

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

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

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Особенности процесса распространения электромагнитной волны вдоль канала высокочастотного факельного разряда

УДК 537.87: 537.521

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А7Д	Кайдаров Алибек Ерболатулы		12.06.2021

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Ю.Ю. Луценко	д.ф.-м.н.		12.06.2021

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП ТПУ	Е.И. Клемашева	к.э.н.		12.06.2021

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	С.Н. Тимченко	к.т.н.		12.06.2021

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	П.Н. Бычков	к.т.н.		12.06.2021

Томск – 2021 г.

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

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

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП

_____ П.Н. Бычков
« ____ » _____ 2021 г.

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
0А7Д	Кайдарову Алибеку Ерболатулы

Тема работы:

Особенности процесса распространения электромагнитной волны вдоль канала высокочастотного факельного разряда	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 22-69/С от 22.01.2021 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:	12.06.2021
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>1. Предмет исследования: стационарный высокочастотный факельный разряд. 2. Используемое оборудование: плазмохимический реактор, спектроанализатор, осциллограф.</p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Аналитический обзор литературы; постановка цели и задач исследования; разработка методики проведения экспериментов; анализ полученных результатов; экономическое обоснование проведения НИР; выводы по работе.</p>

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Экспериментальная часть	доцент ОЯТЦ ИЯТШ Ю.Ю. Луценко
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	доцент ОСГН ШБИП Е.И. Клемашева
Социальная ответственность	доцент ОЯТЦ ИЯТШ С.Н. Тимченко

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	22.01.2021
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Ю.Ю. Луценко	д.ф.-м.н., доцент		22.01.2021

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А7Д	Кайдаров Алибек Ерболатулы		22.01.2021

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

Студенту:

Группа	ФИО
0А7Д	Кайдарову Алибек Ерболатулы

Школа	ИЯТШ	Отделение школы (НОЦ)	ОЯТЦ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	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>	<i>Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска. Оклад руководителя – 44255 рублей Оклад исполнителя – 93885 рублей Затрат на специальное оборудование – 9167 рублей</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>30% премии; 20% надбавки; 16% накладные расходы; 30% районный коэффициент.</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Отчисления во внебюджетные фонды 30,2 % (НК РФ)</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>Описание потенциальных потребителей проекта Проведение анализа конкурентоспособности SWOT - анализ</i>
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>Формирование плана и графика разработки: - определение трудоемкости работ; -определение структуры работ; -разработка графика Ганта. Формирование бюджета затрат на научное исследование: - материальные затраты; - заработная плата; - отчисления на социальные цели; - накладные расходы.</i>
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<i>Расчёт и оценка сравнительной финансовой эффективности</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. <i>Матрица SWOT</i>
2. <i>Диаграмма Ганта</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	22.01.2021
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОСГН ШБИП ТПУ	Клемашева Елена Игоревна	К.Э.Н.		22.01.2021

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А7Д	Кайдаров Алибек Ерболатулы		22.01.2021

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
0А7Д	Кайдарову Алибеку Ерболатулы

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

Тема ВКР:

Особенности процесса распространения электромагнитной волны вдоль канала высокочастотного факельного разряда	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Измерение осевого распределения частотных составляющих электромагнитного поля разряда и расчёт данного распределения с учётом реальной формы канала. Область применения – расчёт плазмохимических реакторов, предназначенных для работы в воздушно среде при атмосферном давлении.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<ul style="list-style-type: none"> – ТК РФ; – Федеральный закон «Об основах охраны труда в Российской Федерации» – Требования к организации и оборудованию рабочих мест с ПЭВМ: – ГОСТ 12.2.049-80 (ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования) – ГОСТ ИЕС 60519-1-2011 (Безопасность электротермического оборудования. Часть 1.)
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	<ul style="list-style-type: none"> – микроклимат; – шум и вибрация; – недостаточная освещённость рабочего места; – электромагнитное излучение; – психофизиологические факторы; – электрический ток.
3. Экологическая безопасность:	анализ влияния объекта и процесса исследования на окружающую среду; разработка организационных и технических мероприятий по защите окружающей среды.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	<ul style="list-style-type: none"> – анализ типичной ЧС – пожар в рабочем помещении; – превентивные меры и порядок действий при возникновении ЧС.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	22.01.2021
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Тимченко С.Н.	к.т.н.		22.01.2021

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А7Д	Кайдаров А.Е.		22.01.2021

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (компетенции)
Общекультурные компетенции	
P1	Демонстрировать культуру мышления, способность к обобщению, анализу, восприятию информации, постановке цели и выбору путей ее достижения; стремления к саморазвитию, повышению своей квалификации и мастерства; владение основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, навыки работы с компьютером как средством управления информацией; способность работы с информацией в глобальных компьютерных сетях.
P2	Способность логически верно, аргументировано и ясно строить устную и письменную речь; критически оценивать свои достоинства и недостатки, намечать пути и выбирать средства развития достоинств и устранения недостатков.
P3	Готовностью к кооперации с коллегами, работе в коллективе; к организации работы малых коллективов исполнителей, планированию работы персонала и фондов оплаты труда; генерировать организационно-управленческих решения в нестандартных ситуациях и нести за них ответственность; к разработке оперативных планов работы первичных производственных подразделений; осуществлению и анализу исследовательской и технологической деятельности как объекта управления
P4	Умение использовать нормативные правовые документы в своей деятельности; использовать основные положения и методы социальных, гуманитарных и экономических наук при решении социальных и профессиональных задач, анализировать социально-значимые проблемы и процессы, осознавать социальную значимость своей будущей профессии, обладать высокой мотивацией к выполнению профессиональной деятельности
P5	Владеть одним из иностранных языков на уровне не ниже разговорного.
P6	Владеть средствами самостоятельного, методически правильного использования методов физического воспитания и укрепления здоровья, готов к достижению должного уровня физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.
Общепрофессиональные	
P7	Использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования в физике кинетических явлений, наукоёмких промышленных технологиях (разделения изотопов, жидких и газовых смесей, получения высокочистых веществ).
Профессиональные компетенции	
P8	Владеть основными методами защиты производственного персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий; быть готовым к оценке ядерной и радиационной безопасности, к оценке воздействия на окружающую среду, к контролю за соблюдением экологической безопасности, техники безопасности, норм и правил производственной санитарии, пожарной, радиационной и ядерной безопасности, норм охраны труда; к контролю соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям, требованиям безопасности и другим нормативным документам; за соблюдением технологической дисциплины и обслуживанию технологического оборудования; и к организации защиты объектов интеллектуальной собственности и результатов исследований и разработок как коммерческой тайны предприятия; и понимать сущность и значение информации в развитии современного информационного общества, сознавать опасности и угрозы, возникающие в этом процессе, соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны).
P9	Уметь производить расчет и проектирование деталей и узлов приборов и установок в соответствии с техническим заданием с использованием стандартных средств автоматизации проектирования; разрабатывать проектную и рабочую техническую документацию, оформление законченных проектно-конструкторских работ; проводить предварительного технико-экономического обоснования проектных расчетов установок и приборов.
P10	Готовность к эксплуатации современного физического оборудования и приборов для экспресс-контроля технологических параметров, мониторинга технического состояния

	технологического оборудования, переработки, утилизации и обезвреживания промышленных отходов, 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 производства разделения изотопов, тонкой очистки, переработки веществ, программного обеспечения тренажерных комплексов для поддержания готовности технологического персонала предприятия к работе в нештатных и критических ситуациях, к монтажу, наладке, испытанию и сдаче в эксплуатацию опытных образцов приборов, установок, узлов, систем и деталей плазменных установок, приборов анализа и систем управления разделительными каскадами.
P11	Способность к организации метрологического обеспечения технологических процессов, к использованию типовых методов контроля качества выпускаемой продукции; и к оценке инновационного потенциала новой продукции, анализу рынка изотопномодифицированной, мембранной продукции, стабильных изотопов и услуг.
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 в области физики селективных процессов, разделения изотопных и молекулярных смесей.
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 области разделения изотопных и молекулярных смесей, молекулярно-селективных технологий и выполнять работы по стандартизации и подготовке к сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов.
P14	Готовность к проведению физических экспериментов по заданной методике, составлению описания проводимых исследований и анализу результатов; анализу затрат и результатов деятельности производственных подразделений; к разработки способов применения ядерно-энергетических, плазменных, лазерных, СВЧ и мощных импульсных установок, электронных, нейтронных и протонных пучков, методов экспериментальной физики в решении технических, технологических и медицинских проблем получения моноизотопной и изотопно-модифицированной продукции, глубокой очистки трудно разделяемых веществ.
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 плазменных, мембранных, ионообменных установок, а также приборов анализа и систем управления разделительными каскадами.

Реферат

Выпускная квалификационная работа объемом 87 страниц, 20 рисунков, 17 таблиц, 30 источников, 48 формул.

Ключевые слова: плазма, факельный разряд, длина канала, напряженность поля, затухание электромагнитного поля, электропроводность плазмы.

Объектом исследования является высокочастотный факельный разряд.

Цель работы: исследование особенности распределения электрического поля вдоль оси высокочастотного факельного разряда.

В процессе исследования проводились:

1. Измерение осевого распределения гармонических составляющих электромагнитного поля высокочастотного факельного разряда, горящего в воздухе.
2. Расчёт распределения величины удельной электропроводности в высокочастотном факельном разряде, горящем в воздухе.
3. Расчёт осевого распределения гармонических составляющих электромагнитного поля высокочастотного факельного разряда с учётом реальной формы канала и осевой неоднородности электропроводности плазмы разряда.
4. Выводы по работе.

В результате исследований установлено, что:

1. Зависимость коэффициента затухания электромагнитного поля в плазме факельного разряда от частоты имеет немонотонный характер.
2. Затухание электромагнитного поля вдоль канала разряда имеет линейный характер.

3. Телеграфное уравнение может быть использовано для расчета электродинамических свойств высокочастотного факельного разряда.

Область применения: результаты работы могут быть использованы для расчёта плазмохимических реакторов, предназначенных для работы в воздушной среде при атмосферном давлении. Отдельные результаты могут быть использованы для проектирования плазмотронов, работающих в других плазмообразующих средах.

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

Оглавление

Введение.....	12
1 Физика высокочастотного факельного разряда.....	13
1.2 Использование телеграфного уравнения для моделирования ВЧФР.....	18
2 Экспериментальная часть.....	20
2.1 Схема экспериментальной установки.....	20
2.2 Результаты экспериментальных измерений.....	22
3. Результаты расчетов.....	24
3.1 Теоретическое обоснование расчетов.....	24
3.2 Расчет распределения электромагнитного поля высокочастотного факельного разряда с учетом осевой неоднородности его канала.....	29
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение..	42
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	43
4.2 Анализ конкурентных технических решений.....	43
4.3 SWOT-анализ.....	45
4.4 Планирование научно-исследовательских работ.....	48
4.4.1 Определение трудоемкости выполнения работ.....	50
4.4.2 Разработка графика проведения научного исследования.....	51
4.5 Бюджет научно-технического исследования (НТИ).....	55
4.5.1 Расчет материальных затрат.....	55
4.5.2 Расчет затрат на специальное оборудование.....	56
4.5.3 Основная заработная плата исполнителей темы.....	57
4.5.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	60
4.5.5 Накладные расходы.....	60

4.5.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта ...	61
4.6 Определение финансовой и ресурсной эффективности проекта	62
Выводы по разделу.....	66
5 Социальная ответственность	67
Введение.....	67
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	68
5.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя	69
5.3 Производственная безопасность.....	71
5.2.2 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов	72
5.2.3 Отклонение показателей микроклимата	72
5.2.4 Повышенный уровень электромагнитного излучения.....	73
5.2.5 Недостаточная освещенность рабочей зоны	74
5.2.6 Превышение уровня шума	75
5.2.7 Психофизиологические факторы	76
5.2.8 Поражение электрическим током.....	77
5.3 Экологическая безопасность.....	78
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	79
5.4.1 Анализ вероятной чрезвычайной ситуации, которая может возникнуть на рабочем месте при проведении исследований	79
5.4.2 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и порядок действий в случае возникновения ЧС.....	80
Выводы по разделу.....	82
Выводы по работе	83
Список использованных источников	84

Введение

Для расчёта плазмохимических реакторов и плазмотронов, работающих на основе высокочастотного факельного разряда, необходимо знать закон распределения источников теплоты в реакторной зоне.

Высокочастотный факельный разряд горит за счет диссипации энергии электромагнитной волны, распространение которой происходит вдоль канала разряда. Поэтому для расчёта величины тепловой энергии, выделяющейся на том или ином участке канала разряда необходимо знать распределение электрического поля. Существующая на данный момент модель разряда представляет его в виде однородного в осевом и радиальном направлении цилиндра. На самом деле разряд неоднороден и форма его не цилиндрическая. В данной работе проведены измерения распределения частотных составляющих электромагнитного поля разряда в осевом направлении, а также проведён теоретический расчёт данного распределения с учётом реальной формы канала и осевой неоднородности электропроводности плазмы разряда. Расчёт проводился на основе телеграфного уравнения.

Результаты работы могут быть использованы для расчёта плазмохимических реакторов, предназначенных для работы в воздушной среде при атмосферном давлении. Отдельные результаты могут быть использованы для проектирования плазмотронов, работающих в других плазмообразующих средах.

