р 12.1.019-2017);
- использование устройств бесперебойного питания.

### **5.3 Экологическая безопасность**

В работе проводится изучение процесса горения высокочастотного факельного разряда в аргоне. Влияние работы ПЭВМ и плазменного модуля

на базе высокочастотного генератора на экологическое состояние планеты сложно недооценить. Наибольший вред от них в работе – потребление электроэнергии. ПЭВМ и ВЧФ-плазматрон не производят выбросов вредных веществ, не создают излучения, способного нарушить экологическую безопасность природы. Однако их производство и утилизация составляют серьезную проблему. Также стоит отметить, что при производстве ПЭВМ и других устройств используются тяжелые, щелочноземельные металлы, ртуть, пластик и стекло, что без должной утилизации по окончании службы попадает в природу и остается в не переработанном виде от века до полутора тысяч лет.

Снижение уровня загрязнения окружающей среды возможно за счёт более эффективного и экономного использования электроэнергии самими потребителями. Это использование более экономичного оборудования, а также эффективного режима загрузки этого оборудования. Сюда также включается и соблюдение производственной дисциплины в рамках правильного использования электроэнергии.

Из этого можно сделать простой вывод, что необходимо стремиться к снижению энергопотребления, то есть разрабатывать и внедрять системы с малым энергопотреблением, ответственно относиться к утилизации различных устройств, т.к. они могут разлагаться в окружающей среде от десятков до сотен лет.

## **5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

### **5.4.1 Анализ вероятной чрезвычайной ситуации, которая может возникнуть на рабочем месте при проведении исследований**

Научно-исследовательская работа проходила в учебно-научной лаборатории с площадью 31,2 м<sup>2</sup>, которое находится в 10 корпусе Томского политехнического университета на ПЭВМ и высокочастотной плазмохимической установки. Наиболее характерной ЧС для данных условий

работы является пожар. Пожар в рабочем помещении разработчика может возникнуть вследствие причин неэлектрического и электрического характера.

К причинам неэлектрического характера относятся халатное и неосторожное обращение с огнём (курение, оставление без присмотра нагревательных приборов).

К причинам электрического характера относятся:

- короткое замыкание;
- перегрузка проводов;
- искрение;
- статическое электричество.

Режим короткого замыкания – появление в результате резкого возрастания силы тока, электрических искр, частиц расплавленного металла, электрической дуги, открытого огня, воспламенившейся изоляции.

Причины возникновения короткого замыкания:

- ошибки при проектировании;
- старение изоляции;
- увлажнение изоляции;
- механические перегрузки.

Пожарная опасность при перегрузках – чрезмерное нагревание отдельных элементов, которое может происходить при ошибках проектирования в случае длительного прохождения тока, превышающего номинальное значение.

#### **5.4.2 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и порядок действий в случае возникновения ЧС**

Пожарная безопасность помещения должна обеспечиваться системами предотвращения пожара и противопожарной защиты, в том числе организационно-техническими мероприятиями.

Пожарная защита должна обеспечиваться применением средств пожаротушения, а также применением автоматических установок пожарной сигнализации.

Должны быть приняты следующие меры противопожарной безопасности:

- обеспечение эффективного удаления дыма, т. к. в помещениях, имеющих оргтехнику, содержится большое количество пластиковых веществ, выделяющих при горении летучие ядовитые вещества и едкий дым;
- обеспечение правильных путей эвакуации;
- наличие огнетушителей и пожарной сигнализации;
- соблюдение всех противопожарных требований к системам отопления и кондиционирования воздуха.

Рабочее помещение должно быть оборудовано пожарными извещателями, которые позволяют оповестить дежурный персонал о пожаре. Выведение людей из зоны пожара должно производиться по плану эвакуации. План эвакуации представляет собой заранее разработанную схему, на которой указаны пути эвакуации, эвакуационные и аварийные выходы, установлены правила поведения людей, порядок и последовательность действий в условиях чрезвычайной ситуации.

Существует порядок действий и правила поведения в случае возникновения пожара:

- 1) Незамедлительно позвонить в аварийную службу или МЧС (112);
- 2) Поставить в известность руководство (дежурного);
- 3) По возможности принять меры для эвакуации людей и меры для тушения пожара.

