

**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 ядерного топливного цикла

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Определение комплексного сопротивления высокочастотного факельного плазмотрона</b> УДК 621.378.143:533.9.001.5

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А4Д	В.В. Сопыряев		

Руководитель

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

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ШИП	Н.В. Черепанова	к.ф.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

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

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТ	П.Н. Бычков	к.т.н.		

**ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП**

<b>Код результата</b>	<b>Результат обучения (компетенции)</b>	<b>Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон</b>
<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.	Требования ФГОС (УК3,4,5, ОПК-2).
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.	Требования ФГОС (УК-2-5, ОПК-2).
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, осознавать социальную значимость своей будущей профессии, обладать высокой мотивацией к выполнению профессиональной деятельности	Требования ФГОС (Ук1, УК- 2, УК-3, УК-4,ОПК-2, 3, ПК-6, 19-23).
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.	Требования ФГОС (ОК-4, ОПК-1-3, ПК-1, ПК-5, Пк-7, Пк-8, Пк-9, ПК-10, ПК-11, ПК-17, Пк-19,Пк-20,ПК-21).
P5	Владеть одним из иностранных языков на уровне не ниже разговорного.	Требования ФГОС (УК-4,5, ОПК-2, ПК-6)
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.	Требования ФГОС (УК-7, 8, ОПК-3, ПК-12).
<b>Общепрофессиональные</b>		
P7	Использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования.	Требования ФГОС (УК-1, 2, ОПК-1, ПК-2,3,4,5, 6,7, 10, 11,14, ).
<b>Профессиональные компетенции</b>		
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	Требования ФГОС (УК-7, 8, ОПК-3, ПК-2, 4,6, 8, 11, 12, 14, 17, 18, 20).

	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	Требования ФГОС (УК-1,2,8, ПК-2, 5,6, 7, 8, 9, 10, 11, 20).
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.	Требования ФГОС (ПК-4, 14, 15, 16, 21, 22).
P11	Способность к организации метрологического обеспечения технологических процессов, к использованию типовых методов контроля качества выпускаемой продукции; и к оценке инновационного потенциала новой продукции.	Требования ФГОС (ПК-11, 12, 13, 20, 21, 22).
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.	Требования ФГОС (УК-2 ОПК-1, ПК-1, 2, 4, 5, 6, 7, 8).
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.	Требования ФГОС (ОПК-1,2, ПК – 1, 5, 10, 11, 13, 20, 21).
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.	Требования ФГОС (ПК-3, 8, 7, 10, 11, 14, 16, 18, 22).
P15	Способность к приемке и освоению вводимого оборудования, составлению инструкций по эксплуатации оборудования и программ 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	Требования ФГОС (УК-1, 2, 3, 6, 8, ОПК-3 ПК-5, 6,9, 12, 13, 14, 15, 16, 19, 20, 21, 22, 23).

**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 ядерного топливного цикла

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

\_\_\_\_\_ П.Н. Бычков

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

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

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

Студенту:

Группа	ФИО
0А4Д	Сопыряеву Владиславу Вадимовичу

Тема работы:

<b>Определение комплексного сопротивления высокочастотного факельного плазмотрона</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:

--	--

**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>Определить величину комплексного сопротивления высокочастотного факельного плазмотрона в зависимости от частоты электрического поля и длины канала разряда.</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, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>При разработке дипломного проекта должны быть рассмотрены следующие вопросы:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Обзор литературы по физическим особенностям факельного плазмотрона и методам определения величины его комплексного сопротивления.</li> <li>2. Экспериментальное определение величины комплексного сопротивления высокочастотного факельного плазмотрона. Анализ и расчет экспериментальных данных</li> <li>3. Экономический расчет</li> <li>4. Социальная ответственность</li> <li>5. Выводы. Заключение</li> </ol>
<p><b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Рисунок 1.6 – ВЧ факельный плазмотрон Рисунок 2.1 – Электрическая схема измерений. Рисунок 3.2 – Зависимость активного сопротивления факельного плазмотрона от длины канала разряда. Рисунок 3.3 – Зависимость емкости факельного плазмотрона от длины канала разряда. Рисунок 3.4 – Зависимость <math>\cos\varphi</math> факельного плазмотрона от длины канала разряда.</p>
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> <i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p style="text-align: center;"><b>Раздел</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>Консультант</b></p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p style="text-align: center;">Н.В. Черепанова</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p style="text-align: center;">Т.С. Гоголева</p>

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

**Задание выдал руководитель:**

<p style="text-align: center;">Должность</p>	<p style="text-align: center;">ФИО</p>	<p style="text-align: center;">Ученая степень, звание</p>	<p style="text-align: center;">Подпись</p>	<p style="text-align: center;">Дата</p>
<p style="text-align: center;">Доцент</p>	<p style="text-align: center;">Ю.Ю. Луценко</p>	<p style="text-align: center;">д.ф.-м.н</p>		

**Задание принял к исполнению студент:**

<p style="text-align: center;">Группа</p>	<p style="text-align: center;">ФИО</p>	<p style="text-align: center;">Подпись</p>	<p style="text-align: center;">Дата</p>
<p style="text-align: center;">0А4Д</p>	<p style="text-align: center;">В.В.Сопыряев</p>		

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
0А4Д	Сопыряеву Владиславу Вадимовичу

<b>Школа</b>	Инженерная школа ядерных технологий	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	Отделение ядерного топливного цикла
<b>Уровень образования</b>	Бакалавр	<b>Направление/специальность</b>	14.03.02 «Ядерные физика и технологии»

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно- правовых документах
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	

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

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Оценочная карта конкурентных технических решений
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Иерархическая структура работ
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	SWOT-анализ

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

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

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

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент ШИП	Н.В. Черепанова	к.ф.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
0А4Д	В.В. Сопыряев		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
0А4Д	Сопыряеву Владиславу Вадимовичу

Школа	Инженерная школа ядерных технологий	Отделение школы (НОЦ)	Отделение ядерного топливного цикла
Уровень образования	бакалавр	Направление/специальность	14.03.02 «Ядерные физика и технологии»

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

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

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

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

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

**Задание выдал консультант:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А4Д	В.В. Сопыряев		



## Реферат

Выпускная квалификационная работа объемом 80 с., 19 рисунков, 16 таблиц, 43 источника, 64 формулы.

Ключевые слова: активное сопротивление, емкость, высокочастотный факельный плазмотрон, комплексное сопротивление, фазовый сдвиг.

Объектом исследования является высокочастотный факельный разряд.

Цель работы: Определение величины комплексного сопротивления высокочастотного факельного плазмотрона в зависимости от частоты электрического поля и длины канала разряда.

В процессе исследования проводились:

- Изучение физики высокочастотного факельного плазмотрона;
- Изучение методов определения величины эквивалентного сопротивления электрической цепи;
- Экспериментальное определение величины комплексного сопротивления высокочастотного факельного плазмотрона;
- Экономический расчет затрат на проведение выпускной квалификационной работы, составлен план-график работ;
- Выводы по работе. Заключение.

В результате исследований

- Проведены измерения активного сопротивления и емкости высокочастотного факельного плазмотрона;
- Проведено определение величины фазового сдвига между током, протекающим в разряде и напряжением на высоковольтном электроде;

Область применения: оптимизация режимов работы высокочастотных факельных плазмотронов.

Экономическая эффективность/значимость работы: Уменьшение энергетических затрат при генерации плазменных струй с заданными параметрами посредством факельных плазмотронов.

## Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	12
1 Физика высокочастотного факельного разряда.....	13
1.1. Свойства и особенности высокочастотного факельного разряда .....	13
1.2 Моделирование электрофизических характеристик высокочастотного факельного разряда .....	17
1.3. Высокочастотный факельный плазмотрон и моделирование его характеристик .....	19
1.4 Методы измерения комплексного сопротивления. Резонансные методы .....	20
Резонансно-вариационные методы .....	23
Метод вариации емкости.....	24
Метод вариации частоты.....	25
Метод вариации сопротивления.....	26
2 Методика измерения комплексного сопротивления факельного плазмотрона .....	27
3 Экспериментальное определение величины комплексного сопротивления ВЧ факельного плазмотрона .....	35
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение... 40	
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения .....	41
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования .....	41
4.1.2 Анализ конкурентных технических решений.....	41
4.1.3 SWOT-анализ.....	42
4.2 Планирование научно-исследовательских работ.....	48
4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования .....	48
4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ .....	49
4.2.3 Разработка графика проведения научного исследования.....	50
4.2.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ) .....	53
4.2.5 Расчет материальных затрат НТИ.....	54

4.2.6	Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ .....	55
4.2.7	Основная заработная плата исполнителей темы .....	56
4.2.8	Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	58
4.2.9	Расчет затрат на научные и производственные командировки.....	59
4.2.10	Накладные расходы .....	59
4.2.11	Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта .....	59
4.3	Вывод.....	60
5	Социальная ответственность .....	61
5.1	Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	61
5.2	Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния на персонал. 63	
5.2.1	Организационные мероприятия .....	63
5.2.2	Организация рабочего места оператора ПК.....	63
5.2.3	Условия безопасной работы.....	66
5.3	Требования безопасности при работе с высокочастотным факельным плазмотроном .....	68
5.4	Электробезопасность .....	71
5.5	Пожарная и взрывная безопасность.....	72
5.6	Нормативная литература .....	74
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	76
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	77

## **ВВЕДЕНИЕ**

Высокочастотный факельный разряд обладает рядом преимуществ по сравнению с другими высокочастотными разрядами. Он более устойчив при запылении разрядной плазмы, может легко зажигаться в любых средах, включая водород, а также имеет большой объём разрядной плазмы, при относительно малой величине мощности вкладываемой в разряд, поэтому плазмотроны, созданные на его основе, в последнее время находят всё большее применение в различных технологических процессах. Измерение величины комплексного сопротивления факельного плазмотрона необходимо для согласования ВЧ - генератора с ВЧ факельным плазмотроном и для определения угла фазового сдвига между током протекающим в разряде и напряжением на высоковольтном электроде, что в свою очередь дает возможность, оценить какая доля электромагнитной энергии будет накапливаться в виде реактивных электрических и магнитных полей, а какая доля энергии перейдет в тепло. Для оптимизации работы факельных плазмотронов необходимо учитывать степень преобразования электромагнитной энергии в тепловую.

В настоящей дипломной работе были проведены измерения ёмкости и активного сопротивления факельного плазмотрона в зависимости от его мощности и частоты электромагнитного поля. На основе проведённых измерений был рассчитан коэффициент преобразования электрической энергии, подводимой к плазмотрону в тепловую энергию.

# 1 Физика высокочастотного факельного разряда

## 1.1. Свойства и особенности высокочастотного факельного разряда

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

ВЧФР был открыт Зилитинкевичем С.И. в 1928 году при исследовании работы ВЧ генераторов. Заметим, что до 60-х годов проводились исследования одноэлектродных разрядов имеющих мощность не более 200 Вт.

Наиболее полные, на наш взгляд, исследования одноэлектродного разряда мощностью до 150-200 Вт, возбуждаемого синусоидальным ВЧ напряжением были проведены чешскими авторами [1, 8, 14-16].

Высокочастотный факельный разряд (рисунок 1.1) имеет три структурных [1] элемента: приэлектродный слой 1, канал 2 и диффузионную оболочку 3. Электропитание разряда осуществляется от ВЧ генератора. Горение ВЧФР наблюдается в широком частотном диапазоне, начиная с частоты  $\nu \sim 6$  МГц и выше. Механизм горения ВЧФР обусловлен [1] процессами термической ионизации.

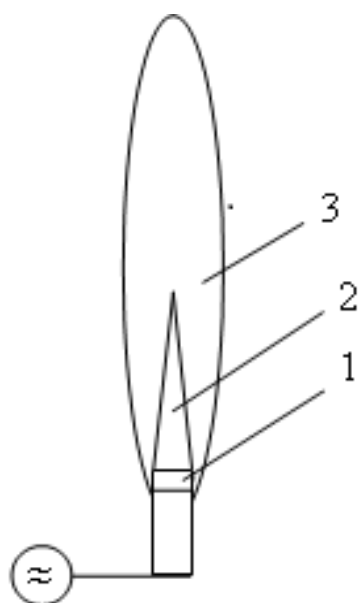


Рисунок 1.1 – Высокочастотный факельный разряд

1 – приэлектродный слой;

2 – канал;

3 – диффузионная оболочка

Высокочастотный факельный разряд с момента его открытия и до настоящего времени исследовался преимущественно в следующих направлениях:

1. исследование влияния различных факторов (формы, материала электрода, рода плазмообразующего газа, величины подводимой мощности) на свойства ВЧФР [1, 8, 10-12, 14-19];
2. исследование характеристик плазмы ВЧФР (температуры тяжелых частиц, температуры и концентрации электронов, степени неравновесности плазмы разряда) [6, 8, 10-12, 25-27];
3. теоретические и экспериментальные исследования вопросов тепломассопереноса в плазме ВЧФР [2, 5, 6, 36];
4. исследование амплитудно-модулированной плазмы ВЧФР [3, 31, 32];
5. изучение влияния внешних электрических полей на свойства и поведение ВЧФР [20-2, 28];
6. исследование вопроса согласования ВЧФР с ВЧ генератором [13, 37];
7. исследование электрических характеристик ВЧФР (напряжение горения, полный ток, емкость разряд-земля) [1, 26].