1 Физика высокочастотного факельного разряда

Высокочастотный факельный разряд был открыт Зилитинкевичем С.И. в 1928 году [1] при исследовании работы ВЧ генераторов, разряд представляет собой плазменный шнур с приложенным к нему высокочастотным напряжением. Заметим, что до 60-х годов проводились исследования одноэлектродных разрядов, имеющих мощность не более 200 Вт.

Чешскими авторами [10] были проведены исследования одноэлектродного разряда синусоидальным ВЧ напряжением с мощностью до 200 Вт.

Авторами работ [2, 4] выделено три режима горения высокочастотного разряда с различными механизмами процессов, протекающих в них: коронный, факельный и дуговой.

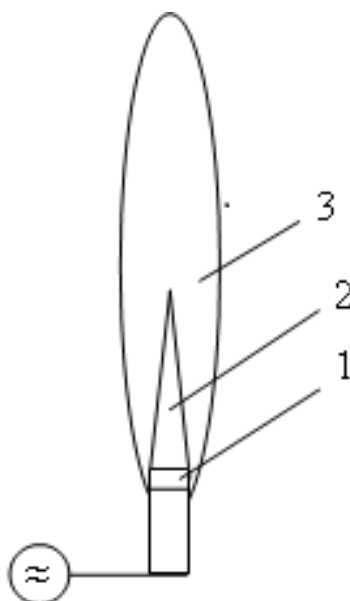


Рисунок 1.1 – Высокочастотный факельный разряд: 1 – приэлектродный слой; 2 – канал; 3 – диффузионная оболочка

Горение высокочастотного факельного разряда обусловлено процессами термической ионизации [2] и может наблюдаться в широком диапазоне частот от 6 МГц и выше. На рисунке 1.1 представлен высокочастотный факельный разряд, состоящий из: приэлектродного слоя 1, непосредственно канала разряда 2 и диффузионной оболочки 3.

Анализ электродинамических характеристик высокочастотного факельного разряда впервые проведены [13] Mollwo на основе уравнений Максвелла. Исследуемый разряд имел мощность от 50 до 100 Вт и возбуждался частотой 1 ГГц. В данных исследованиях разряд представлен в виде цилиндра с бесконечной длиной.

Качанов [9] в своих исследованиях использовал модель разряда в виде проводящего цилиндра вдоль которого распространяется поперечная ТМ волна, при этом цилиндр считался однородным. Анализ высокочастотного факельного разряда проводился аналогично [13], для разряда с частотой 10 МГц и мощностью 0,1 – 1 кВт.

Основным фактом, лежащим в основе точного анализа электродинамических характеристик высокочастотного факельного разряда, является то, что конечная величина проводимости канала разряда влияет на замедление электромагнитной волны так, что её длина становится сопоставимой с длиной канала высокочастотного разряда [15].

Рассмотрим более подробно результаты работ [14], в основе которых лежит электродинамическая модель высокочастотного факельного разряда, рассмотренная в работе [10].

Наибольшее значение при анализе характеристик электромагнитной волны, распространяющейся вдоль высокочастотного факельного разряда, является определение волнового числа h получаемого суммой коэффициента затухания волны α и коэффициента фазы β :

$$h = \alpha + j\beta.$$

Из данных работы [15] волновое число можно определить, как:

$$h_o^2 \approx -\frac{2}{5a^2 \varepsilon_1}; \alpha = -\beta, \quad (1.1)$$

где α – радиус канала ВЧФР, ε_1 – комплексная диэлектрическая проницаемость плазмы разряда $\varepsilon_1 \approx j\sigma/\omega$.

В работе [16] рассмотрен процесс горения экранированного факельного разряда, который возбуждался в блоке, собранном из поясов Роговского. Выражение для экранированного высокочастотного факельного разряда, по данным работ [16], выглядит следующим образом:

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

где a_2/a_1 – отношение радиуса разрядной камеры к радиусу канала разряда, при этом: $\text{Re}h/\text{Re}h_0 \approx 1-1,3$; $\text{Im}h/\text{Im}h_0 \approx 1,2-1,5$.

Результаты измерений амплитуды и фазы высокочастотного тока, полученные в работе [16] представлены на рисунке 1.2 и рисунке 1.3. В таблице 1.1 представлены данные измерений коэффициентов для определения волнового числа в зависимости от рода плазмообразующего газа для высокочастотного факельного разряда с длиной канала 12 – 15 см и мощностью 0,7 – 1 кВт.

Таблица 1.1 – Результаты измерений распределения амплитуды и фазы высокочастотного тока вдоль ВЧФР

Тип газа	L , см	W , Вт	$h = \alpha j + \beta$	
			β , см ⁻¹	α , см ⁻¹
Воздух	0,17	920	0,05	0,32
N ₂	0,25	1020	0,03	0,19
CO ₂	0,14	800	0,08	0,50
CO	0,10	670	0,06	0,38
O ₂	0,15	750	0,04	0,31



Рисунок 1.2 – Распределения амплитуды высокочастотного тока вдоль ВЧФР

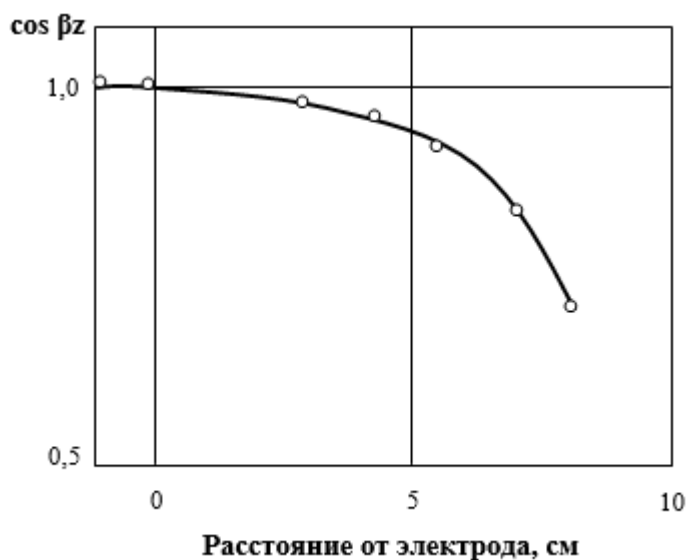


Рисунок 1.3 – Распределения фазы высокочастотного тока вдоль ВЧФР

Из рисунка 1.2 и рисунка 1.3 видно, что характер изменения амплитуды высокочастотного тока вдоль оси высокочастотного факельного разряда близок линейному, а фазы к экспоненциальному. Данные зависимости соответствуют условию распространения вдоль разряда плоской, неоднородной волны вида:

$$U = U_0(r)e^{j(hz - \omega t)} \quad (1.3)$$

При описании процессов, протекающих в плазме высокочастотного факельного разряда принципиальным, является определение характера распределения диссипации электромагнитной энергии в плазме, который влияет на особенности тепло- и массопереноса.

Ввиду того что разряд неоднороден, а его форма отличается от цилиндрической описание в виде уравнений Максвелла сложно реализовать на практике, поэтому рассмотрим более упрощенный вид – “телеграфное уравнение”.

1.2 Использование телеграфного уравнения для моделирования ВЧФР

“Телеграфное уравнение” выводится с помощью уравнения Максвелла, Уравнения Максвелла для ее электромагнитного поля (при $J_{cm} = 0$):

$$\text{rot}\dot{E} = -i\omega\dot{B}; \text{rot}\dot{H} = i\omega\dot{D}. \quad (1.2.1)$$

Так как волны ТЕМ не имеют продольных составляющих, проекция ротора на S_{\perp} примет вид:

$$(\text{rot}A_{\perp})_{\perp} = (\nabla \times A_{\perp})_{\perp} = (\nabla_{\perp} \times A_{\perp})_{\perp} + (e_z \times \partial A_{\perp} / \partial z)_{\perp} = e_z \times \partial A_{\perp} / \partial z;$$

где $\nabla = \nabla_{\perp} + e_z \partial / \partial z$.

Тогда уравнения Максвелла можно записать в виде:

$$e_z \cdot \frac{\partial \dot{E}}{\partial z} = -i\omega\dot{B}; e_z \cdot \frac{\partial \dot{H}}{\partial z} = i\omega\dot{D}. \quad (1.2.2)$$

По закону Ампера:

$$\dot{U}_{\perp} = \dot{\phi}(2) - \dot{\phi}(1) = -\int_1^2 \dot{E} \cdot dI; \dot{I}_{\perp} = \oint_C \dot{H} \cdot dI$$

Проведем замену $dI = \tau dl = (e_z \times n) dl$, где n – нормаль к кривой L_{12} или C , лежащая в плоскости S_{\perp} .

$$\left. \begin{aligned} \frac{dU_{\perp}}{dz} &= -\int_1^2 \frac{\partial \dot{E}}{\partial z} (e_z \times n) dl = -\int_1^2 \left(\frac{\partial \dot{E}}{\partial z} \times e_z \right) n dl = -i\omega \int_1^2 \dot{B} \cdot n dl \\ \frac{dI_{\perp}}{dz} &= \oint_C \frac{\partial \dot{H}}{\partial z} (e_z \times n) dl = \oint_C \left(\frac{\partial \dot{H}}{\partial z} \times e_z \right) n dl = -i\omega \oint_C \dot{D} \cdot n dl \end{aligned} \right\} \quad (1.2.3)$$

Полученный в первом равенстве (1.2.2) интеграл магнитной индукции представляет магнитный поток Φ_1 находящийся между двумя проводниками, отнесенный к единице длины линии. Магнитный поток можно выразить через собственную индуктивность единицы длины линии $L_1 = \Phi_1 / I_{\perp}$.

Тогда получим что:

$$\frac{dU_{\perp}}{dz} = -i\omega\Phi_1 = -i\omega L_1 I_{\perp}.$$

Стоит учесть, что ввиду отсутствия магнитного потока внутри проводника величина L_l соответствует внешней индуктивности.

Интеграл от электрического смещения \dot{D} по контуру по теореме Гаусса равен линейной плотности заряда $\dot{\tau}$. Ёмкость равна:

$$C = \left| \frac{Q}{U} \right| = \frac{|Q|}{|\phi_1 - \phi_2|}, \quad C_1 = \left| \frac{\tau}{U} \right| = \frac{|\tau|}{|\phi(a) - \phi(b)|} = \frac{2\pi\epsilon_a}{\ln(b/a)}, \quad (1.2.4)$$

ёмкость единицы длины линии равна при этом $C_1 = \dot{\tau} / \dot{U}_l$.

Второе равенство (1.2.2) приводит к уравнению $d\dot{I}_l / dz = -i\omega\dot{\tau} = -i\omega C_1 \dot{U}_l$. Следовательно, уравнения Максвелла для линии с волной TEM сводятся к телеграфным уравнениям:

$$\frac{d\dot{U}_l}{dz} = -i\omega L_1 \dot{I}_l, \quad \frac{d\dot{I}_l}{dz} = -i\omega C_1 \dot{U}_l. \quad (1.2.5)$$

Итак, проведенный анализ показывает, что для учета осевой неоднородности канала факельного разряда наиболее оптимально использовать одномерное уравнение Максвелла – “телеграфное уравнение”.

Проведем измерения осевого распределения первых 4 гармоник электрического поля факельного разряда, горящего в воздухе в атмосферном давлении.

2 Экспериментальная часть

2.1 Схема экспериментальной установки.

Схема экспериментальной установки для проведения зондовых измерений изображена на рисунке 2.1.1. Частота генерации ВЧ-генератора, от которого происходило питание разряда, равнялась 22,8 МГц, колебательная мощность равнялась 4 кВт. ВЧ-генератор типа ЛСП-ГМ. Мощность в разряде равнялась 1 кВт. Для измерения компонент поля зонды (2) перемещались в радиальном и осевом направлении относительно плазмоида разряда

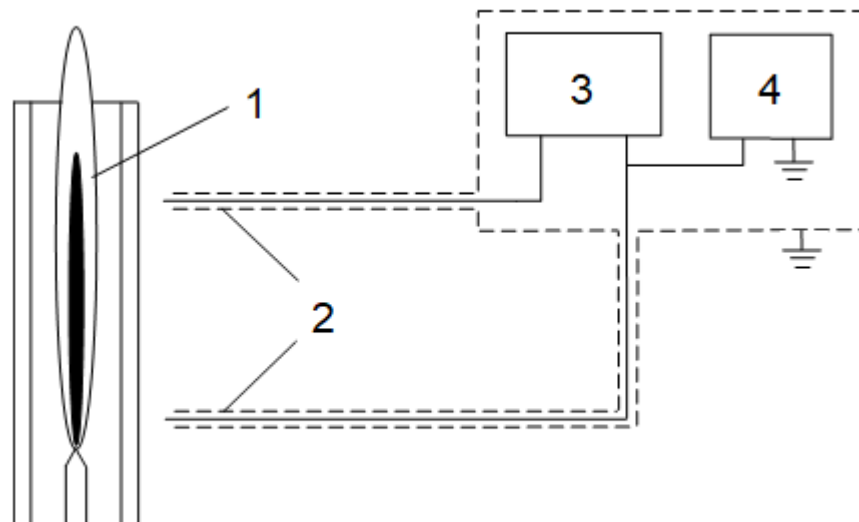


Рисунок 2.1.1 Схема экспериментальной установки: 1 – разрядная камера,

2 – зонды, 3 – измерительный прибор, 4 – генератор опорного сигнала

Емкостной зонд представляет собой медный штырь длиной 6 мм и диаметром 1 мм (рисунок 2.1.2).