## **Выводы по разделу**

В данном разделе рассмотрены вопросы социальной ответственности, к которым относятся правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности, производственная безопасность, экологическая безопасность, а также безопасность в ЧС.

В первой части раздела рассмотрены специальные правовые нормы трудового законодательства и организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя.

В подразделе «Производственная безопасность» проведен анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований, также рассмотрены мероприятия по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов.

В подразделе «Экологическая безопасность» проведен обзор возможного влияния процесса исследования на окружающую среду, также рассмотрены мероприятия по защите окружающей среды.

В заключительном подразделе «Безопасность в чрезвычайных ситуациях» проведен анализ вероятной чрезвычайной ситуации (ЧС), которая может возникнуть на рабочем месте при проведении исследований, помимо этого рассмотрены мероприятия по предотвращению ЧС, также приведен порядок действий во время возникновения ЧС.

## Выводы по работе

1. Электронная температура аргоновой плазмы факельного разряда возрастает с увеличением его мощности. Так при длине канала 10 см электронная температура составила 7670 К, а при длине канала 30 см 8355 К.
2. Электромагнитное поле факельного разряда, горящего в аргоне, затухает вдоль его канала на 20–25%.
3. Тепловые потери линейно возрастают с увеличением длины канала разряда. Удельная мощность разряда при этом составляет 4,2 Вт/см.
4. Наблюдается удовлетворительное согласие между экспериментальными и расчётными результатами. Меньшие значения расчётных результатов по сравнению с экспериментальными, могут быть обусловлены тем, что при расчёте не учитывались тепловые потери на электроде и в плазменной струе разряда.

## Список используемых источников

1. Зилитинкевич С.И. Электрическое факельное истечение // Телеграфия и телефония без проводов. – 1928. - № 9. – с. 652-657.
2. Физика высокочастотных разрядов емкостного типа: учебное пособие / Ю.Ю. Луценко; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 122 с.
3. Truneček V. Unipolar high – frequency discharge // Folia Fac. Sci. Nat. University. 1971, - vol. 12, - pp.3-13.
4. Truneček V. Fackelentladung und Fackelboden // Beiträge aus der Plasmaphysic. – 1962. - Vol. 1. - № 2. – s.116-121.
5. Григорович Р., Кристеску Д. К теории высокочастотного факельного разряда // Оптика и спектроскопия. – 1959. - № 6. - Вып. 2. – с.129-136
6. Truneček V. Unipolar and electrodeless capacitively coupled high-frequency discharges excited at atmospheric pressure and their applications // Acta physica slovacica. - 1979. – Bd 29. – pp.180-183.
7. Jecht U., Kessler W. Über den Anregungsmechanismus einer HF-Fackelentladung bei 2400 MHz // Zeitschrift für Physik. – 1964. – Bd. 178. - №2. – s.133-145
8. Тихомиров И.А. Высокочастотные факельные плазмотроны и их практическое применение // Известия СО АН СССР, серия техн. наук, 1980, - №8, вып.2, - с. 3-13.
9. Ткаченко А.Г., Корючкин А.В., Луценко Ю.Ю., Гамзинов С.В. Тепло-электрофизические параметры секционированного высокочастотного факельного плазмотрона // Материалы III Республиканской конференции «Плазменная техника, технология». – Казань, 1988. - с.4.
10. Марусин В.В., Тихомиров И.А. Получение амплитудно-модулированной плазмы // Генераторы низкотемпературной плазмы. М.: - 1969. – с.110-115.