ВЧФР легко возбуждается в любой газовой среде (воздух, инертные газы, водород и т.д.) при давлениях  $10^1 \div 5 \cdot 10^5$  Па. Вид, форма, режимы горения ВЧФР освещены в работах [2, 1, 10-11].

Из экспериментальных исследований следует, что структура ВЧФР и его размеры определяются свойствами плазмообразующего газа, характером и уровнем вводимой в разряд мощности. При давлениях более  $3,3 \cdot 10^4$  Па свободный ВЧФР представляет собой плазменное образование с ярко выделенным тонким каналом и диффузионной оболочкой с радиусом в  $3 \div 10$  раз большем радиуса канала (рисунок 1.1).

В таблице 1.1 и на рисунках 1.2 и 1.3 представлены основные результаты экспериментальных исследований свойств и особенностей ВЧФР, горящего при атмосферном давлении.

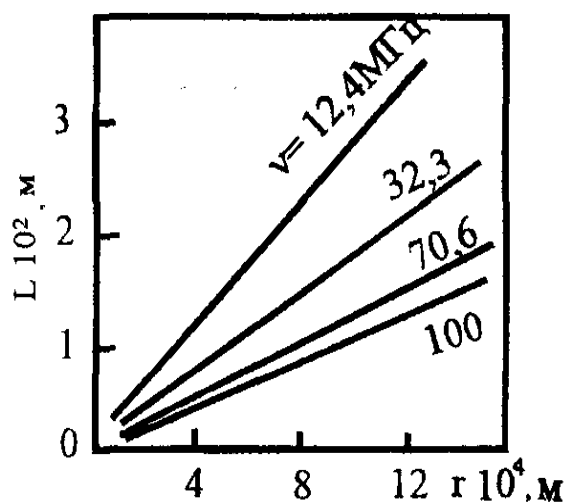


Рисунок 1.2 – Зависимость длины канала ВЧФР от радиуса разряда

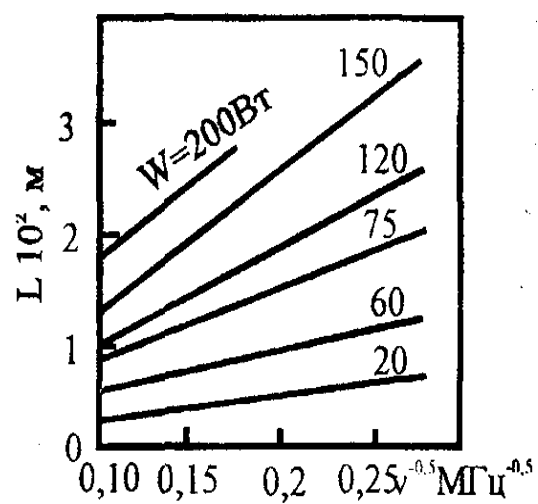


Рисунок 1.3 – Зависимость длины канала ВЧФР от частоты





При описании ВЧФР большое значение имеет определение таких величин как емкостное сопротивление, адмитанс, активное сопротивление плазмоида ВЧФР. В работе [26] показано, что теоретический расчет вышеуказанных величин, основывающийся лишь на геометрических характеристиках плазмоида разряда без учета происходящих в нем физических процессов приводит к серьезным ошибкам. Вследствие этого большинство работ по определению электрических параметров разряда носит экспериментальный характер.

## 1.2 Моделирование электрофизических характеристик высокочастотного факельного разряда

Необходимым условием существования ВЧФР является наличие емкости плазмоида разряда относительно земли или окружающих его проводников. Вышеуказанная емкость обеспечивает горение разряда в отсутствие второго электрода необходимого для замыкания токовой цепи. Это основное условие существования разряда нашло отражение в простейшей модели ВЧФР, представленной в виде электрической цепи, состоящей из последовательно соединенных сопротивления  $R_p$  и  $C_p$  (рисунок 1.4). Данная электрическая цепь, предложенная Нейманом удобна при анализе вопросов согласования разряда с колебательным контуром ВЧ генератора. Однако в конкретных численных расчетах, удобнее использовать «модифицированную» цепь Неймана в виде параллельно соединенных сопротивления и емкости (рисунок 1.5).

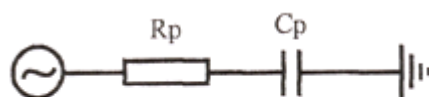


Рисунок 1.4 – Схема Неймана

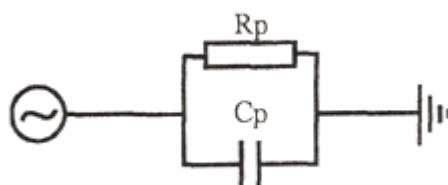


Рисунок 1.5 – «Модифицированная» схема  
Неймана

При более детальном анализе токовой цепи ВЧФР, цепь Неймана становится малоприменимой вследствие того, что в ней не учтен тот факт, что каждая часть плазменного шнура разряда имеет определенную емкость не только относительно земли (или окружающих плазмод проводников), но и относительно электрода с которого возбуждается разряд. Кроме того, в эквивалентной цепи Неймана отсутствует индуктивность плазмы ВЧФР. Однако вследствие того, что индуктивная компонента тока в разряде значительно меньше его емкостной компоненты, в большинстве случаев ею можно пренебречь. Учет же емкости разряда относительно электрода, с которого осуществляется горение разряда, особенно емкости приэлектродной области, становится необходимым при анализе явлений формирования ВЧФР на диэлектрическом слое поверхности электролита и эффекта послесвечения плазмы ВЧФР при импульсном возбуждении. В частности, тот факт, что плазма ВЧФР в условиях возрастания концентрации ионов щелочных металлов остается без изменений в течении нескольких секунд над поверхностью электролита говорит о важности наличия емкости плазмы разряда относительно электрода.

При анализе электродинамики ВЧФР необходимо рассматривать также "отраженную" электромагнитную волну.

Модель ВЧФР в виде электрической линии описывает распространение волны напряжения и тока лишь в осевом направлении. При этом не учитываются энергетические потери, возникающие за счет электромагнитного излучения разряда, которые при горении разряда в инертных газах составляют до 50% всей энергии, диссипирующей в разряде.

Заметим также, что в случае использования модели электролинии при описании ВЧФР, учет радиальной структуры плазмоида разряда сводится к выбору той или иной методики определения погонных характеристик линии. В связи с этим возникает необходимость проведения анализа процесса распространения электромагнитных колебаний в плазме ВЧФР на основе системы уравнений Максвелла, и как следствие – определение характера ограничений, накладываемых на модель электролинии, используемой при описании ВЧФР.

Моделирование высокочастотного факельного плазмотрона осуществляется аналогично моделированию ВЧФР, вследствие этого вышеприведенные модели ВЧФР могут быть использованы также для расчетов факельного плазмотрона.

### **1.3. Высокочастотный факельный плазмотрон и моделирование его характеристик**

Высокочастотный факельный разряд, горящий при атмосферном давлении находит свое практическое применение прежде всего в качестве источника плотных плазменных струй. С этой целью был создан [4] ряд конструкций высокочастотных (ВЧ) факельных плазмотронов, обладающих достаточно высокими к.п.д. и имеющих большой ресурс работы.

Одним из основных требований, предъявляемых к конструкции ВЧ факельного плазмотрона, является ее механическая прочность. Поэтому большинство плазмотронов имеют металлический корпус, который используется в качестве несущей части конструкции. Иногда корпус плазмотрона используется непосредственно в качестве разрядной камеры, как, например, плазмотроны, рассмотренные в работах [4, 41].

В этом случае плазмотрон представляет собой металлическую камеру цилиндрической формы, внутри которой установлен центральный электрод (рисунок 1.6).

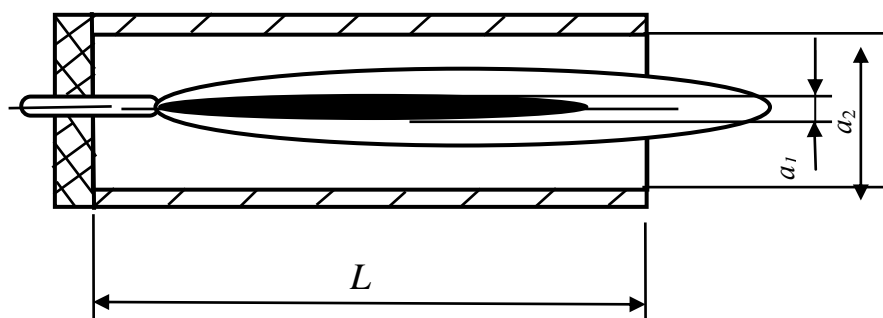


Рисунок 1.6 – ВЧ факельный плазмотрон

Очевидно, что увеличение к.п.д. такого плазмотрона достигается лишь за счет уменьшения диаметра разрядной камеры, что в свою очередь позволяет увеличить емкостную связь факел-«земля» и, соответственно, интенсивность электромагнитного поля в зоне разряда. Для регулирования мощности плазмотрона подбирают соответствующую величину расхода плазмообразующего газа.

С целью устранения явления шунтирования токоведущего канала разряда на стенки разрядной камеры возможно также выполнение разрядной камеры [42] в виде чередующихся металлических и диэлектрических секций. Однако в этом случае возможность регулирования параметрами разряда также ограничена.

Эквивалентную схему простейшего факельного плазмотрона, изображённого на рисунке 1.6 можно представить цепью Неймана. В этом случае учитывается тот факт, что величина индуктивности плазмотрона незначительна по сравнению с его ёмкостью.

Рассмотрим существующие методы измерения комплексного сопротивления электрической цепи.

#### 1.4 Методы измерения комплексного сопротивления. Резонансные методы

При высоких частотах наибольшее распространение получили резонансные методы измерения. Общий принцип резонансных методов основан на том, что по изменению параметров колебательного контура при

присоединении к нему измеряемого конденсатора, заполненного исследуемым веществом, можно определить параметры измеряемого конденсатора.

Рассмотрим, например параллельный резонансный контур, включенный в цепь источника тока.

При резонансе

$$\frac{1}{\omega L} = b_L = b_{рез} = b_c = \omega C_{рез} \quad (1.1)$$

и при напряжении на контуре  $U_1$

$$g_1 = \frac{I}{U_1} \quad (1.2)$$

Добротность контура  $Q_k$  по определению

$$Q_k = \frac{b_{рез}}{g} = \frac{I_L}{I} = \frac{I_C}{I}, \quad (1.3)$$

где  $I_L$  и  $I_C$  – токи в индуктивности и емкости при резонансе.

Если параллельно контуру включить конденсатор, заполненный исследуемым веществом, то резонанс в контуре нарушится.

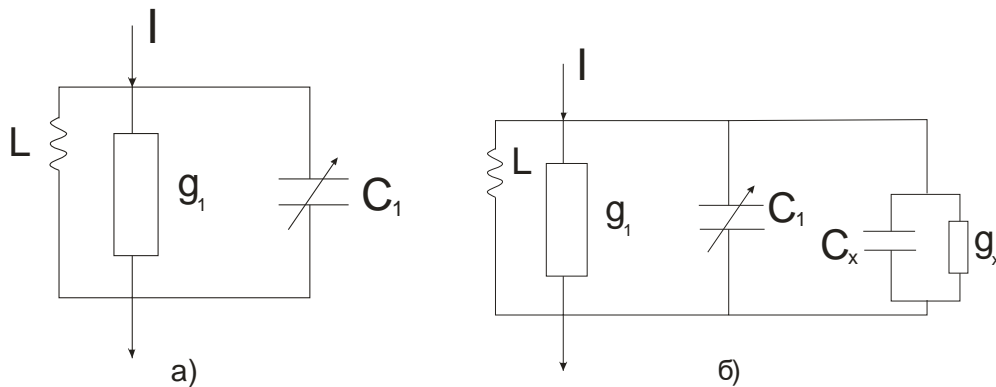


Рисунок 1.7а и 1.7б - Параллельный резонансный контур

Резонанс можно восстановить, изменив емкость настроечного конденсатора на величину  $C_x$ . (рисунок 1.7б) [7]

Очевидно,

$$C_x = C_1 - C_2 \quad (1.4)$$

и

$$g_x = g_2 - g_1, \quad (1.5)$$

где  $g_2$  - суммарная активная проводимость контура после присоединения к нему конденсатора, а  $C_x$  и  $g_x$  - емкость и активная проводимость в параллельной схеме замещения измеряемого конденсатора.

Таким образом, по измерению емкости настроенного конденсатора, соответствующей резонансу, и суммарной активной проводимости контура можно определить параметра измеряемого конденсатора.