Зависимость сигнала, снимаемого с зонда от его длины (рисунок 2.1.3) имеет нелинейный характер, это связано тем что внутри поверхности,

экранирующего зонда, проникает поле. На поверхность зонда нанесено ферромагнитное покрытие для уменьшения искажений от переотраженного поля. Выбор данного материала связан с высоким коэффициентом потерь в используемом диапазоне частот.

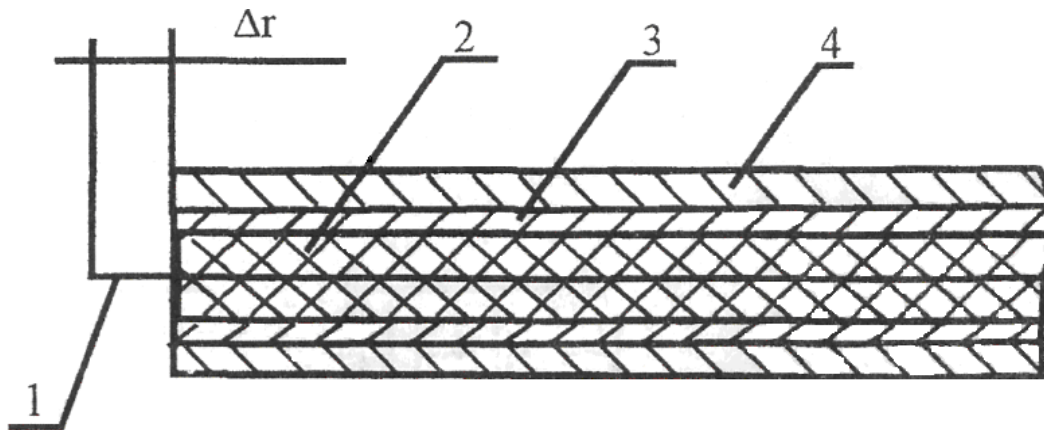


Рисунок 2.1.2 – Емкостной зонд: 1 – зонд, 2 – полиэтилен, 3 – экран (медь), 4 – ферромагнитное покрытие

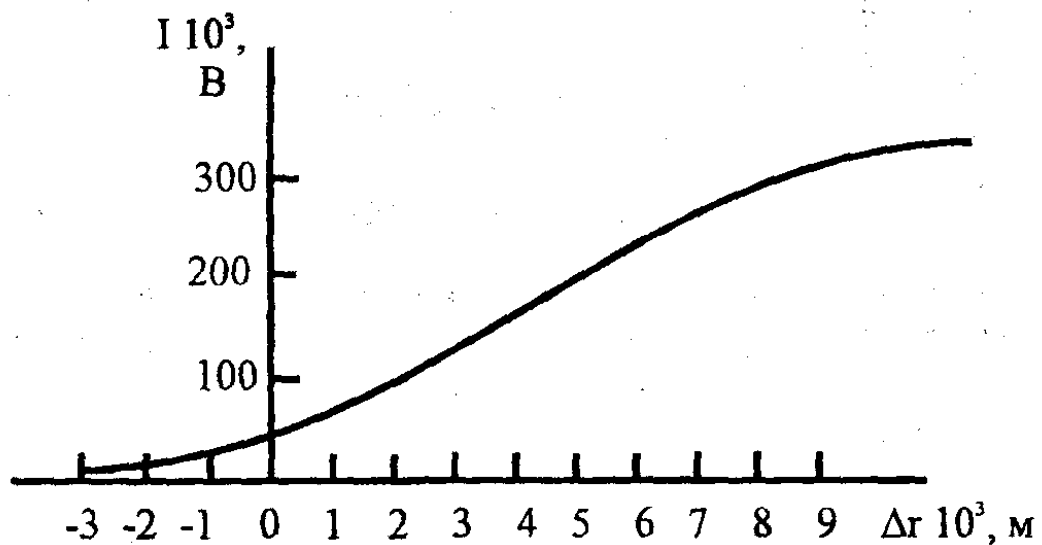


Рисунок 2.1.3 – Зависимость сигнала, снимаемого с емкостного зонда, от его длины

Для передачи сигнала использовалась линия с двойной экранировкой. Сигнал подавался на спектроанализатор СК4-59 (3-4). Измерительные приборы находились в специальном экранируемом помещении.

2.2 Результаты экспериментальных измерений.

В ходе измерений использовались собственные гармоники высокочастотного генератора в качестве зондирующих электромагнитных колебаний. Так как амплитуды частотных составляющих были равны примерно 20% от амплитуды основной гармоники, можно утверждать, что параметры плазмы определялись лишь собственной частотой горения разряда.

Результаты измерений для высокочастотного факельного разряда, горящего при атмосферном давлении в воздухе представлены на рисунке 2.2.1.

По оси абсцисс отложено расстояние от электрода до точки измерения в единицах длины канала факельного разряда. По оси ординат – относительная амплитуда высокочастотного сигнала.

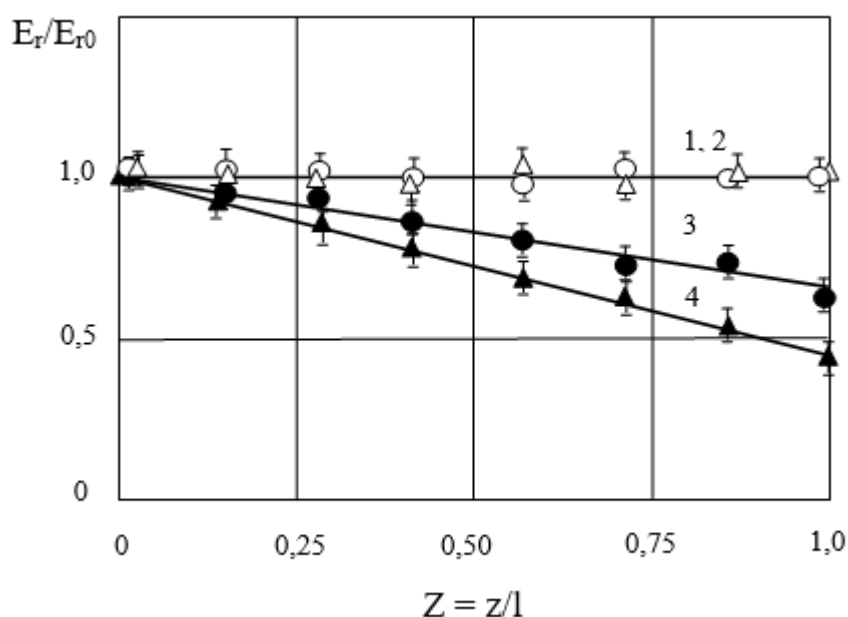


Рисунок 2.2.1 – Осевое распределение гармонических составляющих электромагнитного поля высокочастотного факельного разряда, горящего в воздухе: 1 – 22,8 МГц; 2 – 45,6 МГц; 3– 68,4 МГц; 4– 91,2 МГц.

В результате анализа полученных можно сделать вывод о том, что электромагнитное поле затухает только при превышении частоты горения

разряда в три раза. Третья и четвертая гармоники уменьшаются в 1,7 и 2,1 раза соответственно. Важным фактом является линейный характер затухания амплитуды вдоль канала разряда, что свидетельствует о несовершенстве представления канала высокочастотного факельного разряда в качестве однородного цилиндра.

Необходимо учитывать изменение параметров разрядного канала вдоль его оси, в частности, осевое распределение удельной электропроводности плазмы разряда. Так же стоит заметить, что при увеличении частоты увеличивается затухание поля.

3. Результаты расчетов

3.1 Теоретическое обоснование расчетов

В настоящее время канал высокочастотного факельного разряда рассматривается в виде однородного цилиндра, однако канал разряда неоднороден, а его форма представляет собой конус (рисунок 3.1.1)

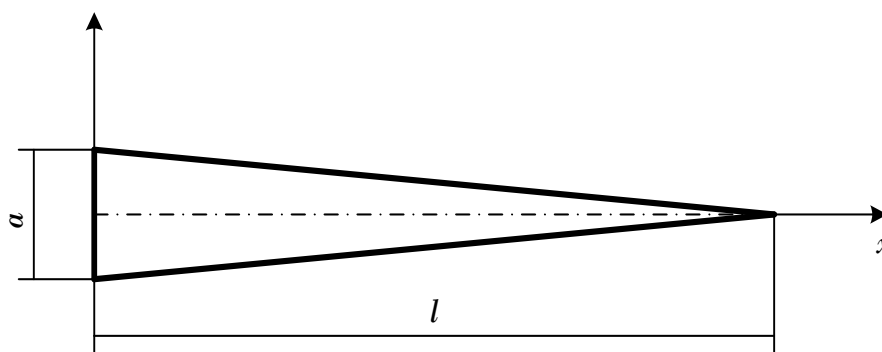


Рисунок 3.1.1 – Форма канала разряда

Для того что бы учесть неоднородность канала факельного разряда в осевом направлении необходимо:

- 1) Учитывать, что из-за конусообразной формы разряда, в отличии от цилиндрической формы, диаметр канала разряда уменьшается в осевом направлении.
- 2) Знать, как распределяется удельная электропроводность учитывая тот факт, что канал разряда неоднороден.

Для учета осевой неоднородности удельной электропроводности канала разряда рассмотрим результаты измерений осевого распределения температуры для импульсного разряда, приведенного автором работы [19] (кривая 1 на рисунке 3.1.2), а также для стационарного, приведённого автором работы [18] (кривая 2 на рисунке 3.1.2). Данные распределения представлены на рисунке 3.1.2.

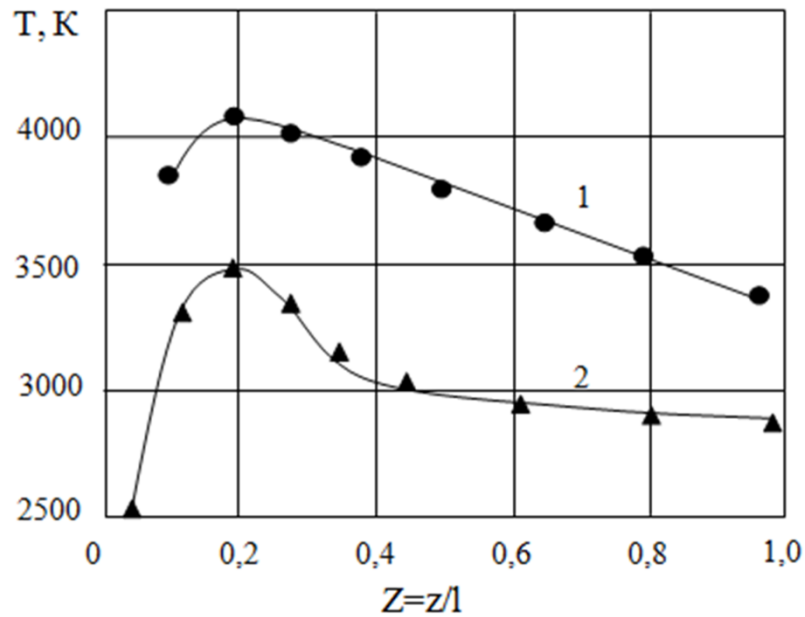


Рисунок 3.1.2 – Осевое распределение температур в ВЧФР, горящем в воздухе

Температура на рисунке 3.1.2 зависит от осевой координаты представленной в единицах длины канала разряда. Из данных распределений на начальном этапе можно заметить характерный для обоих случаев рост температуры, связанный с недостаточной экранировкой диффузионной оболочкой канала разряда.

Расчет величины удельной электропроводности для высокочастотного факельного разряда, горящего в воздухе можно провести по формуле Севастьянова:

$$\sigma(T) = \frac{6,7 \cdot 10^{-10}}{5 \cdot 10^{-16}} \cdot \frac{1}{\sqrt{10^5}} T^{3/4} \cdot \exp\left(\frac{-60600}{T}\right) \quad (3.1.1)$$

Распределение величины удельной электропроводности для ВЧФР, горящего в воздухе, рассчитанное по формуле 3.1.1, с учетом данных представленных в работе [22], представлено на рисунке 3.1.3.