11. Тихомиров И.А. Квеско С.Б. Плазма амплитудно-модулированного высокочастотного факельного разряда и перспективы ее использования // Физика и химия обработки материалов, - 1984. - №6. – с. 35-37.
12. Прокофьев А.М. Влияние постороннего постоянного электрического поля на факельное истечение // ЖЭТФ. - 1937. - №8. – с.987-989
13. Truneček V. Effects of superimposed d.c.field on temperature of torch discharge // 9th Internat. Conf. Phenomena Ioniz. Gases. – 1969. – Budapesht. – p.354
14. Truneček V., Talský A. Effects of superimposed d.c.field on h.f.unipolar discharges // 9th Internat. Conf. Phenomena Ioniz. Gases. – 1969. – Budapesht. –p.355.
15. Захаров В.К. Исследование влияния внешних электрических полей на высокочастотный факельный разряд // Теплофизика Высоких Температур. – 1972. – 10. - №3. – с.291-498.
16. Тихомиров И.А., Тихомиров В.В., Левашов В.С. Факельный разряд, как линия с распределенными параметрами // Известия Томского Политехнического Института. – 1976. – т.276. – с.12-15.
17. Качанов А.В. и др. Некоторые вопросы согласования высокочастотных генераторов с нагрузкой в виде факельного разряда // Физика газоразрядной плазмы. М., 1968. – Вып.1. – с.68-74.
18. Farský V., Janča J. Mutual relation among macro and microparameters in unipolar h.f.discharges // Scripta.Fac.Sci.U.J.E.P –1972. – Bd.2 – p.119-127
19. Аппаратура и методы исследований плазмы ВЧ разрядов и их практическое применение / Под ред. Тихомирова И.А., - Томск: Изд-во ТГУ. - 1976, - 64 с.
20. Рыкалин Р.М., Сорокин Л.М. Металлургические ВЧ-плазмотроны. Электро-и газодинамика. – М.: Наука, 1987. – 164с.

21. Janča J. Transmission and energy exchange in unipolar h. f. discharges // Folia prirodovedecka fac. U.J.E.P. Brno. – 1968. – Bd.9. - № 10. – p. 21-40.
22. Truneček V. Temperature and processes of dissociation in unipolar discharge // VIII Semin. on Plasma Research. CSAV. – 1975. – p.28
23. Farský V., Janča J. Energetische Verhältnisse in Plasma empoligar // Beitr. Plasmaphysik. – 1968. - Bd.9. – s.129-142.
24. Качанов А.В., Трехов Е.С., Фетисов Е.П. Электродинамическая модель высокочастотного факельного разряда // Журнал Технической Физики. – 1970. – т.15. – с.340-345.
25. Качанов А.В., Трехов Е.С., Фетисов Е.П. Электродинамическое описание высокочастотного факельного разряда // Физика газоразрядной плазмы. – М., 1968. – Вып.1. – с. 39-47.
26. Hess H., Kloss H.-G., Rademacher K., Seliger K. Vergleich zwischen einem Verfahren zur Bestimmung von Bogentemperaturen mit Hilfe von Stoßwellen und einer spektroskopischen Methode // Beiträge aus der Plasmaphysik. – 1962. – Bd. 2. – № 3. – S. 171 – 178.
27. Луценко Ю.Ю., Власов В.А., Зеленецкая Е.П. Влияние осевой неоднородности плазмы высокочастотного факельного разряда на его электродинамические характеристики // Теплофизика и аэромеханика. – 2013. – т.20, №1. – с.117-122.
28. Сахаров А.Д. Изв. АН СССР, сер. Физ., 12, 372, 1948 г.
29. Луценко Ю.Ю., Гатаулина А.Р. Особенности электродинамики высокочастотного факельного разряда, горящего в аргоне // Вестник Дагестанского государственного университета. Серия 1.: естественные науки. - №4. – 2016. – с.22 – 29.
30. Kannapan D., Bose T.K. Transport properties of a two-temperature argon plasma. // The Physics of Fluids. – 1977. – vol. 20. – №10. – p.1668 – 1673.
31. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018)

32. Конституция Российской Федерации [Электронный ресурс] : принята всенародным голосованием 12 декабря 1993 года. : (с учетом поправок, внесенных Законами Российской Федерации о поправках к Конституции Российской Федерации от 30.12.2008 N 6-ФКЗ, от 30.12.2008 N 7-ФКЗ, от 05.02.2014 N 2-ФКЗ, от 21.07.2014 N 11-ФКЗ30 декабря 2008 № 6-ФКЗ и № 8 – ФКЗ) // СПС «Консультант плюс». – Режим доступа: <http://www.consultant.ru/>
33. ГОСТ 12.2.049-80 (ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования)
34. ГОСТ ИЕС 60519-1-2011 (Безопасность электротермического оборудования. Часть 1.)
35. СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
36. ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Общие требования безопасности.
37. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий.
38. СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки
39. СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03. «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы».
40. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.