По определению добротность измеряемого конденсатора

$$Q_x = \frac{b_x}{g_x} = \frac{\omega C_x}{g_x} \quad (1.6)$$

Выразив  $g_x$  через добротность контуров по (1.2) и (1.3), получим:

$$Q_x = \frac{Q_{1k} Q_{2k} (C_1 - C_2)}{(Q_{1k} - Q_{2k}) C_1} \quad (1.7)$$

Для последовательного резонансного контура измеряемый конденсатор целесообразно представить последовательной схемой замещения.

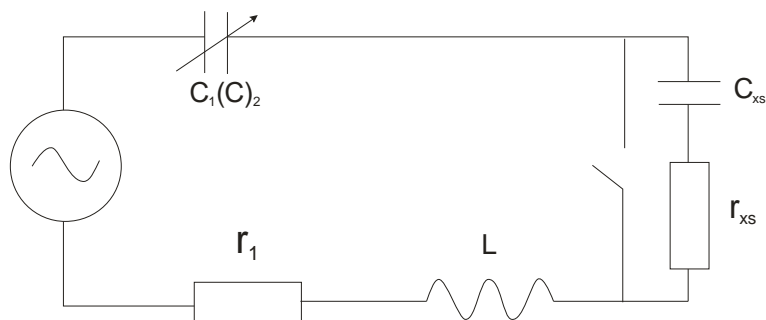
В этом случае аналогичные рассуждения приводят к следующим выражениям:

$$C_{xs} = \frac{C_1 C_2}{C_2 - C_1}; \quad (1.8)$$

$$r_{xs} = r_2 - r_1 \quad (1.9)$$

и

$$Q_x = \frac{Q_{1k} Q_{2k} (C_2 - C_1)}{(Q_{1k} - Q_{2k}) C_2} \quad (1.10)$$



Рисинук 1.8 - Последовательно резонансный контур

Различие резонансных методов заключается в способе определения эквивалентных активных сопротивлений (проводимостей) или добротностей контуров. Непосредственное определение проводимости по отношению тока к напряжению при резонансе на высокой частоте приводит к большим погрешностям, поэтому обычно применяют косвенные методы.

### Резонансно-вариационные методы

Добротность контура  $Q_k$  можно определить по форме резонансной кривой, которая в относительных единицах описывается уравнением

$$\alpha = (1 + Q_k^2 \beta^2)^{-1/2}, \quad (1.11)$$

где

$$\alpha = \begin{cases} \frac{U}{U_{рез}} & \text{для параллельного контура} \\ \frac{I}{I_{рез}} & \text{для последовательного контура} \end{cases} \quad (1.12)$$

и

$$\beta = \begin{cases} \frac{b}{b_{рез}} & \text{для параллельного контура} \\ \frac{x}{x_{рез}} & \text{для последовательного контура} \end{cases} \quad (1.13)$$

Если известно положение хотя бы одной точки резонансной кривой относительно начала координат ( $\beta = 0$ ), то можно определить добротность контура. Однако наибольшая точность получается, если известно положение двух симметричных относительно начала координат точек на участках максимальной крутизны резонансной кривой.

Путем дифференцирования (1.11) можно убедиться в том, что  $\left| \frac{\partial \alpha}{\partial \beta} \right|$  максимально при  $\alpha = 2^{-1/2}$ .

### Метод вариации емкости

Вариация  $\beta$  в этом случае осуществляется изменением емкости настроенного конденсатора до значений  $C'$  и  $C''$  (большого и меньшего резонансного значения), при которых  $\alpha = 2^{-1/2}$ .

Пусть измерения проводятся с помощью последовательного контура. Тогда, подставляя  $\alpha = 2^{-1/2}$  в (1.11) и решая совместно систему уравнений

$$\left. \begin{aligned} \frac{1}{\sqrt{2}} &= \sqrt{1 + Q_k^2 \left( \frac{C_{рез}^{-1} - (C')^{-1}}{C_{рез}^{-1}} \right)^2}; \\ \frac{1}{\sqrt{2}} &= \sqrt{1 + Q_k^2 \left( \frac{C_{рез}^{-1} - (C'')^{-1}}{C_{рез}^{-1}} \right)^2}, \end{aligned} \right\} \quad (1.14)$$

получим:

$$C_{рез} = 2 \frac{C' C''}{C' + C''} \quad (1.15)$$

и

$$Q_k = \frac{C' + C''}{C' - C''}. \quad (1.16)$$

Выполнив опыт без измеряемого конденсатора и с ним, можно по (1.8) и (1.10) определить параметры измеряемого конденсатора.



Для параллельной схемы система, аналогичная (1.14), даёт для  $Q_k$  решение, совпадающее с (1.16), а для резонансной емкости

$$C_{рез} = \frac{1}{2}(C' + C''). \quad (1.17)$$

### Метод вариации частоты

Если вариация  $\beta$  осуществляется изменением частоты, то и для параллельного и для последовательного контура

$$Q_k = \frac{\sqrt{\omega' \omega''}}{\omega' - \omega''}; \quad (1.18)$$

$$\omega_{рез} = \sqrt{\omega' \omega''}, \quad (1.19)$$

где  $\omega_{рез}$  - резонансная частота контура, а  $\omega'$  и  $\omega''$  - частоты, при которых  $\alpha = 1/\sqrt{2}$ .

При применении метода вариации частоты необходимо помнить, что с изменением частоты изменяются параметры измеряемого конденсатора. Однако если добротность конденсатора высока, изменение частоты при  $\alpha = 1/\sqrt{2}$  настолько мало, что изменением параметров измеряемого конденсатора можно пренебречь. Небольшие изменения частоты ( $\omega' - \omega''$ ) можно с большой степенью точности измерять с помощью гетеродинных волномеров.

Метод вариации емкости дает большую точность при сравнительно невысоких добротностях, т. е. тогда, когда разность  $(C' + C'')$  можно достаточно точно измерить.

## Метод вариации сопротивления

Активное эффективное сопротивление контура ( $r_s$ ) можно определить по изменению тока при резонансе после включения чисто активного эталонного сопротивления ( $r_э$ ). Очевидно, что

$$a = \frac{I''}{I'} = \frac{r_s}{r_s + r_э}. \quad (1.20)$$

Относительное изменение тока  $a$  определяется гораздо точнее, чем абсолютные величины токов и погрешность получается меньше.

Этот метод применяется для измерения параметров материала при рабочем напряжении высокочастотных нагревательных установок.

## **2 Методика измерения комплексного сопротивления факельного плазмотрона**

Измерения проводились для плазмотрона, конструкция которого изображена на рисунке 1.6. Факельный разряд возбуждался в воздухе, при атмосферном давлении. В качестве разрядной камеры использовалась кварцевая трубка диаметром 32 мм, соосно с ней была установлена металлическая трубка диаметром 70 мм и длиной 50 см. Мощность разряда варьировалась от 0,5 до 2,5 кВт. Длина канала разряда при этом составляла 15-50 см. Частота электромагнитного поля составляла 20-40 МГц.

Электрические характеристики высокочастотного факельного плазмотрона могут быть определены в соответствии с эквивалентной схемой факельного разряда, предложенной [38] Нейманом. Эквивалентная схема Неймана приведена на рисунке 1.4 и 1.5.

Как видно из рисунков 1.4 и 1.5, данная эквивалентная схема представляет собой электрическую цепь, состоящую из последовательно соединённых ёмкости и активного сопротивления. Наличие ёмкости делает возможным процесс горения разряда при отсутствии второго электрода. Активное сопротивление отвечает за процессы диссипации электромагнитной энергии в плазме разряда. В ряде случаев удобнее использовать “модифицированную” схему Неймана в виде параллельно соединённых ёмкости и сопротивления. Пересчёт параметров “модифицированной” схемы Неймана в параметры собственно схемы Неймана легко осуществить по несложным формулам.

Определение комплексного сопротивления факельного плазмотрона проводилось нами резонансным методом. При измерениях использовалась электрическая схема, аналогичная электрической схеме, используемой в работе [39]. Данная электрическая схема приведена на рисунке 2.1.

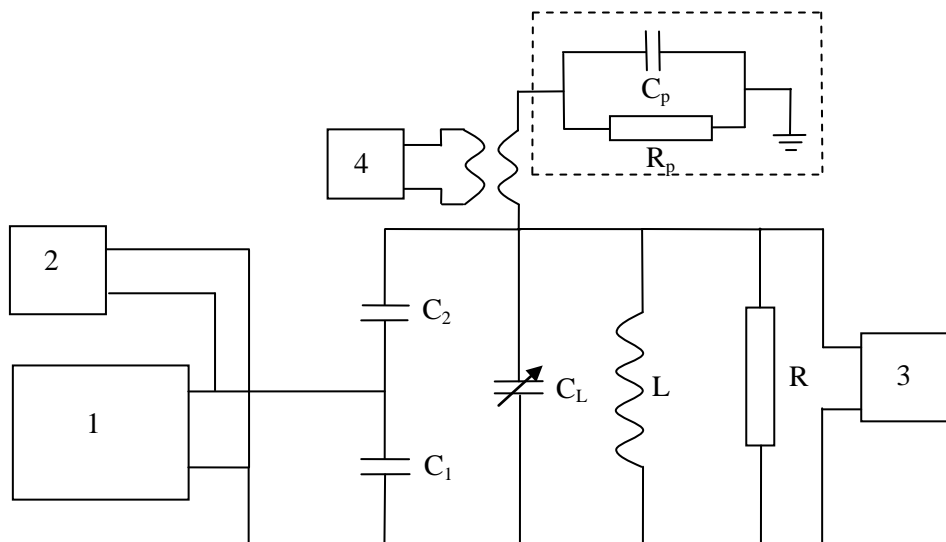


Рисунок 2.1 – Электрическая схема измерений.

1 –высокочастотный генератор; 2, 3 – вольтметры; 4 – пояс Роговского

К выходу высокочастотного генератора через разделительные конденсаторы подсоединялся параллельный колебательный контур. Изменение характеристик колебательного контура осуществлялось изменением ёмкости переменного конденсатора. Точка резонанса определялась по максимальной величине тока, протекающего в электроде факельного разряда. Ток измерялся поясом Роговского. (рисунок 2.2) Определялась величина ёмкости  $C_L$  при резонансе контура без поджига разряда и с поджигом разряда. Конструктивно дополнительный колебательный контур представлял собой отдельный металлический бокс, внутри которого были установлены индуктивность  $L$  и переменный вакуумный конденсатор  $C_L$ . Входные ёмкости  $C_1$  и  $C_2$  были выполнены в виде воздушных конденсаторов ёмкостью 1,5 и 4 пикофарады соответственно. Изображённые на рисунке 2.1. ёмкость  $C_p$  и сопротивление  $R_p$  соответствуют ёмкости и активному сопротивлению факельного плазмотрона по модифицированной схеме Неймана.



Рисунок 2.2 – Пояс Роговского

Ёмкость плазмотрона определялась по величине изменения переменной ёмкости  $C_L$  для различных режимов работы плазмотрона. Рассматривалась работа плазмотрона без поджига разряда и с поджигом разряда. При этом величина ёмкости оценивалась для случая резонанса тока в дополнительном колебательном контуре. Резонанс тока в свою очередь определялся по максимальной величине высокочастотного тока, регистрируемого поясом Роговского.

Сопротивление плазмотрона, которое представляет собой активное сопротивление факельного разряда, можно определить по отношению выходного напряжения колебательного контура к входному напряжению. Измерения напряжений на входе и выходе колебательного контура проводились нами цифровыми вольтметрами, снабжёнными дополнительными емкостными делителями. Емкостной делитель представлял собой фторопластовый цилиндр, с установленными в нём круглыми латунными пластинами. Для уменьшения вероятности пробоя по поверхности фторопластового цилиндра пластины были утоплены на глубину в 1 см. (рисунок 2.3)



Рисунок 2.3 – Ёкостный делитель

Проведём расчёт принципиальной электрической схемы, приведённой на рисунке 2.1. Данную схему можно преобразовать в нижеприведённую электрическую схему, если принять, что:

$$C_{L\Sigma} = C_L + C_p;$$

$$\frac{1}{R_\Sigma} = \frac{1}{R} + \frac{1}{r_p}.$$

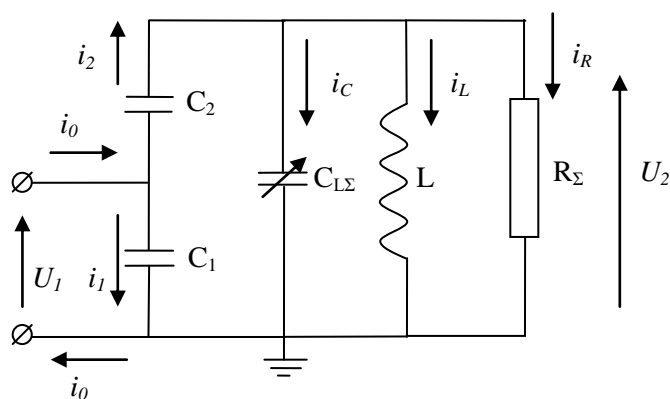


Рисунок 2.4 – Преобразованная электрическая схема измерений.