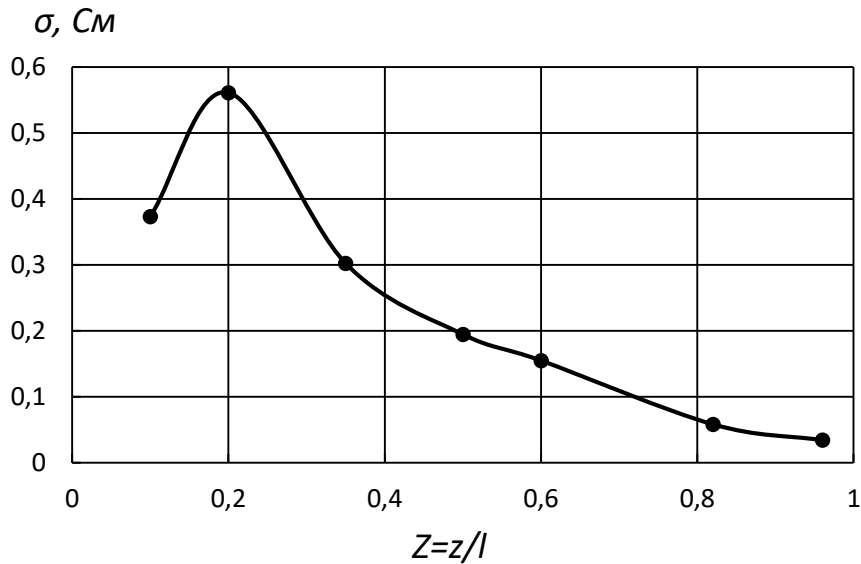


Рисунок 3.1.3 – Распределение величины удельной электропроводности для высокочастотного факельного разряда, горящего в воздухе

Рассмотрим канал разряда в виде конуса с основанием d и длиной l (рисунок 3.1.1) для расчёта уменьшения радиуса канала:

$$\begin{aligned}
 [r_0 - \alpha z]_{z=0} &= 0; \\
 \Rightarrow r_0 - \alpha l &= 0; \\
 \Rightarrow \alpha &= \frac{r_0}{l}, r(z) = r_0 \left(1 - \frac{z}{l}\right).
 \end{aligned}
 \tag{2.3.2}$$

Величину ёмкости длины канала разряда можно определить [20] на основе следующей формулы:

$$\frac{C_0}{2\pi\epsilon l} \approx \left[\ln \frac{2l}{a} - 1 \right],
 \tag{2.3.3}$$

где ϵ – величина диэлектрической проницаемости;

$$C_0 \approx \frac{2\pi\epsilon_0 l}{\ln \frac{l}{r} - 1}.
 \tag{2.3.4}$$

Аналогично определяем величину индуктивности длины канала разряда для постоянного тока:

$$L = \frac{\mu_0 l}{2\pi} \left(\ln \frac{2l}{r} - 0,75 \right), \quad (2.3.5)$$

а также для высокой частоты:

$$L = \frac{\mu_0 l}{2\pi} \left(\ln \frac{2l}{r} - 1 \right). \quad (2.3.5)$$

В нашем случае используем формулу индуктивности [21] для высокой частоты, т. к. частота горения разряда составляла 22,8 МГц.

Величину индуктивности приходящейся на единицу длины канала разряда определяем из формулы (2.3.6):

$$\bar{L} = \frac{\mu_0}{2\pi} \left(\ln \frac{2}{r} - 1 \right) \approx \frac{\mu_0}{2\pi} \left[\ln \left(\frac{2}{r} \right) - 1 \right], \quad (2.3.6)$$

где r_0 – радиус, при $z=0$; μ – величина магнитной проницаемости,

$$\Rightarrow \bar{L} = \frac{\mu_0}{2\pi} \left[\ln \left(\frac{2}{r_0(1-z/l)} \right) - 1 \right], \quad (2.3.7)$$

где l – длина канала разряда.

Активное сопротивление канала разряда R рассчитывается из условия слабого скин-эффекта, т.е. как для постоянного тока:

$$R = \rho \frac{l}{S} = \frac{1}{\sigma S}; \quad (2.3.8)$$

$$\bar{R} = \frac{1}{\sigma S} = \frac{1}{\sigma \pi r^2(x)} = \frac{1}{\sigma \pi r_0^2 (1-z/l)^2},$$

где $\sigma = \text{const}$.

Слабый скин-эффект обусловлен относительно небольшой электропроводностью плазмы канала разряда. При температуре канала разряда $T=4000\text{K}$, которое имеет место в нашем случае, электропроводность канала разряда, в соответствии с формулой (2.3.1) будет составлять $0,56 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$. Расчет показывает, что изменение амплитуды электрического поля по радиусу канала меняется лишь на несколько процентов.

Расчет распределения электрического поля вдоль оси разряда будем проводить на основе телеграфного уравнения, которое представляет собой одномерный вариант уравнения Максвелла.

Телеграфное уравнение записывается в виде:

$$\frac{\partial^2 E}{\partial x^2} = LC \frac{\partial^2 E}{\partial t^2} + (RC + LG) \frac{\partial E}{\partial t} + RG; \quad (2.3.9)$$

$$\frac{\partial^2 E}{\partial x^2} = LCE(-\omega^2) + (RC + LG) j\omega E + RGE; \quad (2.3.10)$$

где ω – угловая частота

Преобразуем:

$$\frac{\partial^2 E}{\partial x^2} = E[(RC + LG) j\omega + RG - \omega^2 LC]; \quad (2.3.11)$$

В нашем случае, $G \equiv 0$, т.к. горение разряда осуществляется в кварцевой камере, тогда:

$$\frac{\partial^2 E}{\partial x^2} = E[RCj\omega - \omega^2 LC]. \quad (2.3.12)$$

Либо:

$$\begin{cases} \frac{\partial E}{\partial x} = -L \frac{\partial i}{\partial t} - Ri, & E(l) = 1; \\ \frac{\partial i}{\partial x} = -C \frac{\partial E}{\partial t} - GE & i(l) = E(l) / z_n; \end{cases} \quad (2.3.13)$$

Значение напряжения на конце линии можно задать определенным образом. Примем его равным 1.

$$E_{(x=l)} = 1;$$

Для того, чтобы определить величину 1-й производной, рассмотрим какое значение 1-я производная принимает на конце линии.

$$z_n \rightarrow \infty;$$

Так как канал конечной длины, линия разомкнута на конце, следовательно, рассмотрим телеграфное уравнение с этим условием:

Из 1-го уравнения (2.3.13):

$$\begin{aligned} \left. \frac{\partial E}{\partial x} \right|_{x=l} &= -L \left. \frac{\partial i}{\partial t} \right|_{x=l} - Ri(l); \\ \left. \frac{\partial E}{\partial x} \right|_{x=l} &= -L \frac{\partial i}{\partial t} - RE(l) / z_n = -L \frac{\partial i}{\partial t} - R / z_n = \\ &= -Lj\omega i(l) - Ri(l) = -[R + j\omega L]i(l) \end{aligned} \quad (2.3.14)$$

Следовательно: $i(l) \rightarrow 0$, так как $z_n \rightarrow \infty$.

Проведем расчет распределения гармоник электрического поля вдоль оси разряда.

3.2 Расчет распределения электромагнитного поля высокочастотного факельного разряда с учетом осевой неоднородности его канала

Расчет телеграфного уравнения будем проводить численным методом (Метод Рунге-Кутты 2-го порядка).

Для этого аппроксимируем температурный профиль стационарного факельного разряда с помощью программы MathLab.

Аппроксимация будет проведена полиномом 3-ого порядка:

$$y = 0.0927 \cdot x^3 - 4.45 \cdot x^2 + 3.9e + 003$$

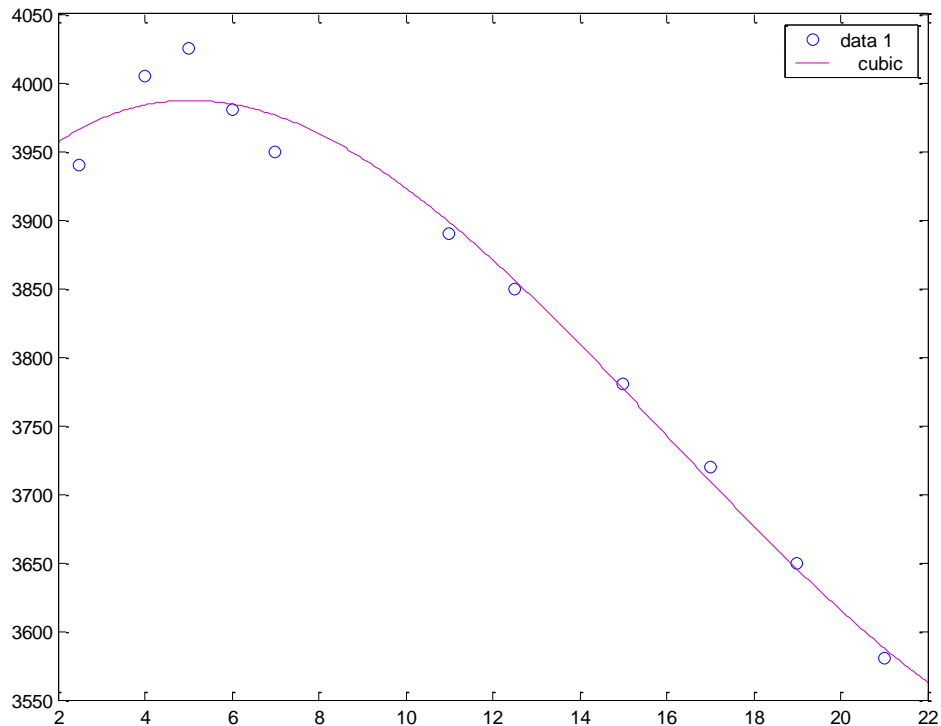


Рисунок 3.2.1 – Температурный профиль стационарного факельного разряда

Для решения телеграфного уравнения, в программе MathCad, необходимо задать границы интервала:

$$\text{rightlim}:=0.25;$$

$$\text{leftlim}:=0.$$

Далее определить шаг и число точек через которое будет проводится поиск решения:

$$h := -0.005;$$

$$N := \text{floor} \left(\left| \frac{\text{rightlim} - \text{leftlim}}{h} \right| \right).$$

Для метода Рунге-Кутты 2-ого порядка коэффициенты будут определяться следующими формулами:

$$K1(x, y, z) := h \cdot F(x, y, z);$$

$$K2(x, y, z) := h \cdot F \left(x + \frac{h}{2}, y + h \cdot \frac{z}{2} + h \cdot \frac{K1(x, y, z)}{8}, z + \frac{K1(x, y, z)}{8} \right);$$

$$K3(x, y, z) := h \cdot F \left(x + \frac{h}{2}, y + h \cdot \frac{z}{2} + h \cdot \frac{K1(x, y, z)}{8}, z + \frac{K2(x, y, z)}{8} \right);$$

$$K4(x, y, z) := h \cdot F \left(x + h, y + h \cdot \frac{K3(x, y, z)}{2} + h \cdot z, z + K3(x, y, z) \right)$$

$$K(x, y, z) := \frac{K1(x, y, z) + K2(x, y, z) + K3(x, y, z)}{6}$$

$$S(x, y, z) := \frac{K1(x, y, z) + 2 \cdot K2(x, y, z) + 2 \cdot K3(x, y, z) + K4(x, y, z)}{6}$$

$$i := 0 \quad N - 1$$

$$\begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{pmatrix} := \begin{pmatrix} 0.25 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} x_{i+1} \\ y_{i+1} \\ z_{i+1} \end{pmatrix} := \begin{pmatrix} x_i + h \\ y_i + h \cdot (z_i + K(x_i, y_i, z_i)) \\ z_i + S(x_i, y_i, z_i) \end{pmatrix}$$

Расчеты проведены в системе MathCad, ниже приведенной программой:

1-я гармоника представлена на рисунке 3.2.2:

$$F(x, y, z) := \left[i \cdot 1 \cdot 4.7198 \cdot \frac{10^7}{\left(1 - \frac{x}{0.26}\right)^2} \cdot \left[2 \cdot \pi \cdot 8.8 \cdot \frac{10^{-12}}{\ln \left[2 \cdot 10^{-3} \left(1 - \frac{x}{0.26}\right)\right] - 1} \right] \cdot \left(9.3 \cdot 10^{-8} x^3 - 4.5 \cdot 10^{-4} \cdot x^2 + 0.38 \cdot x + 4.5 \cdot 10^3\right)^{-0.75} \right]$$

$$e^{\frac{60600}{(9.3 \cdot 10^{-8} x^3 - 4.5 \cdot 10^{-4} \cdot x^2 + 0.38x + 4.5 \cdot 10^3)}} - 0.69745 \cdot 1 \cdot \frac{\left[\ln \left[\frac{1}{10^{-3} \cdot \left(1 - \frac{x}{0.26} \right)} \right] - 0.75 \right]}{\left[\ln \left[\frac{1}{10^{-3} \cdot \left(1 - \frac{x}{0.26} \right)} \right] - 1 \right]} \cdot y$$