Для расчёта цепи используем теорему Кирхгофа:

$$-i_0 + i_2 + i_1 = 0, \quad (2.1)$$

$$-i_2 + i_C + i_L + i_R = 0, \quad (2.2)$$

$$i_0 - i_1 - i_L - i_C - i_R = 0. \quad (2.3)$$

Далее используем метод контурных токов:

$$\frac{i_2}{j\omega C_2} + i_L j\omega L - \frac{i_1}{j\omega C_1} = 0, \quad (2.4)$$

$$\frac{i_2}{j\omega C_2} + \frac{i_c}{j\omega C_{L\Sigma}} - \frac{i_1}{j\omega C_1} = 0, \quad (2.5)$$

$$\frac{i_2}{j\omega C_2} + i_R R_\Sigma - \frac{i_1}{j\omega C_1} = 0. \quad (2.6)$$

$$\frac{i_1}{j\omega C_1} = U_1. \quad (2.7)$$

Из выражений (2.5), (2.6) и (2.7) выразим токи:

$$i_L = \frac{i_2}{\omega^2 C_2 L} - \frac{i_1}{\omega^2 C_1 L}, \quad (2.8)$$

$$i_c = i_1 \frac{C_{L\Sigma}}{C_1} - i_2 \frac{C_{L\Sigma}}{C_2}, \quad (2.9)$$

$$i_R = i_1 \frac{1}{j\omega C_1 R_\Sigma} - i_2 \frac{1}{j\omega C_2 R_\Sigma}. \quad (2.10)$$

Выражения (2.9), (2.10) и (2.11) подставим в выражение (2.3):

$$-i_2 + i_1 \frac{C_{L\Sigma}}{C_1} - i_2 \frac{C_{L\Sigma}}{C_2} + \frac{i_2}{\omega^2 C_2 L} - \frac{i_1}{\omega^2 C_1 L} + i_1 \frac{1}{j\omega C_1 R_\Sigma} - i_2 \frac{1}{j\omega C_2 R_\Sigma} = 0, \quad (2.11)$$

$$i_2 \left[ \frac{1}{\omega^2 C_2 L} - 1 - \frac{C_{L\Sigma}}{C_2} - \frac{1}{j\omega C_2 R_\Sigma} \right] + i_1 \left[ \frac{C_{L\Sigma}}{C_1} - \frac{1}{\omega^2 C_1 L} + \frac{1}{j\omega C_1 R_\Sigma} \right] = 0, \quad (2.12)$$

$$i_1 \left[ \frac{C_{L\Sigma}}{C_1} - \frac{1}{\omega^2 C_1 L} + \frac{1}{j\omega C_1 R_\Sigma} \right] = \left[ 1 + \frac{C_{L\Sigma}}{C_2} + \frac{1}{j\omega C_2 R_\Sigma} - \frac{1}{\omega^2 C_2 L} \right] i_2, \quad (2.13)$$

$$i_1 = \frac{1 + \frac{C_{L\Sigma}}{C_2} + \frac{1}{j\omega C_2 R_\Sigma} - \frac{1}{\omega^2 C_2 L}}{\frac{C_{L\Sigma}}{C_1} - \frac{1}{\omega^2 C_1 L} + \frac{1}{j\omega C_1 R_\Sigma}} i_2, \quad (2.14)$$

$$1 + \frac{C_{L\Sigma}}{C_2} + \frac{1}{j\omega C_2 R_\Sigma} - \frac{1}{\omega^2 C_2 L} = \frac{j\omega^2 C_2 R_\Sigma L + C_{L\Sigma} j\omega^2 R_\Sigma L + \omega L - jR_\Sigma}{j\omega^2 C_2 R_\Sigma L}, \quad (2.15)$$

$$\frac{C_{L\Sigma}}{C_1} - \frac{1}{\omega^2 C_1 L} + \frac{1}{j\omega C_1 R_\Sigma} = \frac{C_{L\Sigma} j\omega^2 R_\Sigma L - jR_\Sigma + \omega L}{j\omega^2 C_1 R_\Sigma L}, \quad (2.16)$$

$$\frac{(j\omega^2 C_2 R_\Sigma L + C_{L\Sigma} j\omega^2 R_\Sigma L + \omega L - jR_\Sigma) j\omega^2 C_1 R_\Sigma L}{j\omega^2 C_2 R_\Sigma L (C_{L\Sigma} j\omega^2 R_\Sigma L - jR_\Sigma + \omega L)} = \quad (2.17)$$

$$\begin{aligned} &= \frac{j\omega^2 C_2 R_\Sigma L + C_{L\Sigma} j\omega^2 R_\Sigma L + \omega L - jR_\Sigma}{C_{L\Sigma} j\omega^2 R_\Sigma L - jR_\Sigma + \omega L} * \frac{C_1}{C_2} = \\ &= \frac{C_1}{C_2} * \left[ 1 + \frac{j\omega^2 C_2 R_\Sigma L}{\omega L + jR_\Sigma (C_{L\Sigma} \omega^2 L - 1)} \right], \\ i_1 &= \frac{C_1}{C_2} * \left[ 1 + \frac{j\omega^2 C_2 R_\Sigma L}{\omega L + jR_\Sigma (C_{L\Sigma} L \omega^2 - 1)} \right] * i_2; \end{aligned} \quad (2.18)$$

При резонансе  $\omega = \frac{1}{\sqrt{C_L L}}$  :

$$i_1 = \frac{C_1}{C_2} * [1 + \omega j C_2 R] * i_2 + i_2 = \left[ 1 + \frac{C_1}{C_2} + \omega j C_1 R \right] * i_2 = i_0; \quad (2.19)$$

$$\begin{aligned} U_2 &= U_1 - \frac{i_2}{j\omega C_2} = \frac{i_1}{j\omega C_1} - \frac{i_2}{j\omega C_2} = \\ &= \frac{i_1}{j\omega C_1} - \frac{1}{j\omega C_2} i_1 \frac{C_2}{C_1} * \frac{1}{1 + \frac{j\omega^2 C_2 R_\Sigma L}{\omega L + jR_\Sigma (C_{L\Sigma} L \omega^2 - 1)}} = \end{aligned} \quad (2.20)$$

$$\begin{aligned} &= U \left[ 1 - \frac{1}{1 + \frac{j\omega^2 C_2 R_\Sigma L}{\omega L + jR_\Sigma (C_{L\Sigma} L \omega^2 - 1)}} \right], \\ \frac{U_2}{U_1} &= 1 - \frac{1}{1 + \frac{j\omega^2 C_2 R_\Sigma L}{\omega L + jR_\Sigma (C_{L\Sigma} L \omega^2 - 1)}}; \end{aligned} \quad (2.21)$$

При резонансе, когда  $\omega = \frac{1}{\sqrt{C_L L}}$  .

$$\frac{U_2}{U_1} = 1 - \frac{1}{1 + j\omega C_2 R}, \quad (2.22)$$



Для схемы, приведённой на рисунке 1.11. получим следующее выражение:

$$\frac{U_2}{U_1} = 1 - \frac{1}{1 - \frac{\omega^2 C_2 R_\Sigma L}{j\omega L - R_\Sigma (C_{L\Sigma} L \omega^2 + 1)}}. \quad (2.23)$$

Здесь:  $j$  - мнимая единица;  $\omega$  - угловая частота электромагнитного поля;  $U_2$  - выходное напряжение;  $U_1$  - входное напряжение электрической схемы.

Заметим, что максимум величины  $U_2/U_1$  не совпадает с точкой для которой выполняется равенство индуктивной и емкостной проводимостей контура, то есть с точкой резонанса.

Рассмотрим пересчёт параметров «модифицированной» схемы Неймана в параметры схемы Неймана:

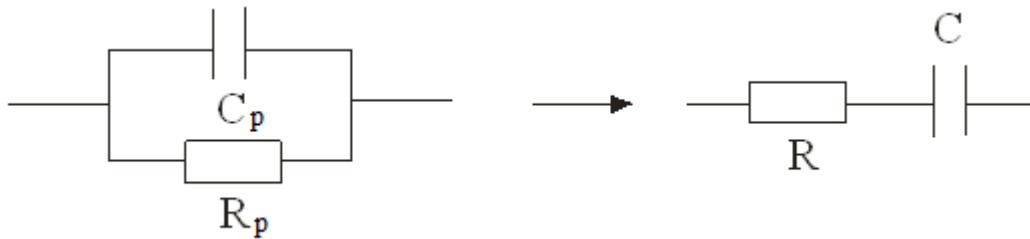


Рисунок 2.5 – переход из модифицированной схемы Неймана в схему Неймана

Комплексное сопротивление цепи Неймана определится следующим образом:

$$Z = R - \frac{j}{\omega C}. \quad (2.24)$$

Комплексное сопротивление «модифицированной» цепи Неймана определится следующим образом:

$$\frac{1}{Z_p} = \frac{1}{R_p} - \frac{\omega C_p}{j}, \quad (2.25)$$

$$Z_p = \frac{R_p}{1 + j\omega C_p R_p} = \frac{R_p(1 - j\omega C_p R_p)}{1 + \omega^2 C_p^2 R_p^2} = \quad (2.26)$$

$$= \frac{R_p}{1 + \omega^2 C_p^2 R_p^2} - j \frac{\omega C_p R_p^2}{1 + \omega^2 C_p^2 R_p^2}.$$

Приравнивая действительные и мнимые части приведённых выше выражений, получим:

$$\frac{1}{\omega C} = \frac{\omega C_p R_p^2}{1 + \omega^2 C_p^2 R_p^2}; \quad (2.27)$$

$$R = \frac{R_p}{1 + \omega^2 C_p^2 R_p^2}. \quad (2.28)$$

Полученные экспериментальные значения ёмкости и сопротивления факельного плазмотрона позволяют провести оценку величины фазового сдвига между высокочастотным током и напряжением плазмотрона. Эту величину получим исходя из анализа цепи Неймана. Комплексное сопротивление цепи Неймана, представляющей собой последовательно соединённые ёмкость и сопротивление, можно записать следующим образом:

$$Z = |Z|e^{j\varphi}, \quad (2.29)$$

$$|Z| = \sqrt{R^2 + \frac{1}{(\omega C)^2}}, \quad (2.30)$$

$$\varphi = \arctg \frac{1}{\omega CR}; \quad (2.31)$$

Ток и напряжение факельного плазмотрона связаны между собой следующим выражением:

$$U = IZ. \quad (2.32)$$

Поэтому фазовый сдвиг между током и напряжением будет определяться выражением (2.32).

### 3 Экспериментальное определение величины комплексного сопротивления ВЧ факельного плазмотрона

Ёмкость плазмотрона определялась по величине изменения переменной ёмкости  $C_L$  для различных режимов работы плазмотрона.

На рисунке 3.1. приведены кривые зависимости тока, протекающего в высоковольтном электроде от величины ёмкости переменного конденсатора  $C_L$  для случая факельного разряда мощностью 2,5 кВт. Кривая, соответствующая режиму с поджигом разряда заканчивается сразу после точки экстремума. Это связано с невозможностью получения режима устойчивого горения разряда, вследствие сильного падения напряжения на высоковольтном электроде.

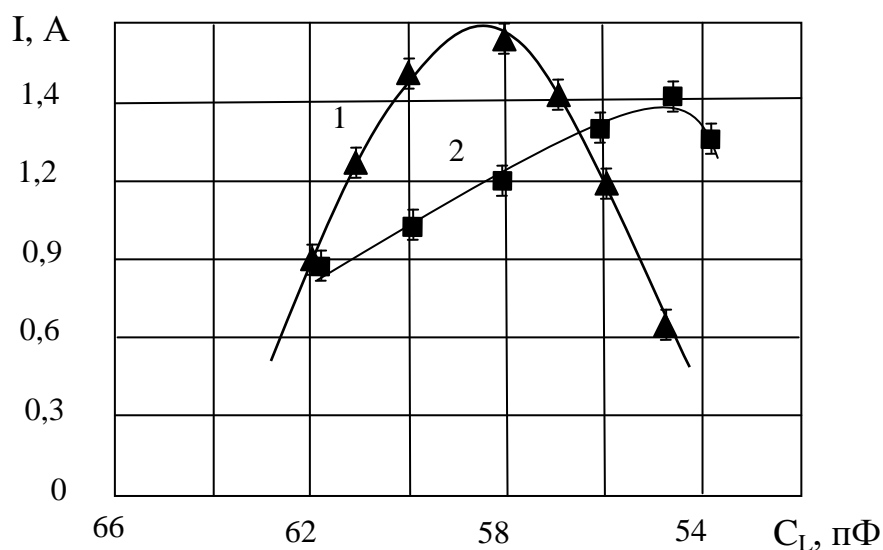


Рисунок 3.1 – Зависимость тока в высоковольтном электроде от величины переменной ёмкости; 1 – без поджига разряда; 2 – с поджигом разряда

Как видно из рисунка 3.1. величина ёмкости факельного разряда мощностью 2,5 кВт в соответствии с “модифицированной” схемой Неймана составляет 4 пикоФарады. При этом длина и диаметр канала разряда составляли соответственно 50 см и 4 мм.

Однако, экспериментально полученная нами величина ёмкости соответствует “модифицированной” схеме Неймана, а не собственно схеме Неймана в виде последовательно соединённых ёмкости и сопротивления. Для того чтобы провести пересчёт ёмкости из одной схемы в другую необходимо знать сопротивление разряда.

Сопротивление плазмотрона, которое представляет собой активное сопротивление факельного разряда, можно определить по отношению выходного напряжения колебательного контура к входному напряжению.

В результате измерений нами получено, что для колебательного контура без поджига разряда максимальная величина  $U_2/U_1=14,7$ . В соответствии с формулой (2.23) получим величину собственного сопротивления колебательного контура  $R_k=14,8$  кОм.

В случае горения разряда мощностью 2,5 кВт максимальная величина  $U_2/U_1=1,35$ , что соответствует величине сопротивления 1360 Ом. С учётом собственного сопротивления контура для сопротивления разряда мощностью 2,5 кВт получим:  $R_p=1498$  Ом. Электрические характеристики разряда мощностью 2,5 кВт в соответствии со схемой Неймана:  $R=462$  Ом;  $C=5,78$  пФ.

Аналогичным образом были проведены измерения и расчеты ёмкости, сопротивления и соответствующего  $\cos \varphi$  для частот 40, 30 и 20 МГц при различной величине мощности разряда. Так как длина канала факельного разряда изменяется пропорционально его мощности, полученные результаты представлены в виде зависимостей соответствующих величин от длины канала разряда. Полученные данные представлены в таблицах 3.1, 3.2 и 3.3.

Таблица 3.1 – Результаты горящего разряда при частоте электромагнитного поля 40 МГц.

L, м	R, Ом	C, пФ	$\varphi$ , рад	$\cos \varphi$
0,1	1160	3,5	0,777954	0,712351
0,2	870	3,9	0,867319	0,646873

0,3	680	4,4	0,928576	0,598975
0,4	560	5	0,96007	0,573462
0,5	460	5,8	0,982563	0,554892

Таблица 3.2 – Результаты горящего разряда при частоте электромагнитного поля 30 МГц.

L, м	R, Ом	C, пФ	$\varphi$ , рад	$\cos \varphi$
0,1	1380	2,9	0,925776	0,601214
0,2	1000	3,4	1,002051	0,538575
0,3	800	3,95	1,034741	0,510749
0,4	660	4,6	1,052148	0,495706
0,5	550	5,4	1,061557	0,487513

Таблица 3.3 – Результаты горящего разряда при частоте электромагнитного поля 20 МГц.

L, м	R, Ом	C, пФ	$\varphi$ , рад	$\cos \varphi$
0,1	1570	2,6	1,095749	0,457381
0,2	1180	3,1	1,138908	0,418586
0,3	950	3,6	1,163922	0,395741
0,4	790	4,2	1,174812	0,385717
0,5	660	5	1,176744	0,383933

По полученным результатам были построены зависимости активного сопротивления, ёмкости и  $\cos \varphi$  от его длины. (Рисунки 3.2, 3.3 и 3.4)

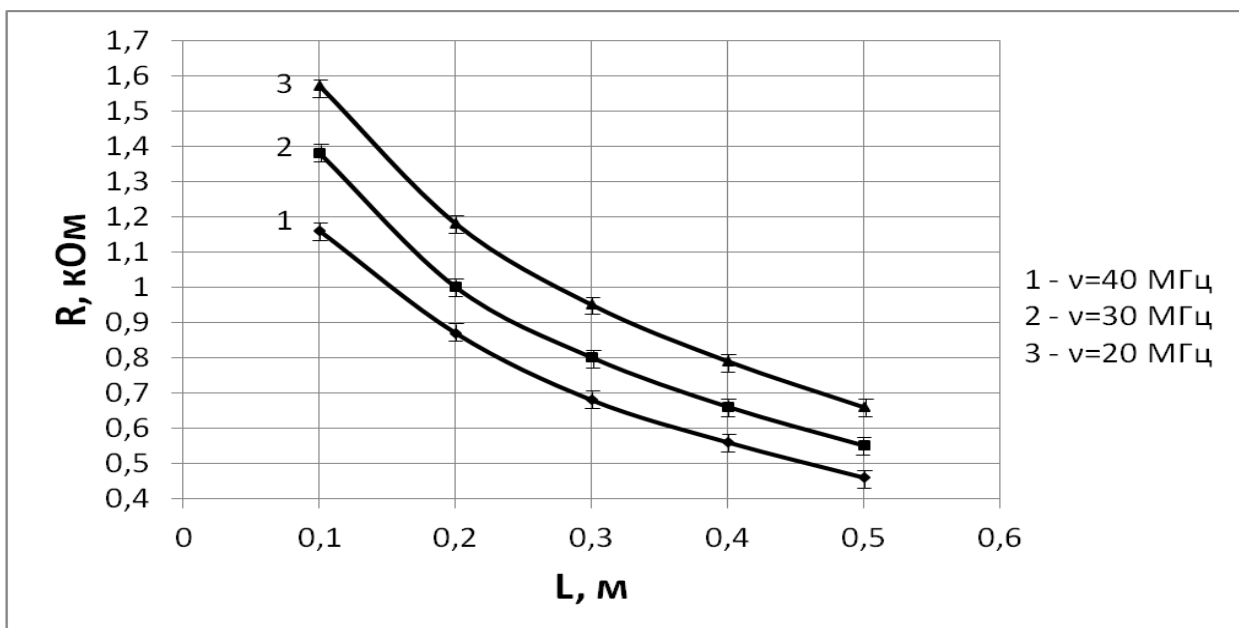


Рисунок 3.2 – Зависимость активного сопротивления факельного плазмотрона от длины канала разряда.

Из рисунка 3.2 видно, что активное сопротивление с увеличением длины канала разряда становится меньше и также оно становится меньше с увеличением частоты.

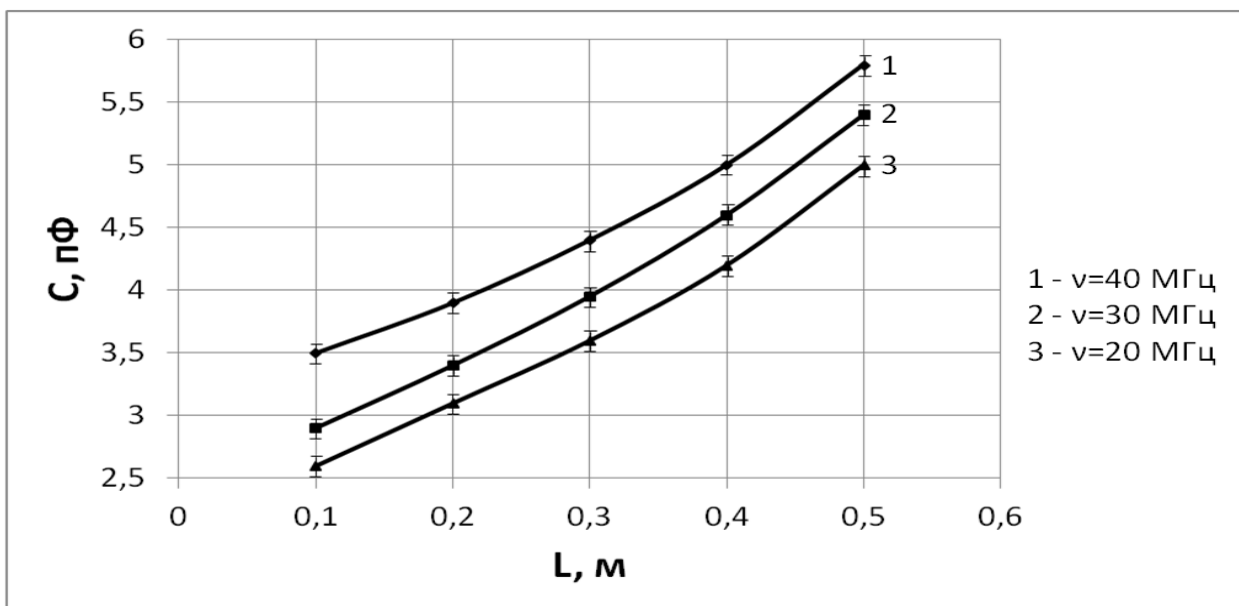


Рисунок 3.3 – Зависимость емкости факельного плазмотрона от длины канала разряда.

Из рисунка 3.3 видно, что емкость факельного плазмотрона практически линейно увеличивается с увеличением длины канала, также видно, что с увеличением частоты электромагнитного поля емкость также увеличивается.

Рассмотрим как ведет себя график зависимости  $\cos \varphi$  от его мощности (длины канала).

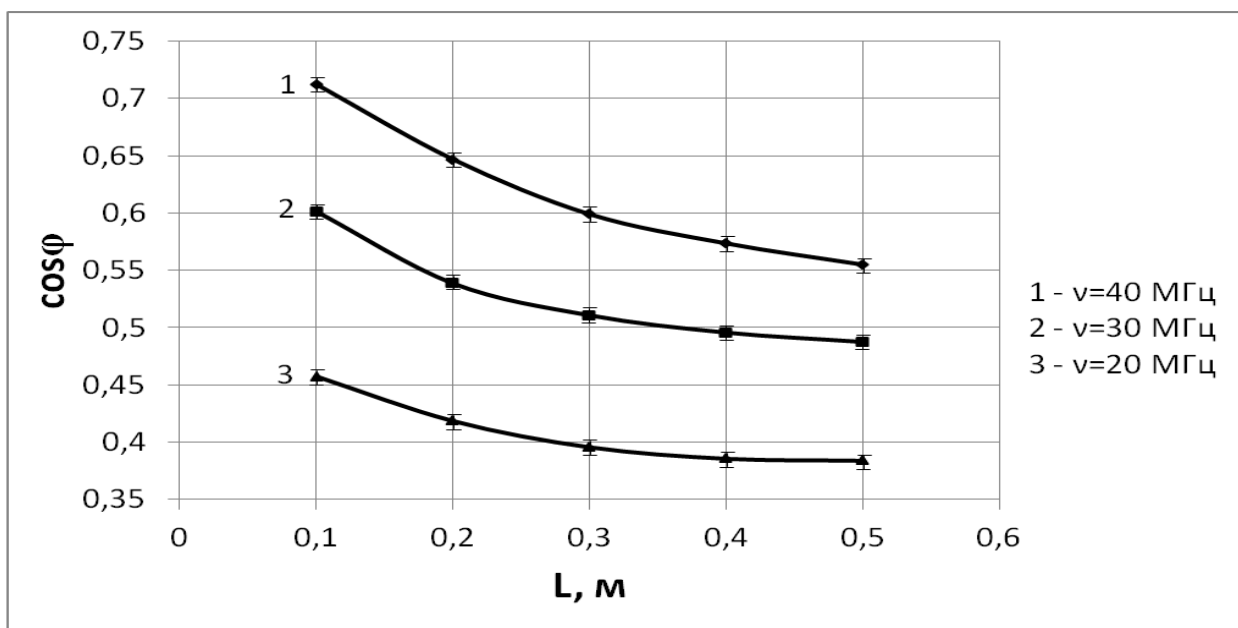


Рисунок 3.4 – Зависимость  $\cos \varphi$  факельного плазмотрона от длины канала разряда.

Как видно из рисунка 3.4, с увеличением длины канала разряда КПД плазмотрона становится меньше, а с увеличением частоты КПД увеличивается.

#### **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.

Таким образом, целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является проектирование и создание конкурентоспособных разработок, технологий, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения. Достижение цели обеспечивается решением задач:

- оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований;
- планирование научно-исследовательских работ;
- расчет бюджета научно-технического исследования.



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

### **4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования**

В данной научно-исследовательской работе определяется величина комплексного сопротивления высокочастотного факельного плазмотрона в зависимости от частоты электрического поля и длины канала разряда

Целевым рынком данного исследования будут являться предприятия нефтедобывающей и нефтехимической промышленности, а также предприятия по переработке радиоактивных и ТБО отходов.

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

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

Конкурент 1 – патент РФ 2149885, ООО «Плазмохим», Россия.

Конкурент 2 – патент РФ 2142845, АО «СХК», Россия.

Оценочная карта анализа представлена в таблице 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:

$$K = \sum B_i \cdot b_i, \quad (1)$$

где  $K$  – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

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

$B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

Таблица 4.1 – 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.Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,1	5	4	3	0,5	0,4	0,3
2.Энергоэкономичность	0,9	5	3	3	0,9	0,54	0,54
3.Надежность	0,18	5	4	3	0,25	0,2	0,15
4.Простота эксплуатации	0,1	4	3	3	0,5	0,3	0,3
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
1.Конкурентоспособность продукта	0,07	4	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	4	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>59</b>	<b>52</b>	<b>46</b>	<b>4,84</b>	<b>3,81</b>	<b>3,44</b>

В результате можно увидеть, что предлагаемое исследование по уменьшению энергетических затрат при генерации плазменных струй способно составить конкуренцию существующим на этом рынке патентам.