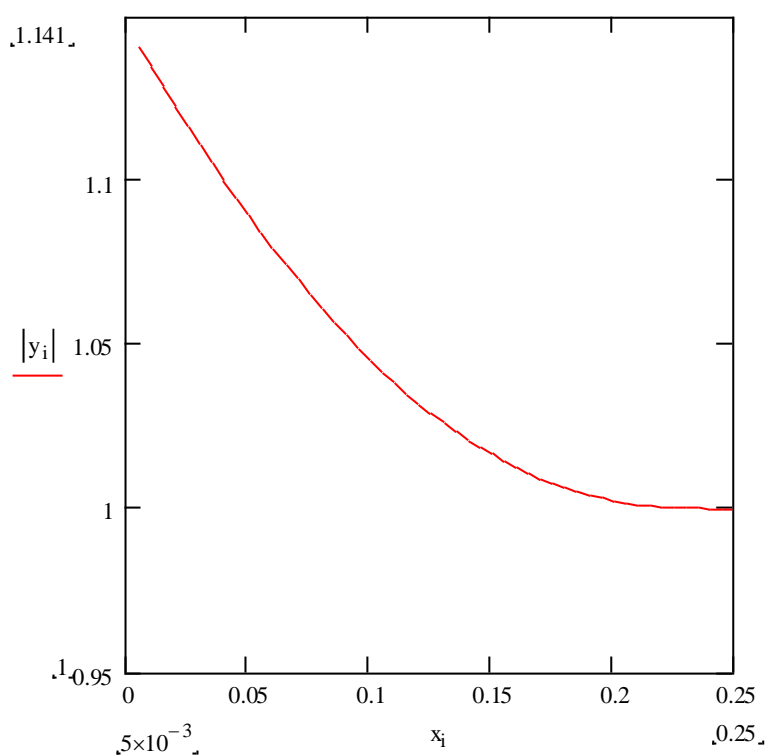


Рисунок 3.2.2 – 1-ая гармоника, полученная в системе Mathcad

2-я гармоника представлена на рисунке 3.2.3:

$$F(x, y, z) := \left[i \cdot 2 \cdot 4.7198 \cdot \frac{10^7}{\left(1 - \frac{x}{0.26} \right)^2} \cdot \left[2 \cdot \pi \cdot 8.8 \cdot \frac{10^{-12}}{\ln \left[2 \cdot 10^{-3} \left(1 - \frac{x}{0.26} \right) \right] - 1} \right] \right]$$

$$\cdot \left(9.3 \cdot 10^{-8} x^3 - 4.5 \cdot 10^{-4} \cdot x^2 + 0.38 \cdot x + 4.5 \cdot 10^3\right)^{-0.75}.$$

$$\cdot e^{\frac{60600}{\left(9.3 \cdot 10^{-8} x^3 - 4.5 \cdot 10^{-4} \cdot x^2 + 0.38 x + 4.5 \cdot 10^3\right)}} - 0.69745 \cdot 4 \cdot \frac{\left[\ln \left[\frac{1}{10^{-3} \cdot \left(1 - \frac{x}{0.26}\right)} \right] - 0.75 \right]}{\left[\ln \left[\frac{1}{10^{-3} \cdot \left(1 - \frac{x}{0.26}\right)} \right] - 1 \right]} \cdot y$$

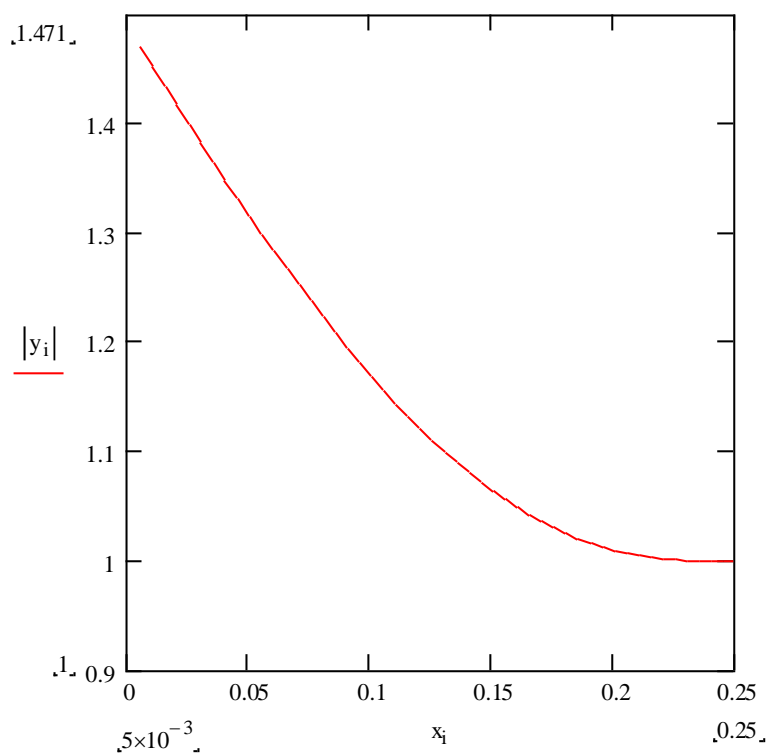


Рисунок 3.2.3 – 2-ая гармоника, полученная в системе Mathcad

3-я гармоника представлена на рисунке 3.2.4:

$$F(x, y, z) := i \cdot 3 \cdot 4.7198 \cdot \frac{10^7}{\left(1 - \frac{x}{0.26}\right)^2} \cdot \left[2 \cdot \pi \cdot 8.8 \cdot \frac{10^{-12}}{\ln \left[2 \cdot 10^{-3} \left(1 - \frac{x}{0.26}\right) \right] - 1} \right]$$

$$\cdot (9.3 \cdot 10^{-8} x^3 - 4.5 \cdot 10^{-4} \cdot x^2 + 0.38 \cdot x + 4.5 \cdot 10^3)^{-0.75}.$$

$$e^{\frac{60600}{(9.3 \cdot 10^{-8} x^3 - 4.5 \cdot 10^{-4} \cdot x^2 + 0.38 x + 4.5 \cdot 10^3)}} - 0.69745 \cdot 9 \cdot \frac{\left[\ln \left[\frac{1}{10^{-3} \cdot \left(1 - \frac{x}{0.26} \right)} \right] - 0.75 \right]}{\left[\ln \left[\frac{1}{10^{-3} \cdot \left(1 - \frac{x}{0.26} \right)} \right] - 1 \right]} \cdot y$$

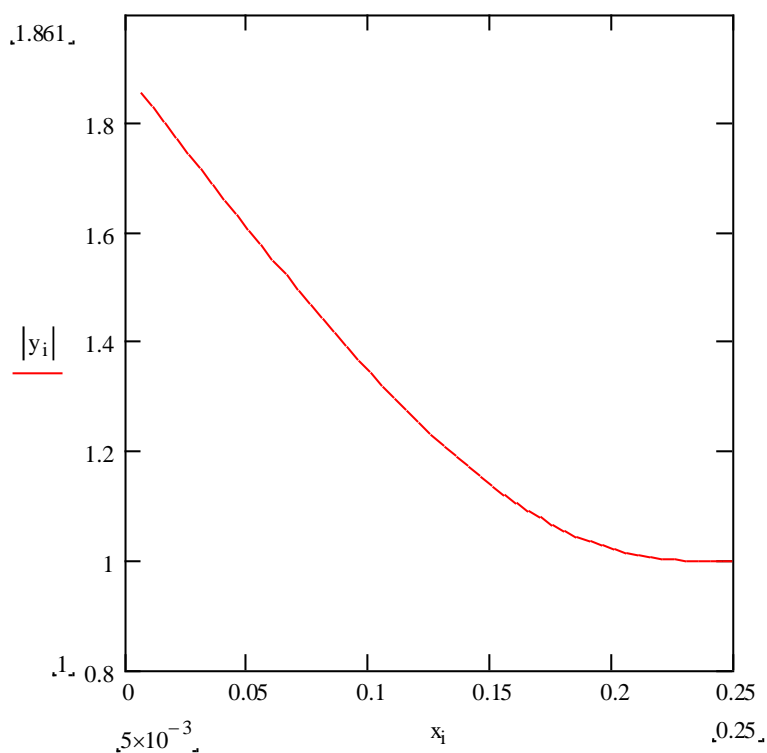


Рисунок 3.2.4 – 3-я гармоника, полученная в системе Mathcad

4-я гармоника представлена на рисунке 3.2.5:

$$F(x, y, z) := i \cdot 4 \cdot 4.7198 \cdot \frac{10^7}{\left(1 - \frac{x}{0.26} \right)^2} \cdot \left[2 \cdot \pi \cdot 8.8 \cdot \frac{10^{-12}}{\ln \left[2 \cdot 10^{-3} \left(1 - \frac{x}{0.26} \right) \right] - 1} \right]$$

$$\cdot (9.3 \cdot 10^{-8} x^3 - 4.5 \cdot 10^{-4} \cdot x^2 + 0.38 \cdot x + 4.5 \cdot 10^3)^{-0.75}.$$

$$\cdot e^{\frac{60600}{(9.3 \cdot 10^{-8} x^3 - 4.5 \cdot 10^{-4} \cdot x^2 + 0.38 x + 4.5 \cdot 10^3)}} - 0.69745 \cdot 16 \cdot \frac{\left[\ln \left[\frac{1}{10^{-3} \cdot \left(1 - \frac{x}{0.26} \right)} \right] - 0.75 \right]}{\left[\ln \left[\frac{1}{10^{-3} \cdot \left(1 - \frac{x}{0.26} \right)} \right] - 1 \right]} \cdot y$$

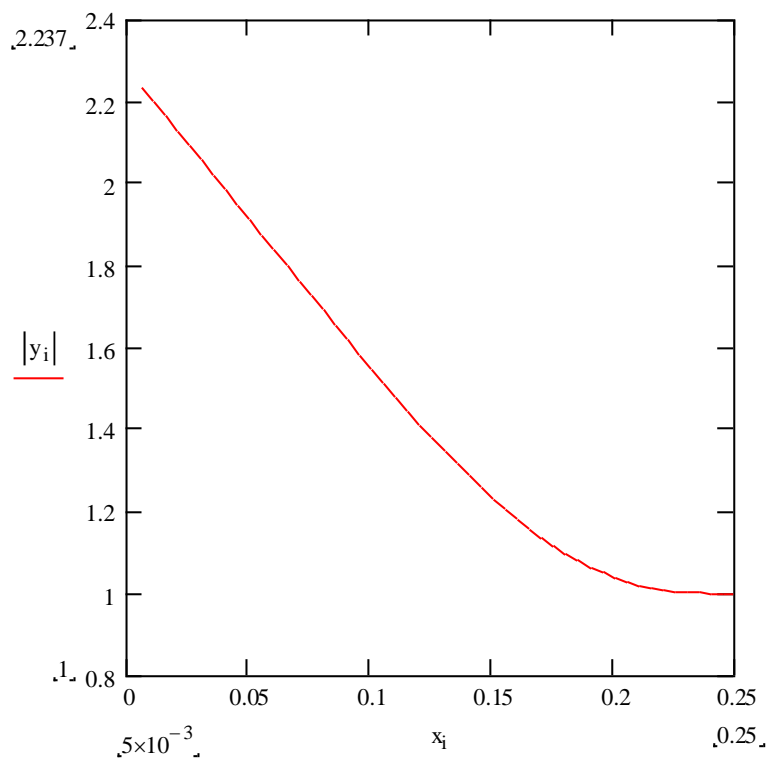


Рисунок 3.2.5 – 4-ая гармоника, полученная в системе Mathcad

Для более пологого конуса:

1-я гармоника представлена на рисунке 3.2.6:

$$F(x, y, z) := i \cdot 1 \cdot 4.7198 \cdot \frac{10^7}{\left(1 - \frac{x}{0.3}\right)^2} \cdot \left[2 \cdot \pi \cdot 8.8 \cdot \frac{10^{-12}}{\ln\left[2 \cdot 10^{-3} \left(1 - \frac{x}{0.3}\right)\right] - 1} \right] \cdot \left(9.3 \cdot 10^{-8} x^3 - 4.5 \cdot 10^{-4} \cdot x^2 + 0.38 \cdot x + 4.5 \cdot 10^3\right)^{-0.75} \cdot e^{\frac{60600}{\left(9.3 \cdot 10^{-8} x^3 - 4.5 \cdot 10^{-4} \cdot x^2 + 0.38 x + 4.5 \cdot 10^3\right)} - 0.69745 \cdot 1 \cdot \frac{\left[\ln\left[\frac{1}{10^{-3} \cdot \left(1 - \frac{x}{0.3}\right)}\right] - 0.75\right]}{\left[\ln\left[\frac{1}{10^{-3} \cdot \left(1 - \frac{x}{0.3}\right)}\right] - 1\right]}} \cdot y$$

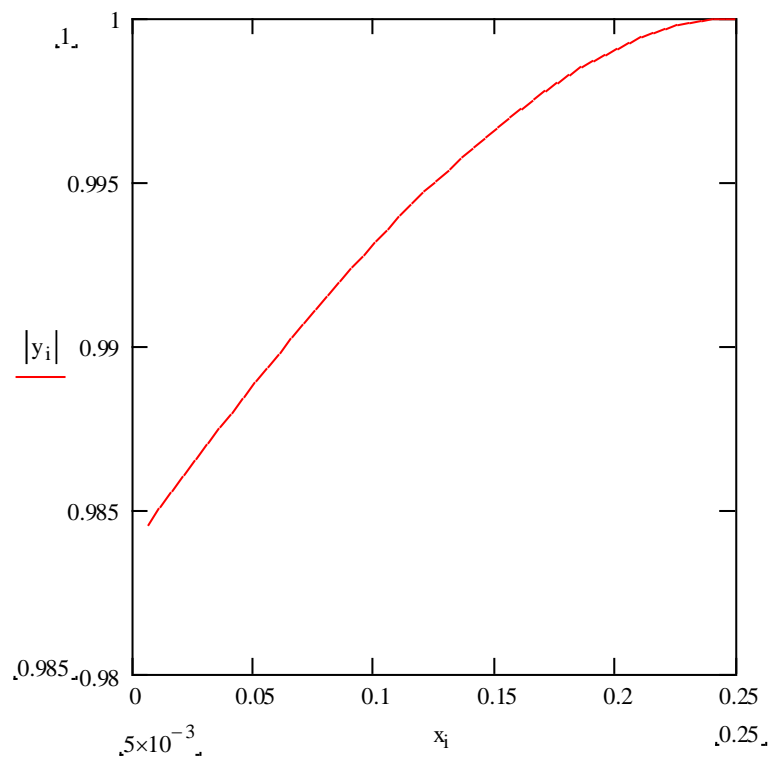


Рисунок 3.2.6 – 1-ая гармоника, полученная в системе Mathcad для пологого конуса

2-я гармоника представлена на рисунке 3.2.7:

$$F(x, y, z) := \left[i \cdot 2 \cdot 4.7198 \cdot \frac{10^7}{\left(1 - \frac{x}{0.3}\right)^2} \cdot \left[2 \cdot \pi \cdot 8.8 \cdot \frac{10^{-12}}{\ln \left[2 \cdot 10^{-3} \left(1 - \frac{x}{0.3}\right)\right] - 1} \right] \right] \cdot \left(9.3 \cdot 10^{-8} x^3 - 4.5 \cdot 10^{-4} \cdot x^2 + 0.38 \cdot x + 4.5 \cdot 10^3 \right)^{-0.75} \cdot e^{\frac{60600}{\left(9.3 \cdot 10^{-8} x^3 - 4.5 \cdot 10^{-4} \cdot x^2 + 0.38 x + 4.5 \cdot 10^3 \right)}} - 0.69745 \cdot 4 \cdot \frac{\left[\ln \left[\frac{1}{10^{-3} \cdot \left(1 - \frac{x}{0.3}\right)} \right] - 0.75 \right]}{\left[\ln \left[\frac{1}{10^{-3} \cdot \left(1 - \frac{x}{0.3}\right)} \right] - 1 \right]} \cdot y$$