#### 4.1.3 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.

Сильные стороны – это факторы, характеризующие конкурентоспособную сторону научно-исследовательского проекта. Сильные стороны свидетельствуют о том, что у проекта есть отличительное преимущество или особые ресурсы, являющиеся особенными с точки зрения конкуренции. Другими словами, сильные стороны – это ресурсы или возможности, которыми располагает руководство проекта и которые могут быть эффективно использованы для достижения поставленных целей. При этом важно рассматривать сильные стороны и с точки зрения руководства проекта, и с точки зрения тех, кто в нем еще задействован. При этом рекомендуется задавать следующие вопросы:

- Какие технические преимущества вы имеете по сравнению с конкурентами?
- Что участники вашего проекта умеют делать лучше всех?
- Насколько ваш проект близок к завершению по сравнению с конкурентами?

Слабые стороны – это недостаток, упущение или ограниченность научно-исследовательского проекта, которые препятствуют достижению его целей. Это то, что плохо получается в рамках проекта или где он располагает недостаточными возможностями или ресурсами по сравнению с конкурентами. Чтобы прояснить в каких аспектах вас, возможно, превосходят конкуренты, следует спросить:

- Что можно улучшить?
- Что делается плохо?
- Чего следует избегать?

Возможности включают в себя любую предпочтительную ситуацию в настоящем или будущем, возникающую в условиях окружающей среды проекта, например, тенденцию, изменение или предполагаемую потребность, которая поддерживает спрос на результаты проекта и позволяет руководству проекта улучшить свою конкурентную позицию. Формулирование возможностей проекта можно упростить, ответив на следующие вопросы:

- Какие возможности вы видите на рынке?
- В чем состоят благоприятные рыночные возможности?
- Какие интересные тенденции отмечены?
- Какие потребности, пожелания имеются у покупателя, но не удовлетворяются конкурентами?

Угроза представляет собой любую нежелательную ситуацию, тенденцию или изменение в условиях окружающей среды проекта, которые имеют разрушительный или угрожающий характер для его конкурентоспособности в настоящем или будущем. В качестве угрозы может выступать барьер, ограничение или что-либо еще, что может повлечь за собой проблемы, разрушения, вред или ущерб, наносимый проекту. Для выявления угроз проекта рекомендуется ответить на следующие вопросы:

- Какие вы видите тенденции, которые могут уничтожить ваш научно-исследовательский проект или сделать его результаты устаревшими?
- Что делают конкуренты?
- Какие препятствия стоят перед вашим проектом (например, изменения в законодательстве, снижение бюджетного финансирования проекта, задержка финансирования проекта и т.п.)?
- Изменяются ли требуемые спецификации или стандарты на результаты научного исследования?
- Угрожает ли изменение технологии положению вашего проекта?
- Имеются ли у руководства проекта проблемы с материально-техническим обеспечением?

Результаты первого этапа SWOT-анализа представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Матрица SWOT

	<p><b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b>  С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии;  С2. Квалифицированный персонал;  С3. Маленький срок получения результатов при проведении научного исследования.</p>	<p><b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b>  Сл1. Длительный период при некоторых видах исследований;  Сл2. Недостаток финансовых средств;  Сл3. Отсутствие необходимого оборудования для проведения исследований;  Сл4. У руководства НИР проблемы с материально-техническим обеспечением.</p>
<p><b>Возможности:</b>  В1. Появление дополнительного спроса на новый продукт;  В2. Повышение стоимости конкурентных разработок;  В3. Использование научно-исследовательских достижений ТПУ.</p>		
<p><b>Угрозы:</b>  У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства;  У2. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства</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.

В рамках данного этапа необходимо построить интерактивную матрицу проекта. Ее использование помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей матрицы SWOT. Возможно использование этой матрицы в качестве одной из основ для оценки вариантов

стратегического выбора. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-». Пример интерактивной матрицы проекта представлен в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта				
Возможности проекта		C1	C2	C3
	B1	+	-	+
	B2	+	0	+
	B3	+	+	-

Слабые стороны проекта					
Возможности проекта		Сл.1	Сл.2	Сл.3	Сл.4
	B1	0	0	-	-
	B2	0	-	0	-
	B3	-	+	+	+

Сильные стороны проекта				
Угрозы проекта		C1	C2	C3
	У1	+	+	-
	У2	+	0	-

Слабые стороны проекта					
Угрозы проекта		Сл.1	Сл.2	Сл.3	Сл.4
	У1	+	-	-	-
	У2	0	-	-	-

Анализ интерактивных таблиц представляется в форме записи сильно коррелирующих сильных сторон и возможностей, или слабых сторон и

возможностей и т.д. следующего вида: В1С1С2С5; В4С1С4. 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 4.4).

Таблица 4.4 – Итоговая матрица SWOT – анализа

	<b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b> С1.Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии; С2.Квалифицированный персонал; С3.Маленький срок получения результатов при проведении научного исследования.	<b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b> Сл1.Длительный период при некоторых видах исследований; Сл2.Недостаток финансовых средств; Сл3.Отсутствие необходимого оборудования для проведения исследований; Сл4.У руководства НИР проблемы с материально-техническим обеспечением.
<b>Возможности:</b> В1.Появление дополнительного спроса на новый продукт; В2.Повышение стоимости конкурентных разработок; В3.Использование научно-исследовательских достижений ТПУ.	При использовании научно-исследовательских достижений ТПУ можно снизить стоимость производимой продукции и тем самым заявить об экономичности технологии.	Научно-исследовательские достижения ТПУ могут быть использованы при отсутствии необходимого оборудования и недостатке финансирования.
<b>Угрозы:</b> У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства; У2. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства	Заявленная экономичность и энергоэффективность может быть не оправдана при отсутствии спроса на новые технологии и несвоевременном финансировании научного исследования.	Отсутствие необходимого оборудования и длительность периода исследований может привести к отсутствию спроса на новые технологии.

## 4.2 Планирование научно-исследовательских работ

### 4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

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

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

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 4.5.

Таблица 4.5 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб.	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель, Бакалавр
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Бакалавр
	3	Анализ исходных данных	Бакалавр
	4	Выбор направления исследований	Бакалавр, руководитель



	5	Календарное планирование работ по теме	Бакалавр
Теоретические и экспериментальные исследования	6	Разработка лабораторного макета	Бакалавр
	7	Экспериментальное исследование	Бакалавр, руководитель
Обобщение и оценка результатов	8	Оценка эффективности полученных результатов	Бакалавр
	9	Анализ и обработка полученных результатов	Бакалавр
	10	Оформление пояснительной записки к ВКР	Бакалавр
	11	Подготовка к защите ВКР	Бакалавр

#### 4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости  $t_{ож\ i}$  используется следующая формула:

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

где  $t_{ож\ i}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы чел.-дн.;

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

$t_{\max\ i}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

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

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}, \quad (3)$$

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.

#### 4.2.3 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:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (4)$$

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:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (5)$$

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

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

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

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

Все рассчитанные значения необходимо свести в таблицу (таблица 4.6).

Таблица 4.6 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работ			Исполнитель и	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 технического задания	3	5	3,8	Б, Р	3,8	5
Подбор и изучение материалов по теме	10	15	12	Б	12	14
Анализ исходных данных	5	7	5,8	Б	5,8	7
Выбор направления исследований	3	6	4,2	Б, Р	2,1	3
Календарное планирование работ по теме	2	2,5	2,2	Б	2,2	3
Разработка лабораторного макета	10	15	12	Б	12	14
Экспериментальное исследование	4	6	4,8	Б, Р	2,4	3
Оценка эффективности полученных результатов	5	7	5,8	Б	5,8	7
Анализ и обработка полученных результатов	2	4	2,8	Б, Р	1,4	2

Оформление пояснительной записки к ВКР	6	10	7,6	Б	7,6	9
Подготовка к защите ВКР	4	7	5,2	Б	5,2	6
<b>Итого:</b>			<b>66,2</b>		<b>60,3</b> <b>Р/Б</b> <b>9,7/56,5</b>	<b>73</b> <b>Р/Б</b> <b>13/68</b>

График строится разбивкой по месяцам и декадам за период времени дипломирования. При этом работы на графике выделены разными цветами, в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу. Календарный план-график выполнения дипломной работы представлен на рисунке 4.1.

№	Вид работ	Исполнитель	Тк, кал.д н.	Продолжительность выполнения работ												
				Март			Апрель			Май			Июнь			
				1	2	3	1	2	3	1	1	1	1	2		
1	Составление и утверждение технического задания	Б,Р	5	■												
2	Подбор и изучение материалов по теме	Б	14		■	■	■									
3	Анализ исходных данных	Б	7			■	■	■								
4	Выбор направления исследований	Б,Р	3				■	■								
5	Календарное планирование работ по теме	Б	3				■	■	■							
6	Разработка лабораторного макета	Б	14					■	■	■	■	■	■	■	■	■
7	Экспериментальное исследование	Б,Р	3							■	■	■				

8	Оценка эффективности полученных результатов	Б	7												
9	Анализ и обработка полученных результатов	Б,Р	2												
10	Оформление пояснительной записки к ВКР	Б	9												
11	Подготовка к защите ВКР	Б	6												

Рисунок 4.1 – Календарный план-график проведения научного исследования.

 - бакалавр,  - руководитель.

#### 4.2.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

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

- 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);
- затраты научные и производственные командировки;
- контрагентные расходы;
- накладные расходы.

#### 4.2.5 Расчет материальных затрат НИИ

Данная статья включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта:

- приобретаемые со стороны сырье и материалы, необходимые для создания научно-технической продукции;
- покупные материалы, используемые в процессе создания научно-технической продукции для обеспечения нормального технологического процесса и для упаковки продукции или расходованных на другие производственные и хозяйственные нужды (проведение испытаний, контроль, содержание, ремонт и эксплуатация оборудования, зданий, сооружений, других основных средств и прочее), а также запасные части для ремонта оборудования, износа инструментов, приспособлений, инвентаря, приборов, лабораторного оборудования и других средств труда, не относимых к основным средствам, износ спецодежды и других малоценных и быстроизнашивающихся предметов;
- покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, подвергающиеся в дальнейшем монтажу или дополнительной обработке;
- сырье и материалы, покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, используемые в качестве объектов исследований (испытаний) и для эксплуатации, технического обслуживания и ремонта изделий – объектов испытаний (исследований).

В материальные затраты, помимо вышеуказанных, включаются дополнительно затраты на канцелярские принадлежности, диски, картриджи и т.п. Однако их учет ведется в данной статье только в том случае, если в научной организации их не включают в расходы на использование оборудования или накладные расходы. В первом случае на них определяются соответствующие нормы расхода от установленной базы. Во втором случае

их величина учитывается как некая доля в коэффициенте накладных расходов.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_M = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхi}, \quad (6)$$

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

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

$C_i$  – цена приобретения единицы  $i$ -го 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.

Все материалы, используемые для создания исследовательской установки являются собственностью отделения ядерно-топливного цикла инженерной школы ядерных технологий, поэтому в расчет показателей затрат стоимость и вспомогательных, комплектующих материалов не берется.

#### **4.2.6 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ**

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стенов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме. Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене.

При проведении научно-технических исследований, специальное оборудование, необходимое для проведения работ, не использовалось. Затраты на специальное оборудование для научных работ отсутствуют.

#### 4.2.7 Основная заработная плата исполнителей темы

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

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

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (7)$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата;

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

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

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (8)$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата одного работника;

$T_p$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:



$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}}, \quad (9)$$

где  $Z_{\text{м}}$  – месячный должностной оклад работника, руб. (в качестве месячного оклада дипломника выступает стипендия, которая составляет 9893 руб. и 36800 руб. для доцента, доктора физико-математических наук);

$F_{\text{д}}$  – количество рабочих дней в месяце (среднее количество рабочих дней – 25);

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 48 раб. дней  $M=10,4$  месяца, 6-ти дневная неделя.

Баланс рабочего времени представлен в таблице 7.

Таблица 4.7 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Бакалавр
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
-выходные дни	52	52
-праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
-отпуск	56	56
-невыходы по болезни	–	–
Действительный годовой фонд рабочего времени	243	243

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}}, \quad (10)$$

$$Z_{\text{м}} = 36800 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 71760 \text{ руб.},$$

где  $Z_{\text{тс}}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб. ( $Z_{\text{тс}}$  составляет 36800 руб.);

$k_{\text{пр}}$  – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от  $Z_{\text{тс}}$ );

$k_d$  – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15 – 20 % от  $Z_{тс}$ );

$k_p$  – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 8.

Таблица 4.8 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_{тс}$ , руб.	$k_{пр}$	$k_d$	$k_p$	$Z_m$ , руб.	$Z_{дн}$ , руб.	$T_p$ , раб. дн.	$Z_{осн}$ , руб.
Руководитель	36800	0,3	0,2	1,3	71760	1472	9,7	14278,5
Бакалавр	9893	0,3	0,2	1,3	19291	771,5	56,5	43589,8
Итого								57868,3

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

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}), \quad (11)$$

$$Z_{внеб} = 0,302 \cdot 14278,5 = 4312,1 \text{ руб.},$$

$$Z_{внеб} = 0,302 \cdot 43589,8 = 13164,1 \text{ руб.},$$

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

#### **4.2.9 Расчет затрат на научные и производственные командировки**

Затраты на научные и производственные командировки исполнителей определяются в соответствии с планом выполнения темы и с учетом действующих норм командировочных расходов различного вида и транспортных тарифов.

При проведении НТИ не было научных и производственных командировок, таким образом, в данном случае можно говорить, что затраты на научные и производственные командировки отсутствуют.

#### **4.2.10 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.

Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) * k_{\text{нр}}, \quad (12)$$

где  $k_{\text{нр}}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

$$Z_{\text{накл}} = (75344,5) * 0,16 = 12055,12 \text{ руб.},$$

#### **4.2.11 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. 9.

Таблица 4.9 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	Примечание
1. Материальные затраты НИИ	0	пункт 2.4.1
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	0	пункт 2.4.2
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	57868,3	пункт 2.4.3
4. Отчисления во внебюджетные фонды	17476,2	пункт 2.4.4
5. Затраты на научные и производственные командировки	0	пункт 2.4.5
6. Накладные расходы	12055,1	пункт 2.4.6
Бюджет затрат НИИ	87399,6	

### 4.3 Вывод

При планировании научно-исследовательской работы был произведен подсчет бюджета исследования. В процессе формирования бюджета были использованы группировки по затратам по основной заработной плате исполнителей (57868,3 руб.), отчислениям во внебюджетные фонды (17476,2 руб.) и накладным расходам (12055,1 руб.) Всего бюджет затрат НИИ составил 87399,6 руб. Данная оценка коммерческой ценности необходима, чтобы представлять состояние и перспективы проводимых научных исследований.

## **5 Социальная ответственность**

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

Охрана труда – это система законодательных, социально-экономических, организационных, технологических, гигиенических и лечебно-профилактических мероприятий и средств, обеспечивающих безопасность, сохранение здоровья и работоспособности человека в процессе труда [4].

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

Опасным производственным фактором, согласно [4], называется такой производственный фактор, воздействие которого в определенных условиях приводят к травме или другому внезапному, резкому ухудшению здоровья.

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

### **5.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов**

В таблице 5.1 представлены основные виды работ которые могут привести к воздействию опасных и вредных факторов.

Таблица 5.1 – Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы

Наименование видов работ и параметров производственного процесса	Вредные факторы	Опасные факторы	Нормативные документы
К. 0016 Работы с плазмотроном	—	Температура	ГОСТ 12.4.026. Термобезопасность. Общие требования.
К. 316 Работа с ПК	—	Высокое напряжение	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность
	Ультрафиолетовое излучение	—	ГОСТ 12.4.080-79 ССБТ. Светофильтры стеклянные для защиты глаз от вредных излучений на производстве
	Воздействие радиации (ВЧ,УВЧ,СВЧ и т.д.)	—	СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы.
	—	Пожарная опасность	ГОСТ Р12.1.004-85 ССБТ. Пожарная безопасность

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

На инженера, работа которого связана на компьютере, воздействуют следующие факторы:

физические:

- температура и влажность воздуха;
- шум;
- статическое электричество;
- электромагнитное поле низкой частоты;
- освещённость;
- наличие излучения;

психофизиологические.

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

## **5.2 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния на персонал.**

### **5.2.1 Организационные мероприятия**

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

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

Лица, обслуживающие электроустановки не должны иметь увечий и болезней, мешающих производственной работе. Состояние здоровья устанавливается медицинским освидетельствованием.

### **5.2.2 Организация рабочего места оператора ПК**

Рациональная планировка рабочего места предусматривает четкий порядок и постоянство размещения предметов, средств труда и документации. То, что требуется для выполнения работ чаще должно располагаться в зоне легкой досягаемости рабочего пространства, как показано на рисунке 5.1.

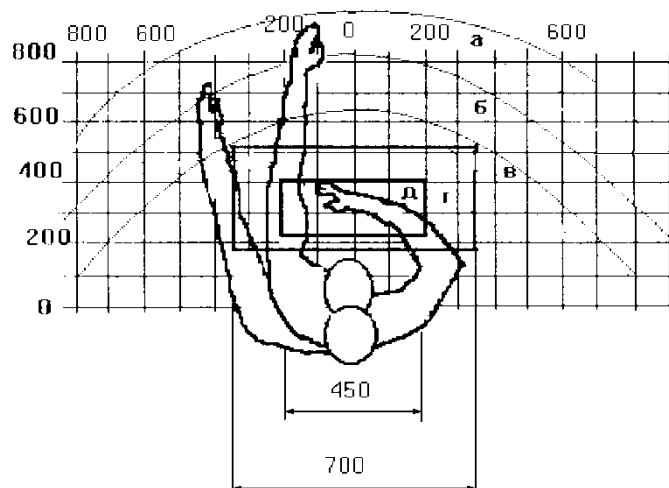


Рисунок 5.1 - Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости

а - зона максимальной досягаемости рук;

б - зона досягаемости пальцев при вытянутой руке;

в - зона легкой досягаемости ладони;

г - оптимальное пространство для грубой ручной работы;

д - оптимальное пространство для тонкой ручной работы.

Оптимальное размещение предметов труда и документации в зонах досягаемости рук: дисплей размещается в зоне а (в центре); клавиатура – в зоне г/д; системный блок размещается в зоне б (слева); принтер находится в зоне а (справа); документация : в зоне легкой досягаемости ладони – в (слева) – литература и документация, необходимая при работе; в выдвижных ящиках стола – литература, не используемая постоянно.

При проектировании письменного стола должны быть учтены следующие требования.

Высота рабочей поверхности стола рекомендуется в пределах 680-800 мм. Высота рабочей поверхности, на которую устанавливается клавиатура, должна быть 650 мм. Рабочий стол должен быть шириной не менее 700 мм и длиной не менее 1400 мм. Должно иметься пространство для ног высотой не



менее 600 мм, шириной – не менее 500 мм, глубиной на уровне колен – не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног – не менее 650 мм.

Рабочее кресло должно быть подъёмно-поворотным и регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а так же расстоянию спинки до переднего края сиденья. Рекомендуется высота сиденья над уровнем пола 420-550 мм. Конструкция рабочего кресла должна обеспечивать: ширину и глубину поверхности сиденья не менее 400 мм; поверхность сиденья с заглублённым передним краем.

Монитор должен быть расположен на уровне глаз оператора на расстоянии 500-600 мм. Согласно нормам угол наблюдения в горизонтальной плоскости должен быть не более 45 градусов к нормали экрана. Лучше если угол обзора будет составлять 30 градусов. Кроме того должна быть возможность выбирать уровень контрастности и яркости изображения на экране.

Должна предусматриваться возможность регулирования экрана:

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

Клавиатуру следует располагать на поверхности стола на расстоянии 100-300 мм от края. Нормальным положением клавиатуры является её размещение на уровне локтя оператора с углом наклона к горизонтальной плоскости 15 градусов. Более удобно работать с клавишами, имеющими вогнутую поверхность, четырёхугольную форму с закруглёнными углами. Конструкция клавиши должна обеспечивать оператору ощущение щелчка. Цвет клавиш должен контрастировать с цветом панели.

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

напряженности, рекомендуются оттенки тёплых тонов, которые возбуждают активность человека.

### 5.2.3 Условия безопасной работы

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

Воздух рабочей зоны (микроклимат) производственных помещений определяют следующие параметры: температура, относительная влажность, скорость движения воздуха. Оптимальные и допустимые значения характеристик микроклимата устанавливаются в соответствии с [17] и приведены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Оптимальные параметры микроклимата.

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

Таблица 5.3 – Допустимые параметры микроклимата

Период года	Температура, °С		Температура поверхностей, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
	Диапазон ниже допустимого значения	Диапазон выше допустимого значения			
Холодный	20,0-21,9	24,1-25,0	19,0-26,0	15-75	0,1
Тёплый	21,0-22,9	25,1-28,0	20,0-29,0	15-75	0,2

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

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

Шум и вибрация ухудшают условия труда, оказывают вредное воздействие на организм человека, а именно, на органы слуха и на весь организм через центральную нервную систему. В результате этого ослабляется внимание, ухудшается память, снижается реакция, увеличивается число ошибок при работе. Шум может создаваться работающим оборудованием, установками кондиционирования воздуха, осветительными приборами дневного света, а также проникать извне. При выполнении работы на ПЭВМ уровень шума на рабочем месте не должен превышать 50 дБ.

Экран и системные блоки производят электромагнитное излучение. Основная его часть происходит от системного блока и видео-кабеля. Согласно [17], напряженность электромагнитного поля на расстоянии 50 см

вокруг экрана по электрической составляющей должна быть не более:

- в диапазоне частот 5Гц-2кГц - 25В/м;
- в диапазоне частот 2кГц-400кГц - 2,5В/м.
- Плотность магнитного потока должна быть не более:
- в диапазоне частот 5Гц-2кГц - 250нТл;
- в диапазоне частот 2кГц-400кГц - 25нТл.

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.

При работе с компьютером источником ионизирующего излучения является дисплей. Под влиянием ионизирующего излучения в организме может происходить нарушение нормальной свертываемости крови, увеличение хрупкости кровеносных сосудов, снижение иммунитета и др. Доза облучения при расстоянии до дисплея 20 см составляет 50мкбэр/час. По нормам [17], конструкция ЭВМ должна обеспечивать мощность экспозиционной дозы рентгеновского излучения в любой точке на расстоянии 0,05м от экрана не более 100 мкР/час.

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

### **5.3 Требования безопасности при работе с высокочастотным факельным плазмотроном**

При работе с ВЧ факельным плазмотроном необходимо соблюдать ряд требований безопасности:

1. К работе на ВЧ факельном плазмотроне (далее установка) допускаются лица, не моложе 18-ти лет, прошедшие медосмотр, инструктаж

на рабочем месте, имеющие профессиональную подготовку, соответствующую характеру работ, прошедшие проверку знаний по вопросам охраны труда. Периодичность повторного инструктажа один раз в квартал.

2. Работники, осуществляющие пуско-наладочные, ремонтные работы, периодические плановые осмотры, а также отработку плазмохимической технологии в электроустановках выше 1000В, должны иметь IV группу по электробезопасности, остальные работники – III группу.

3. Все виды работ на установке производятся группой не менее 2-х человек, один из которых имеет IV квалификационную группу по электробезопасности (при напряжении выше 1000 В).

4. Работы по наладке, настройке и регулированию технологических режимов работы установки производятся работниками в соответствии с настоящей инструкцией.

5. Все работы по наладке и настройке генератора производятся по письменному распоряжению и в соответствии с «Программой пуско-наладочных работ для генератора ВЧГ8-60/13».

6. Установка состоит из высокочастотного генератора (источника питания) и технологического блока, которые размещены в металлических корпусах. Технологический блок включает следующие основные узлы: высокочастотный плазмотрон факельного типа, реактор, узел «мокрой» очистки отходящих газов.

7. Работа на установке характеризуется следующими вредными и опасными факторами, воздействие которых на работников может привести к несчастному случаю:

- а) высокое напряжение;
- б) электромагнитное излучение;
- в) ультрафиолетовое излучение;
- г) световое излучение;

д) воздействие вредных веществ (например, окислов азота, серы, углерода и т. п.)

Во избежание несчастных случаев каждый работник должен строго соблюдать требования правил, норм и инструкций.

Для создания безопасных условий труда предусмотрены следующие меры защиты:

7.1 Токоведущие части установки изолированы, в результате чего находятся в недоступных для работающих местах. «Поджиг» высокочастотного электрического разряда в плазмотроне, требующий прикосновения проводником к электроду, автоматизирован, что исключает случайное прикосновение персонала к электроду.

Металлические части установки, которые могут вследствие повреждения изоляции оказаться под напряжением, заземлены. Замер сопротивления контура заземления производится ежегодно.

7.2 Установка размещена в металлических корпусах, экранирующих электромагнитное и ультрафиолетовое излучение. запрещено во время работы установки, открывать двери генератора и технологического блока. При соблюдении указанных мер излучение не превышает допустимого.

7.3 Смотровое окно на дверях технологического блока установки должно быть оснащено экранирующей металлической сеткой.

7.4 Установка оснащена вытяжной системой вентиляции, системой «мокрой» очистки отходящих газов, защищающих работников от вредных газообразных и конденсированных веществ, образующихся в процессе работы.

8. Защитные ограждения (открывающиеся и съёмные) должны иметь электромеханические блокировки, автоматически отключающие подачу напряжения на установку при их открывании.

Запрещается работать на установке при неисправных дверных блокировках, открытых дверях генератора и технологического блока установки.