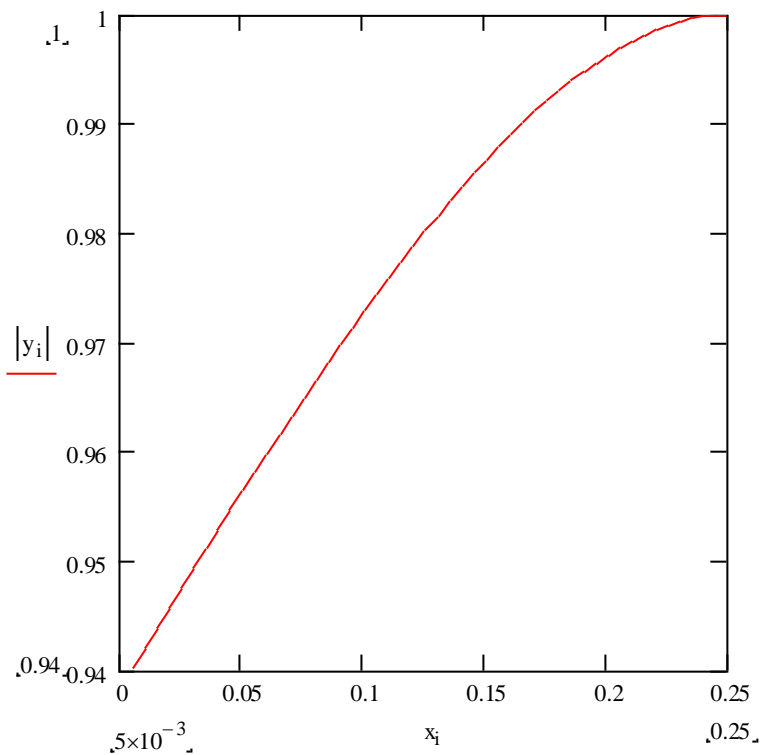


Рисунок 3.2.7 – 2-ая гармоника, полученная в системе Mathcad для пологого конуса

3-я гармоника представлена на рисунке 3.2.8:

$$F(x, y, z) := \left[i \cdot 3 \cdot 4.7198 \cdot \frac{10^7}{\left(1 - \frac{x}{0.3}\right)^2} \cdot 2 \cdot \pi \cdot 8.8 \cdot \frac{10^{-12}}{\ln \left[2 \cdot 10^{-3} \left(1 - \frac{x}{0.3}\right)\right] - 1} \right] \cdot \left(9.3 \cdot 10^{-8} x^3 - 4.5 \cdot 10^{-4} \cdot x^2 + 0.38 \cdot x + 4.5 \cdot 10^3 \right)^{-0.75} \cdot e^{\frac{60600}{\left(9.3 \cdot 10^{-8} x^3 - 4.5 \cdot 10^{-4} \cdot x^2 + 0.38 x + 4.5 \cdot 10^3 \right)}} \cdot \left[\frac{\ln \left[\frac{1}{10^{-3} \cdot \left(1 - \frac{x}{0.3}\right)} \right] - 0.75}{\ln \left[\frac{1}{10^{-3} \cdot \left(1 - \frac{x}{0.3}\right)} \right] - 1} \right] \cdot y$$

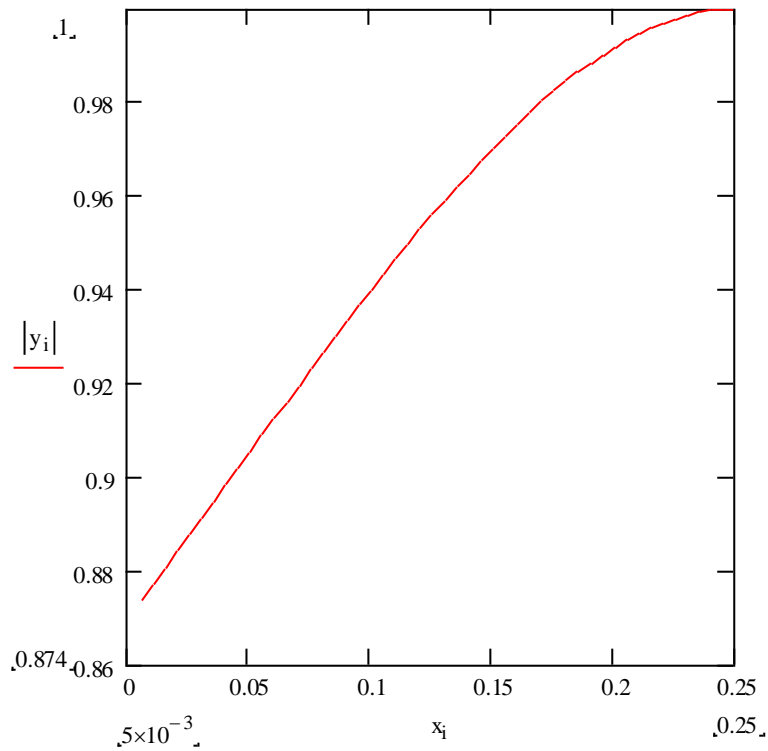


Рисунок 3.2.8 – 3-я гармоника, полученная в системе Mathcad для пологого конуса

4-я гармоника представлена на рисунке 3.2.9:

$$F(x, y, z) := \left[i \cdot 4 \cdot 4.7198 \cdot \frac{10^7}{\left(1 - \frac{x}{0.3}\right)^2} \cdot \left[2 \cdot \pi \cdot 8.8 \cdot \frac{10^{-12}}{\ln \left[2 \cdot 10^{-3} \left(1 - \frac{x}{0.3}\right)\right] - 1} \right] \right] \cdot \left(9.3 \cdot 10^{-8} x^3 - 4.5 \cdot 10^{-4} \cdot x^2 + 0.38 \cdot x + 4.5 \cdot 10^3 \right)^{-0.75} .$$

$$e^{\frac{60600}{(9.3 \cdot 10^{-8} x^3 - 4.5 \cdot 10^{-4} x^2 + 0.38x + 4.5 \cdot 10^3)}} - 0.69745 \cdot 16 \cdot \frac{\left[\ln \left[\frac{1}{10^{-3} \cdot \left(1 - \frac{x}{0.3} \right)} \right] - 0.75 \right]}{\left[\ln \left[\frac{1}{10^{-3} \cdot \left(1 - \frac{x}{0.3} \right)} \right] - 1 \right]} \cdot y$$

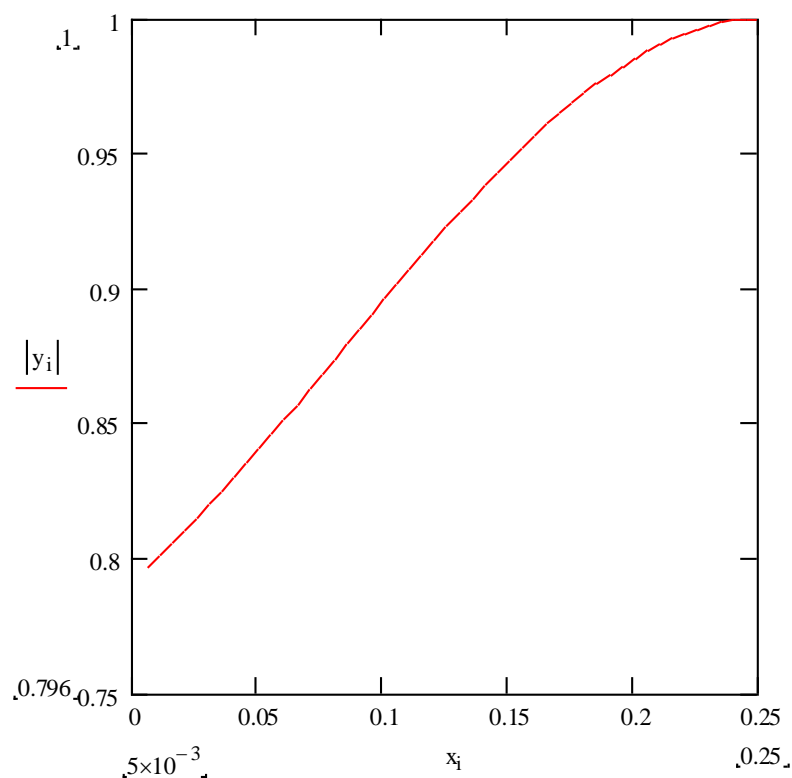


Рисунок 3.2.9 – 1-ая гармоника, полученная в системе Mathcad для пологого конуса

Из полученных расчетов можно сделать вывод что при увеличении частоты электромагнитных колебаний увеличивается их затухание, а отклонение от линейного характера наблюдается лишь на завершающем участке канала разряда.

Несоответствие экспериментальных и расчётных данных для второй гармоники можно объяснить посредством предположения о параметрическом

взаимодействии собственных колебаний плазмы разряда с внешним электромагнитным полем.

Таким образом, полученные в ходе расчетов результаты показали, что линейное затухание электромагнитного поля высокочастотного факельного разряда связано с осевой неоднородностью.

4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

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

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

Целью данного раздела является определение экономической целесообразности исследования электрофизических свойств высокочастотного факельного разряда.

В данном разделе необходимо решить следующие задачи:

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

исследования.

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

В данной научно-исследовательской работе изучаются особенности процесса распространения электромагнитной волны вдоль канала высокочастотного факельного разряда.

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

4.2 Анализ конкурентных технических решений

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

Оценочная карта анализа представлена в таблице 1. Проведено сравнение данной методики проведения исследования с конкурирующими. 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:

$$K = \sum B_i \cdot B_i \quad (4.2.1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя;

B_{ϕ} – продукт, который является результатом данной работы, $B_{к1}$ и $B_{к2}$ – конкурентные разработки.

Для сравнения выбраны конкурентные способы исследования характеристик высокочастотного факельного разряда, горящего в воздухе, в аргоне, а также с плазмоподавляющими добавками.

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

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		B_{ϕ}	$B_{к1}$	$B_{к2}$	K_{ϕ}	$K_{к1}$	$K_{к2}$
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1.Помехоустойчивость	0,1	5	4	3	0,5	0,4	0,3
2.Экологичность	0,18	5	3	3	0,9	0,54	0,54
3.Надежность	0,05	5	4	3	0,25	0,2	0,15
4.Простота эксплуатации	0,1	5	3	3	0,5	0,3	0,3
5.Экономичность	0,09	5	3	3	0,45	0,27	0,27
Экономические критерии оценки эффективности							
1.Конкурентоспособность продукта	0,07	5	4	3	0,35	0,28	0,21
2.Уровень проникновения на рынок	0,07	4	5	5	0,28	0,35	0,35
3.Цена	0,07	5	4	4	0,35	0,28	0,28
4.Предполагаемый срок эксплуатации	0,08	5	5	5	0,4	0,4	0,4
5.Послепродажное обслуживание	0,06	5	3	2	0,3	0,18	0,12

6. Финансирование научной разработки	0,03	4	5	4	0,12	0,15	0,12
7. Срок выхода на рынок	0,04	5	4	4	0,2	1,16	0,16
8. Наличие сертификации разработки	0,06	4	5	4	0,24	0,3	0,24
Итого	1	62	52	46	4,84	3,81	3,44

Проводимые в работе исследования особенности процесса распространения электромагнитной волны вдоль канала высокочастотного факельного разряда, являются оптимальными для использования в практических целях.

4.3 SWOT-анализ

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

Он проводится в несколько этапов.

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

Результаты первого этапа SWOT-анализа представлены в таблице 4.3.1.

Таблица 4.3.1– Матрица SWOT

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Наличие необходимого оборудования для проведения испытаний предлагаемой технологии; С2. Экономичное использование электроэнергии. С3. Компактность установки. С4. Простота монтажа установки и эксплуатация.	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Низкий уровень изученности метода и сложности в его развитии Сл2. Отсутствие прототипа научной разработки
Возможности: В1. Проведение дальнейших исследований и открытие новых перспектив. В2. Усовершенствование установки. В3. Сотрудничество с научными исследовательскими центрами.	Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и возможности»: Проведению дальнейших исследований и открытию новых перспектив, усовершенствованию установки и сотрудничеству с научными исследовательскими центрами могут поспособствовать выше перечисленные сильные стороны НИП, такие как простота и компактность.	Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и возможности»: В свою очередь не изученность метода, а также низкая актуальность может внести много трудностей при работе с установкой и разработке новых проектов.

Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства. У2. Малый спрос на установку.	Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и угрозы»: Угрозы слабо влияют на сильные стороны проекта, так как присутствует возможность ее усовершенствования и проведения новых опытов.	Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и угрозы»: Могут отрицательно сказаться на реализации данной установки в научно-исследовательской деятельности серьезно замедлить работу.
---	---	---

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

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

Таблица 4.3.2 – Интерактивная матрица проекта

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

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

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

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

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

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

4.4 Планирование научно-исследовательских работ

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

Таблица 4.4.1 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ работ	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение темы дипломной работы	Руководитель
	2	Анализ актуальности темы	Руководитель, Исполнитель
Выбор направления исследований	3	Поиск и изучение материала по теме	Руководитель, Исполнитель
	4	Выбор направления исследования	Руководитель
	5	Календарное планирование работ	Руководитель
	6	Подбор нормативных документов	Руководитель, Исполнитель
	7	Изучение экспериментальной методики	Исполнитель
Теоретические и экспериментальные исследования	8	Исследование осевого распределения частотных составляющих ВЧФР	Руководитель, Исполнитель
Обобщение и оценка результатов	9	Анализ результатов	Руководитель, Исполнитель

	10	Заключение	Исполнитель
	11	Оформление пояснительной записки к ВКР	Исполнитель
	12	Подготовка к защите ВКР	Исполнитель

4.4.1 Определение трудоемкости выполнения работ

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

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

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.

$$T_{Pi} = \frac{t_{ож\ i}}{Ч_i} \quad (4.4.1.2)$$

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

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

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

4.4.2 Разработка графика проведения научного исследования

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

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

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

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

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

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

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

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

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

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

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

Таблица 4.4.2.1 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ			T_{pi} Длительность работ в рабочих днях		T_{ki} Длительность работ в календарных днях	
	$t_{\min i}$, чел-дни	$t_{\max i}$, чел-дни	$t_{ож\ i}$, чел-дни	Р	И	Р	И
Составление и утверждение темы дипломной работы	3	8	5	5	-	8	-
Анализ актуальности темы	2	6	3,6	1,8	1,8	3	3
Поиск и изучение материала по теме	5	9	6,6	3,3	3,3	5	5
Выбор направления исследования	4	6	4,8	4,8	-	8	-
Календарное планирование работ	2	2	2	2	-	3	-

Подбор нормативных документов	5	9	6,6	3,3	3,3	5	5
Изучение экспериментальной методики	6	13	8,8	-	8,8	-	13
Проведение исследований	9	25	15,4	7,7	7,7	12	12
Анализ результатов	4	14	8	4	4	6	6
Заключение	5	13	8,2	-	8,2	-	13
Оформление пояснительной записки к ВКР	7	21	12,6	-	12,6	-	19
Подготовка к защите ВКР	7	14	9,8	-	9,8	-	15
Итого:			91,4	31,9	59,5	50	91

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

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

Рисунок 4.4.2.1 – Календарный план-график проведения ВКР по теме

■ – исполнитель ■ (с диагональными линиями) – руководитель

4.5 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

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

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

4.5.1 Расчет материальных затрат

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

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

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

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

$N_{расх\ i}$ – количество материальных ресурсов i -ого вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

C_i – цена приобретения единицы i -ого вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

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

Затраты на потребляемую электроэнергию рассчитываются по следующей формуле:

$$C_{эл} = W_y \cdot T_g \cdot S_{эл} \quad (4.5.1.2)$$

где W_y – установленная мощность, кВт;

T_g – время работы оборудования, час;

$S_{эл}$ – тариф на электроэнергию.

Расчёт затрат на потребляемую электроэнергию произведен в соответствии с тарифами на 2021 год для Томской области и представлен в таблице 4.5.1.1.

Таблица 4.5.1.1 – Расчёт затрат на потребляемую электроэнергию

Наименование оборудования	Мощность прибора, кВт	Продолжительность работы, час	Сумма, руб.
Компьютер	0,3	300	246
Лампа дневного освещения (8шт.)	0,4	500	546
Спектрометр	0,2	50	27
Итого по статье C_m			819

4.5.2 Расчет затрат на специальное оборудование

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

Норма амортизации рассчитывается как:

$$A_n = \frac{1}{t_{исн}} \cdot 100\%, \quad (4.5.2.1)$$

где $t_{исн}$ – срок полезного использования оборудования.

Затраты на амортизацию в проекте рассчитывается по формуле:

$$A_{П} = \frac{Ц \cdot A_n}{12} \cdot t, \quad (4.5.2.2)$$

где $Ц$ – стоимость оборудования, t – количество месяцев, которое оборудование работало.

Таблица 4.5.2.1 – Расчёт затрат по статье "Спецоборудование"

Наименование оборудования	Стоимость оборудования, руб.	Норма амортизации, %	Время использован ия, мес.	Сумма амортизационных отчислений, руб.
Персональный компьютер	40000	33	5	3333,33
Спектроанализатор СК4-59	70000	25	2	5833,33
Итого по статье C_a				9166,67

4.5.3 Основная заработная плата исполнителей темы

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

$$C_{зн} = Z_{осн} + Z_{доп} \quad (4.5.3.1)$$

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

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

Основную заработную плату руководителя НИР можно рассчитать по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб} \quad (4.5.3.2)$$

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

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

Для руководителя: $Z_{осн} = 1382,97 \cdot 32 = 44255$ рублей

Для исполнителя: $Z_{осн} = 827,17 \cdot 60 = 49630$ рублей

Среднедневная заработная плата работника рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_M \cdot M}{F_D} \quad (4.5.3.3)$$

где Z_M – месячный должностной оклад работника, руб.;

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

F_D – расчетный годовой фонд рабочего времени персонала (в рабочих днях).

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

для руководителя: $Z_{дн} = \frac{32313,72 \cdot 10,4}{243} = 1382,97$ рублей

для исполнителя: $Z_{дн} = \frac{17418,24 \cdot 10,4}{219} = 827,17$ рублей

Таблица 4.5.3.1 – Расчетный годовой фонд рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Исполнитель
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней (выходные/праздничные)	66	118
Потери рабочего времени:		
– отпуск	56	28
– невыходы по болезни	–	–
Действительный годовой фонд рабочего времени	243	219

Месячный должностной оклад работника рассчитывается по формуле:

$$Z_M = Z_{TC} \cdot (1 + \kappa_{IP} + \kappa_\partial) \cdot \kappa_P \quad (4.5.3.4)$$

где Z_{TC} – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

κ_{IP} – премиальный коэффициент (индивидуально стимулирующая добавка(ИСН), равный 20% от Z_{TC} ;

κ_∂ – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5;

κ_P – районный коэффициент, равный 1,3 для Томска;

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

Работникам, имеющим ученую степень устанавливается ежемесячная доплата: кандидату наук – 7000 рублей, учтем это при расчете Z_M .

$$Z_M = 23264,86 + 4652,97 \cdot 1,3 + 3000 = 32313,72 \text{ рублей}$$

$$Z_M = 13824 + 2764,8 \cdot 1,3 = 17418,24 \text{ рублей}$$

Результаты расчета основной заработной платы представлены в таблице 4.5.3.2.

Таблица 4.5.3.2 – Результаты расчета основной заработной платы

Исполнители	Z_{TC} , руб.	κ_{IP}	κ_P	Z_M , руб	$Z_{дн}$, руб.	$T_{раб}$, раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	23264,86	4652,97	1,3	32313,72	1382,97	32	44255
Исполнитель	13824	2764,8	1,3	17418,24	827,17	60	49630
Итого $Z_{осн}$							93885

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

$$Z_{дон} = Z_{осн} \cdot \kappa_{дон} \quad (4.5.3.5)$$

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

$k_{доп}$ – коэффициент дополнительной зарплаты;

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

Для руководителя: $Z_{доп} = 44255 \cdot 0,1 = 4425$ рублей.

Для исполнителя: $Z_{доп} = 49630 \cdot 0,1 = 4963$ рублей.

4.5.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$C_{внеб} = k_{внеб} \cdot Z_{общ} \quad (4.5.4.1)$$

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

$$C_{внеб} = 0,302 \cdot 93885 = 28353,27 \text{ рублей.}$$

4.5.5 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.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{накл} = k_{накл} \cdot (C_m + C_a + Z_{осн} + Z_{доп} + C_{внеб}) \quad (4.5.5.1)$$

где $k_{накл}$ – коэффициент накладных расходов равный 16 %;

$$C_{\text{накл}} = 0,8 \cdot (819 + 9166,67 + 93885 + 9388 + 28353,27) = 113289 \text{ рублей.}$$

4.5.6 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 таблице 4.5.6.1.

Таблица 4.5.6.1 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	Примечание
1. Материальные затраты НТИ	819	пункт 5.1
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	9166,67	
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	103273	пункт 5.2
4. Отчисления во внебюджетные фонды	56706	пункт 5.3
5. Накладные расходы	113289	пункт 5.4
6. Бюджет затрат НТИ	254901	пункт 5.5

4.6 Определение финансовой и ресурсной эффективности проекта

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

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

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

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

где $I_{финр}^{unc.i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

$$I_{финр}^{unc.1} = \frac{254901}{295453} = 0,86, \quad I_{финр}^{unc.2} = \frac{295453}{295453} = 1.$$

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

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

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

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

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

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

n – число параметров сравнения.

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

Таблица 4.6.1 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

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

В таблице 4.6.1 проводится сравнение двух вариантов проведения исследования особенности процесса распространения электромагнитной волны вдоль канала высокочастотного факельного разряда. В первом варианте исполнения проводится исследование влияние неоднородности канала на характеристики высокочастотного факельного разряда на основе телеграфного уравнения, во втором варианте проводится исследование характеристик высокочастотного факельного разряда, горящего в аргоне.

$$I_{p-ucn1} = 5 \cdot 0,3 + 5 \cdot 0,4 + 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,1 = 4,7 ;$$

$$I_{p-ucn2} = 4 \cdot 0,3 + 4 \cdot 0,4 + 4 \cdot 0,2 + 3 \cdot 0,1 = 3,9 .$$

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

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{исп.1}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр.1}}, I_{исп.2} = \frac{I_{p-исп2}}{I_{финр.2}} \text{ и т.д.} \quad (4.6.3)$$

$$I_{исп.1} = \frac{4,7}{0,86} = 5,5;$$

$$I_{исп.1} = \frac{3,9}{1} = 3,9.$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{ср}$):

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{исп1}}{I_{исп2}}. \quad (4.6.4)$$

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{5,5}{3,9} = 1,39.$$

Таблица 4.6.2 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп. 2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,86	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,7	3,9
3	Интегральный показатель эффективности	5,5	3,9

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

Выводы по разделу

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

2. В ходе планирования научно-исследовательских работ определён перечень работ, выполняемый рабочей группой. В данном случае рабочая группа состоит из двух человек: руководитель и исполнитель. Согласно составленному плану работ длительность трудовой занятости в рабочих днях сотрудников исследовательского проекта составила 91 день (60 дней – занятость исполнителя, 32 дня – длительность работы руководителя). На основе временных показателей по каждой из произведенных работ был построен календарный план-график, построенный на основе диаграммы Гантта, по которому можно увидеть, что самая продолжительная по времени работа – это оформление пояснительной записки к ВКР.

3. Бюджет научно-технического исследования составил 254901 руб. Бюджет НИИ состоит из материальных затрат (819 руб.), затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ (9166,67 руб.), затрат на оплаты труда (103273 руб.), отчислений во внебюджетные фонды (28353 руб.) и накладных расходов (113289 руб.).

4. Проведена оценка результатов ресурсоэффективности, интегральный показатель ресурсоэффективности составил 4,7 из 5, что говорит о хорошей эффективности реализации технического проекта.

6. Капиталовложения в размере 254901 руб. позволят провести исследования электрофизических особенностей высокочастотного факельного разряда. Результаты работы могут быть использованы для расчёта плазмохимических реакторов, предназначенных для работы в воздушной среде при атмосферном давлении.

5 Социальная ответственность

Введение

В данной научно-исследовательской работе проведены измерения осевого распределения частотных составляющих электромагнитного поля разряда и расчёт данного распределения с учётом реальной формы канала. Результаты работы могут быть использованы для расчёта плазмохимических реакторов, предназначенных для работы в воздушной среде при атмосферном давлении. Отдельные результаты могут быть использованы для проектирования плазмотронов, работающих в других плазмообразующих средах.

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

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

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

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

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

Рабочей зоной является учебно-научная лаборатория с площадью 31,2 м². Максимальное количество рабочих мест – 4.

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

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

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

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

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

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

5.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя

Помимо работ непосредственно с экспериментальным стендом, где персонал проводит лишь малую часть своего рабочего времени, в его обязанности входит работа за компьютером, связанная с обработкой экспериментальных данных и написанием статей.

При размещении рабочих мест с компьютерами расстояние между рабочими столами с мониторами (в направлении тыла поверхности одного видеомонитора и экрана другого видеомонитора), должно быть не менее 2 м, а расстояние между боковыми поверхностями мониторов - не менее 1,2 м.

Рабочие места с ПК при выполнении работы, требующей значительного умственного напряжения или высокой концентрации внимания, рекомендуется изолировать друг от друга перегородками высотой (1,5-2) м.