9. Крепление блокировочных устройств должно быть надёжным, исключающим случаи самооткрывания.

10. В случае прекращения подачи электроэнергии, во время перерыва в работе или в аварийной ситуации установка должна быть отключена от питающей сети.

11. Периодические осмотры и планово-предупредительные ремонты генератора, производятся по графикам, утверждённым руководителем работ.

12. Все работники обеспечиваются спецодеждой, спецобувью и средствами индивидуальной защиты.

13. Запрещено принимать пищу на рабочем месте.

14. В случае травмирования работников необходимо оказать доврачебную помощь, если необходимо, вызвать скорую помощь по телефону **03**, сообщить руководителю работ.

#### **5.4 Электробезопасность**

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

Мероприятия по обеспечению электробезопасности электроустановок:

- отключение напряжения с токоведущих частей, на которых или вблизи которых будет проводиться работа, и принятие мер по обеспечению невозможности подачи напряжения к месту работы;
- вывешивание плакатов, указывающих место работы;
- заземление корпусов всех установок через нулевой провод;
- покрытие металлических поверхностей инструментов надёжной изоляцией;
- недоступность токоведущих частей аппаратуры (заключение в корпуса электропоражающих элементов, заключение в корпус токоведущих частей).

## **5.5 Пожарная и взрывная безопасность**

Согласно [15], в зависимости от характеристики используемых в производстве веществ и их количества, по пожарной и взрывной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В, Г, Д. Так как помещение по степени пожаровзрывоопасности относится к категории В, т.е. к помещениям с твердыми сгорающими веществами, необходимо предусмотреть ряд профилактических мероприятий.

Возможные причины возгорания:

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



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

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

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

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

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

- исключение образования горючей среды (герметизация оборудования, контроль воздушной среды, рабочая и аварийная вентиляция);
- применение при строительстве и отделке зданий негорючих или трудно сгораемых материалов;
- правильная эксплуатация оборудования (правильное включение оборудования в сеть электрического питания, контроль нагрева оборудования);
- правильное содержание зданий и территорий (исключение образования источника воспламенения - предупреждение самовозгорания веществ, ограничение огневых работ);
- обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности;
- издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации;

- соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения;
- правильное размещение оборудования;
- своевременный профилактический осмотр, ремонт и испытание оборудования.

При возникновении аварийной ситуации необходимо:

1. Сообщить руководству (дежурному).

2. Позвонить в соответствующую аварийную службу или МЧС – тел. 112.

3. Принять меры по ликвидации аварии в соответствии с инструкцией.

## 5.6 Нормативная литература

<b>1. Федеральные законы</b>	
1.	Федеральный закон «Об использовании атомной энергии» от 21.11.1995 г. № 170-ФЗ.
2.	Федеральный закон «О радиационной безопасности населения» от 09.01.1996 г. № 3-ФЗ.
3.	Федеральный закон «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» от 30.03.1999 г. № 52-ФЗ.
4.	Федеральный закон «Об основах охраны труда» от 17.07.1999 г. № 181-ФЗ.
5.	Федеральный закон «Трудовой кодекс РФ» от 21.12.2001 г.
6.	Федеральный закон «Об охране окружающей природной среды» № 7-ФЗ от 10.01.2002 г.
<b>2. Федеральные нормы и правила</b>	
7.	ГОСТ-15484-81. Излучение ионизирующее и их измерения (термины и определения).
8.	ГОСТ 27212-87. Источники ионизирующего излучения радионуклидные закрытые. Общие технические условия.
9.	Гигиенические требования к устройству и эксплуатации радиоизотопных приборов. Санитарные правила и нормативы. СанПиН 2.6.1.1015-01.
10.	Ионизирующее излучение. Радиационная безопасность. Обеспечение радиационной безопасности при радионуклидной дефектоскопии. СП 2.6.1.1284-03.
11.	«Общие положения обеспечения безопасности радиационных источников» (НП-038-11), утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 05.03.2011 г. № 104.
12.	О перечне медицинских противопоказаний и перечне должностей, на которые распространяются данные противопоказания, а также о требованиях к

	проведению медицинских осмотров и психофизических обследований работников объектов использования атомной энергии, утверждено постановлением Правительства РФ от 01.03.1997 г. № 233.
13.	Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). СП 2.6.1.2523-09.
14.	Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010). СП 2.6.1.2612-10.
15.	Пожаро- и взрывобезопасность промышленных объектов. ГОСТ Р12.1.004-85 ССБТ Пожарная безопасность
16.	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность..
17.	СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к ПЭВМ и организации работы».
18.	ППБ 01-03. Правила пожарной безопасности в Российской Федерации.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований можно сделать выводы:

1. С увеличением мощности плазмотрона его ёмкость увеличивается, а активное сопротивление уменьшается.
2. Коэффициент полезного действия плазмотрона уменьшается примерно на 16% с увеличением его мощности от 0,5 до 2,5 кВт.
3. С увеличением частоты электромагнитного поля от 20 до 40 МГц коэффициент полезного действия плазмотрона увеличивается на 26%.

Данное исследование направлено на поиск оптимальных режимов работы факельных плазмотронов, используемых для решения различных технологических задач.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Trunecsek V. Unipolar high – frequency discharge// Folia Fac. Sci. Nat. University. 1971, - V. 12, -pp.3-13
2. Тихомиров И.А. Высокочастотные факельные плазмотроны и их практическое применение // Известия СО АН СССР, Серия техн. наук, 1980, - №8, вып.2, - с. 3-13
3. 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
4. Качанов А.В., Трехов Е.С., Фетисов Е.П. Электродинамическое описание высокочастотного факельного разряда//Физика газоразрядной плазмы. – М., 1968. – Вып.1. – с. 39-47
5. Тихомиров И.А., Луценко Ю.Ю. Электродинамическая модель высокочастотного факельного разряда с учетом отражения электромагнитной волны в канале разряда//Тез. докл.V Всесоюзн. конф. по физике газового разряда, Омск, 1990. – с.81
6. Ткаченко А.Г., Корючкин А.В., Луценко Ю.Ю., Гамзинов С.В. Тепло-электрофизические параметры секционированного высокочастотного факельного плазмотрона//Плазменная техника, технология, Казань, 1988. – с.4
7. Власов В.А., Луценко Ю.Ю. Определение коэффициентов фазы и затухания электромагнитной волны, распространяющейся в плазме высокочастотного факельного разряда. // Материалы Всероссийской научной конференции «Физика низкотемпературной плазмы». - Петрозаводск, 2004. – с.154 – 157.
8. Trunecsek V. Unipolar and electrodeless capacitively coupled high-frequency discharges excited at atmospheric pressure and their applications//Acta physica slovac, 1979. – Bd 29. – p.180-183

9. Зилитинкевич С.И. Электрическое факельное истечение//Телеграфия и телефония без проводов, 1928, № 9. – с.652
10. Trunecsek V.Fackelentladung und Fackelboden//Beitrage aus der Plasmaphysic. – 1962, Vol. 1, № 2. – s.116-121
11. Григорович Р., Кристеску Д. К теории высокочастотного факельного разряда//Оптика и спектроскопия, 1959, № 6, Вып. 2. – с.129-136
12. El Gamal M.//Contr. Pap. of 8 Int. Conf. in Ijniz. Gases, Vienna. – 1967. – p.237
13. Vlasov V.A., Lutsenko Yu.Yu. High –frequency discharges of capacitive type, burning under atmospheric pressure and their application in plasma technology // China – Russia Workshop on Plasma High – Technology. - Dalian, CHINA, 2006. - P.1.
14. Farchy V., Janca J. Energishe Verholtnisse in Plasma empoligar // Beitr.Plasmaphysik. – Bd.9.- 1968. – s.129-142
15. Карicka V. Измерение концентрации заряженных частиц в факельном разряде//Ceskosl. casor.fus. – 1967. A17. - №1. – s.5-9
16. Janca J Transmission and energe excharge in unipolar h. f. discharges//Folia prirodovedecke fac. U.J.E.P. Brno. – 1968. – Bd.9. - № 10. – p.21-40
17. Тихомиров И.А. и др. Исследование пространственного распределения параметров ВЧ факельного разряда. I. Газовая температура//Деп. в ВИНТИ. - 1973. - № 7606-73. – с.1-3
18. Тихомиров И. А., и др. Свойства и особенности ВЧ разрядов и их практическое применение//В сб. "Аппаратура и методы исследований плазмы ВЧ разрядов", Томск, Изд. ТГУ, 1976, с.4-16
19. Тихомиров И.А. и др. Гидродинамика и теплофизика плазменных потоков высокочастотного факельного разряда// В сб. "Аппаратура и методы исследований плазмы ВЧ разрядов", Томск, Изд. ТГУ, 1976, с.17-22
20. Прокофьев А.М. Влияние постороннего постоянного электрического поля на факельное истечение // ЖЭТФ. – 1937. - №8. – с.987-989

21. Луценко Ю.Ю., Власов В.А., Зеленецкая Е.П. О характере распространения электромагнитной волны вдоль канала высокочастотного факельного разряда // *Материалы V Всероссийской конференции по физической электронике ФЭ – 2008.* - Махачкала, 2008г. - с. 104 – 107.
22. Кузьмина А.В., Зеленецкая Е.П., Луценко Ю.Ю. Распределение электромагнитного поля высокочастотного факельного разряда с учётом осевой неоднородности его канала // *Материалы XV Международной научно – практической конференции «Современная техника и технология» - Томск, 2009.* – т.3. – с.66-68.
23. Джамакумеев Р., Девятов А.М. Температуры высокочастотного факельного разряда в их переходной области//*Оптика и спектроскопия.* –т.13. – Вып.1. –с.20-24
24. S. Lonz., W. Lochte-Holtgrewe., G.Traving. Spectroscopische Untersuchungen in Helium-gas bei Atmospharendruck brennerter Fackelladung//*Z.Phys.* – 1965. – 197. - №1. s.1-15
25. U.Jecht, W. Kessler О механизме возбуждения факельного разряда на частоте 2400 МГц// *Z.Phys.* – 1964. – 178. - №2. – с.133-145
26. V. Farsky, J.Janca. Mutual relation among macro and microparameters in unipolar h.f.discharges//*Scripta.Fac.Sci.U.J.E.P* –1972. – Bd.2 – p.119-127
27. Нейман М.С. О факельном разряде//*Известия электропромышленности слабого тока.* – 1935. - №7. – с.7-9
28. Захаров В.К. Исследование влияния внешних электрических полей на высокочастотный факельный разряд//*ТВТ.* – 1972. – 10. - №3. – с.291-498
29. Mollwo L. Electronentemperatur und Elektronenrauschen in der hochfrequenten Fackelentladung//*Ann. der Phys.* – 1958. – №2. – s.97-129
30. Зоммерфельд А. *Электродинамика.* – М.:ИЛ, 1958. – 410с.
31. Марусин В.В., Тихомиров И.А. Получение амплитудно-модулированной плазмы//*Генераторы низкотемпературной плазмы.* М.: - 1969. – с.110-115

32. Марусин В.В., Тихомиров И.А., Юрьев Ю.Г. Влияние амплитудной модуляции на свойства ВЧФ разряда//Генераторы низкотемпературной плазмы. М.: - 1969. – с.116-118
33. Zidkova O. Diploma prace. University Brno. – 1971
34. Тихомиров И.А. и др. Некоторые электрофизические характеристики высокочастотного факельного разряда//Известия ТПИ. – 1976. – с.60-65
35. Тихомиров И.А. и др. Оценка работы высокочастотных факельных плазмотронов//в кн.: Материалы к VII Всесоюзн. конф. по генераторам низкотемпературной плазмы. Алма-Ата. – 1977. – с.148-151
36. Луценко Ю.Ю. Особенности процесса распространения электромагнитных волн различных частот вдоль канала высокочастотного факельного разряда // Известия ВУЗов. Физика (приложение) – 2004. - №12. – с.46 – 48.
37. Тихомиров И.А., Луценко Ю.Ю. Соотношение между джоулевыми потерями для волн типа ТЕ и ТМ в канале высокочастотного факельного разряда // Известия СО АН СССР. Сер. техн.н. – 1989. - Вып.1. - с.81-84.
38. Нейман М.С. О факельном разряде // Известия электропромышленности слабого тока. – 1935. - №7. – с.7-9
39. Talský A. Определение комплексного сопротивления высокочастотного факельного разряда. // Czech. J. Phys. – 1964. - Vd.14, №8. – p. 594-598.
40. Зоммерфельд А. Электродинамика. – М.:ИЛ, 1958. – 410с.
41. Качанов А.В. и др. Экранированный высокочастотный факельный разряд // Физика газоразрядной плазмы. – М., 1968. – Вып.1. – с.60-67
42. Жуков М.Ф. и др. Электродуговые нагреватели газа (плазмотроны). – М.: Наука. – 1973. – 416с.
43. А.с. № 2965165, СССР, Тихомиров И.А. и др. Факельный плазмотрон. – 1980. – Бюл. №12. – 4с.