Экран видеомонитора должен находиться от глаз пользователя на расстоянии 600-700 мм, но не ближе 500 мм с учетом размеров алфавитно-цифровых знаков и символов.

Конструкция рабочего стола должна обеспечивать оптимальное размещение на рабочей поверхности используемого оборудования с учетом его количества и конструктивных особенностей, характера выполняемой работы.

При этом допускается использование рабочих столов различных конструкций, отвечающих современным требованиям эргономики.

Поверхность рабочего стола должна иметь коэффициент отражения 0,5-0,7. Конструкция рабочего стула (кресла) должна обеспечивать поддержание рациональной рабочей позы при работе на ПЭВМ, позволять изменять позу с целью снижения статического напряжения мышц шейно-плечевой области и спины для предупреждения развития утомления.

Тип рабочего стула (кресла) следует выбирать с учетом роста пользователя, характера и продолжительности работы с ПЭВМ. Рабочий стул (кресло) должен быть подъемно-поворотным, регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки.

Компьютер широко применяется в офисе, в производстве. Применение компьютерных технологий принципиально изменило характер труда офисных работников и требования к организации и охране труда. Несоблюдение требований безопасности при работе за компьютером приводит к дискомфорту работников: возникают головные боли и резь в глазах, появляются усталость и раздражительность. Может нарушаться сон, ухудшается зрение, начинают болеть руки, шея, поясница, что приводит в конечном итоге к понижению качества и эффективности работы работника, и, как следствие, всего предприятия.

К требованиям работы за компьютером можно отнести:

- использование комбинированного рабочего времени, т.е. совмещение работы письменного характера и работы за компьютером (если основная часть работы проходит за компьютером);
- использование ПЭВМ исключительно в рабочих целях;
- содержание рабочего стола с компьютером в порядке для наиболее комфортной работы за ним;
- выполнение ряда специальных упражнений для глаз во время регламентированного перерыва.

5.3 Производственная безопасность

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

Производственные условия на рабочем месте характеризуются наличием опасных и вредных факторов, которые классифицируются по группам элементов: физические, химические, биологические, психофизиологические. Основные элементы производственного процесса представлены в таблице 5.3.1.

Таблица 5.3.1 – Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы

Факторы	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1. Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
2. Повышенный уровень электромагнитного излучения	–	–	+	ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Общие требования безопасности.
3. Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	+	СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий.
4. Превышение уровня шума	+	+	+	СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки
5. Психофизиологические факторы	–	+	+	СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03. «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы».
6. Поражение электрическим током	+	+	+	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.

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

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

Биологические и химические вредные производственные факторы отсутствуют.

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

В соответствии с основными требованиями к помещениям для эксплуатации ПЭВМ и ВЧФ-плазматрона (СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03) они должны иметь естественное и искусственное освещение. Площадь на одно рабочее место пользователей ПЭВМ должна составлять не менее 6 м².

5.2.3 Отклонение показателей микроклимата

Воздух рабочей зоны (микроклимат) производственных помещений определяют следующие параметры: температура, относительная влажность, скорость движения воздуха. Оптимальные и допустимые значения характеристик микроклимата устанавливаются в соответствии с нормами и приведены в таблице 5.2.3.1.

Таблица 5.2.3.1 – Оптимальные и допустимые параметры микроклимата

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

Отклонение показателей микроклимата от нормы не вызывает повреждений или нарушений состояния здоровья, но может приводить к

возникновению общих и локальных ощущений теплового дискомфорта, напряжению механизмов терморегуляции, ухудшению самочувствия и понижению работоспособности.

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

5.2.4 Повышенный уровень электромагнитного излучения

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

Экран и системные блоки ЭВМ производят электромагнитное излучение. Основная его часть происходит от системного блока и видеокабеля. Напряженность электромагнитного поля на расстоянии 50 см вокруг экрана по электрической составляющей должна соответствовать таблице 5.2.4.1.

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

Таблица 5.2.4.1 – Допустимые уровни параметров электромагнитного поля

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

Существуют следующие способы защиты от ЭМП:

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

5.2.5 Недостаточная освещенность рабочей зоны

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

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

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

освещения должен приниматься равным 1,4. Коэффициент пульсации не должен превышать 5%.

Искусственное освещение в помещениях для эксплуатации ПЭВМ должно осуществляться:

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

5.2.6 Превышение уровня шума

Шум, являясь общебиологическим раздражителем, оказывает влияние не только на слуховой анализатор, но действует на структуры головного мозга, вызывая сдвиги в различных функциональных системах организма. Среди многочисленных проявлений неблагоприятного воздействия шума на организм человека выделяются: снижение разборчивости речи, неприятные ощущения, развитие утомления и снижение производительности труда, появление шумовой патологии. В нашем случае источником шума является откачивающий компрессор. Уровень шума компрессора менее 65 дБ, что соответствует санитарным нормам.

В таблице 5.2.6.1 приведены нормы уровня шума при различных видах работ.

Таблица 5.2.6.1 – Нормативы уровня шума при различных видах работ

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

5.2.7 Психофизиологические факторы

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

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

Наиболее эффективные средства предупреждения утомления при работе на производстве – это средства, нормализующие активную трудовую деятельность человека. На фоне нормального протекания производственных процессов одним из важных физиологических мероприятий против утомления является правильный режим труда и отдыха (СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03. «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы»).

5.2.8 Поражение электрическим током

Помещение для проведения опытов по опасности поражения электрическим током можно отнести ко 2 классу, т.е. это помещение без повышенной опасности из-за возможности одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землей металлоконструкциям зданий, технологическим аппаратам, механизмам и т.п., с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования – с другой (ГОСТ Р 12.1.019-2009.).

Существует опасность электропоражения в следующих случаях:

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

Степень опасного воздействия электрического тока на организм человека зависит от:

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

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

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

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

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

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

Основными мероприятиями по защите от поражения электрическим током являются:

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

5.3 Экологическая безопасность

В работе проводится изучение процесса горения высокочастотного факельного разряда в аргоне. Влияние работы ПЭВМ и плазменного модуля на базе высокочастотного генератора на экологическое состояние планеты сложно недооценить. Наибольший вред от них в работе – потребление электроэнергии. ПЭВМ и ВЧФ-плазматрон не производят выбросов вредных веществ, не создают излучения, способного нарушить экологическую безопасность природы. Однако их производство и утилизация составляют

серьезную проблему. Также стоит отметить, что при производстве ПЭВМ и других устройств используются тяжелые, щелочноземельные металлы, ртуть, пластик и стекло, что без должной утилизации по окончании службы попадает в природу и остается в не переработанном виде от века до полутора тысяч лет.

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

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

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

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

Научно-исследовательская работа проходила в учебно-научной лаборатории с площадью 31,2 м², которое находится в 10 корпусе Томского политехнического университета на ПЭВМ и высокочастотной плазмохимической установки. Наиболее характерной ЧС для данных условий работы является пожар. Пожар в рабочем помещении разработчика может возникнуть вследствие причин неэлектрического и электрического характера.

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

К причинам электрического характера относятся:

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

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

Причины возникновения короткого замыкания:

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

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

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

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

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

Должны быть приняты следующие меры противопожарной безопасности:

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

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

Существует порядок действий и правила поведения в случае возникновения пожара:

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

Выводы по разделу

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

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

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

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

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

Выводы по работе

1. Для электромагнитного поля в плазме высокочастотного факельного разряда, зависящего от частоты, установлен нелинейный характер затухания. Предполагается параметрическое взаимодействие электромагнитного поля с собственными колебаниями плазмы на частоте ионной плазмы.

2. Был определен линейный характер ослабления электромагнитного поля вдоль канала разряда.

3. Так как, полученные при расчетах электродинамических свойств факельного разряда, совпадают с полученными при проведении эксперимента данными, оправдано использование телеграфного уравнения для расчета электродинамических высокочастотного факельного разряда свойств разряда.

Список использованных источников

1. Зилитинкевич С.И. Электрическое факельное истечение // Телеграфия и телефония без проводов. – 1928. – №9. – С. 652-657.
2. Тихомиров И.А., Власов В.А., Луценко Ю.Ю. Физика и электрофизика высокочастотного факельного разряда и плазмотроны на его основе // Москва: Энергоатомиздат., 2002. – 196 с.
3. Vlasov V.A., Tikhomirov I.A., Lutsenko Yu.Yu. Physics and electrophysics of high-frequency torch discharge and plasmatrons on its base.//Tomsk–Northampton:STT,2007.
4. Trunecek V. Unipolar and electrodeless capacitively coupled high-frequency discharges excited at atmospheric pressure and their applications // Acta physica slovacica. - 1979. – Bd 29. – pp.180-183.
5. Farchy V., Janca J. Energische Verholtnisse in Plasma empoligar // Beitr. Plasmaphysik. – 1968. – Bd.9. – pp.129-142.
6. Зорин А.А., Луценко Ю.Ю. Определение характеристик электромагнитной волны, распространяющейся в плазме высокочастотного факельного разряда. // 10 Юбилейная международная научно – практическая конференция «Современные техника и технологии». – Томск, 2004. – с.263 – 264.
7. Марусин В.В., Тихомиров И.А., Юрьев Ю.Г. Влияние амплитудной модуляции на свойства ВЧФ разряда // Генераторы низкотемпературной плазмы. – 1969. – С.110-115.
8. Тихомиров И.А., Марусин В.В. К распределению электронов по энергиям в ВЧ факельном разряде. // ЖТФ. – 1967. – т.38. - №1. – С.34-35.
9. Качанов А.В., Трехов Е.С., Фетисов Е.Л. Электродинамическое описание высокочастотного факельного разряда //Физика газоразрядной плазмы. – М., 1968. – Вып.1. – С. 39-47.

10. Trunecek V. Measurement and calculations on characteristics of torch discharge// Acta Phys. Slovaca. – 1979. Vol. 29, N 2. – pp. 180–183. – ISBN 978–1–4113–2969–0
11. Качанов А.В., Трехов Е.С., Фетисов Е.П. Электродинамическая модель высокочастотного факельного разряда// Журнал Технической Физики. – 1970. – т.15. – С.340-345.
12. Тихомиров И.А., Луценко Ю.Ю., Шайхеев А.Г. Определение электродинамических характеристик плазмы высокочастотного факельного разряда по результатам зондовых измерений его электромагнитного поля // Тез. докл. XI Всесоюзн. конф. по генераторам н/т плазмы, Новосибирск, 1989. – с.201/
13. Mollwo L. Electronentemperatur und Elektronen-rauschen in der hochfrequenten Fackelentladung // Ann. der Phys. – 1958. – №2. – pp. 97-129. – ISBN 13: 978-3-663-07471-7.
14. Трехов Е.С., Тюрин Е.А., Фетисов ЕЛ. К теории высокочастотного факельного разряда в воздухе // ЖТФ. – 1970. – №3. – С.340-345.
15. Качанов А.В. Лабораторный высокочастотный факельный плазмотрон и его электродинамические параметры в нем. // VIII Всесоюз. конф. по генераторам низкотемпературной плазмы: тез докл. – Новосибирск, 1980. – С. 107-110.
16. Качанов А.В. и др. Экранированный высокочастотный факельный разряд // Физика газоразрядной плазмы. Вып. 1. – 1968. с. 39.
17. Нейман М.С. О факельном разряде. //Известия электропромышленности слабого тока. – 1935. - №7. – С.7-9
18. Тихомиров В.В., Федянин В.Я. Определение некоторых параметров высокочастотного факельного разряда // Известия Томского политехнического университета. – 1972. – Т. 225. – С. 186–188.
19. Сузи Я.А., Лаан М.Р. Измерение вращательной температуры во время импульсного ВЧ разряда. // Уч. зап. Тартуского университета. – 1982. – Т. 631. – С. 13–18.

20. Иоссель Ю. Я. Расчет электрической емкости// Ленинград: Энергоиздат, 1981. – с. 288.
21. Калантаров, П.Л. Расчет индуктивностей: справочная книга// Ленинград: Энергоатомиздат, 1986. – с. 487.
22. В. А. Власов, Ю. Ю. Луценко, И. А. Тихомиров О характере затухания электромагнитного поля в плазме высокочастотного факельного разряда // Письма в ЖТФ – 2006 . – Т. 32, вып. 9 . – С. 23-27.
23. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018)
24. Конституция Российской Федерации [Электронный ресурс]: принята всенародным голосованием 12 декабря 1993 года. : (с учетом поправок, внесенных Законами Российской Федерации о поправках к Конституции Российской Федерации от 30.12.2008 N 6-ФКЗ, от 30.12.2008 N 7-ФКЗ, от 05.02.2014 N 2-ФКЗ, от 21.07.2014 N 11-ФКЗ30 декабря 2008 № 6-ФКЗ и № 8 – ФКЗ) // СПС «Консультант плюс». – Режим доступа: <http://www.consultant.ru/>
25. ГОСТ 12.2.049-80. ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования: дата введения 1982-01-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/5200234> (дата обращения: 12.05.2021). - Текст: электронный.
26. СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/901704046> (дата обращения: 12.05.2021). - Текст: электронный.
27. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/901859404> (дата обращения: 12.05.2021). - Текст: электронный.
28. СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/901703278> (дата обращения: 12.05.2021). - Текст: электронный.

29. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов: дата введения 1983-07-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/5200313> (дата обращения: 12.05.2021). - Текст: электронный.

30. ГОСТ Р 12.1.019-2009. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты: дата введения 2019-01-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200161238> (дата обращения: 12.05.2021). - Текст: электронный.