

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

Институт Физико-технический

Направление подготовки 14.04.02 Ядерная физика и технологии

Кафедра Техническая физика

МАГИСТЕРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Определение тепловых потерь в конструктивных элементах высокочастотного факельного плазмотрона

УДК 537.527:66.08.001.24

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM5A	Савасичев Константин Александрович		

Руководитель

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ТФ ФТИ	Шаманин И.В.	д.ф.-м.н.		

Томск – 2017 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения
Профессиональные компетенции	
P1	Способность самостоятельно приобретать с помощью информационных технологий и использовать в практической деятельности новые знания и умения, в том числе в новых областях знаний, непосредственно не связанных со сферой деятельности, расширять и углублять свое научное мировоззрение.
P2	Готовность к созданию новых методов расчета современных физических установок и устройств, разработке методов регистрации ионизирующих излучений, методов оценки количественных характеристик ядерных материалов.
P3	Способность применять экспериментальные, теоретические и компьютерные методы исследований в профессиональной области.
P4	Способность самостоятельно выполнять экспериментальные или теоретические исследования для решения научных и производственных задач с использованием современной техники и методов расчета и исследования
P5	Способность оценивать риск и определять меры безопасности для новых установок и технологий, составлять и анализировать сценарии потенциально возможных аварий, разрабатывать методы уменьшения риска их возникновения.
P6	Способность провести расчет, концептуальную и проектную проработку современных физических установок и приборов
P7	Способность формулировать технические задания, использовать информационные технологии и пакеты прикладных программ при проектировании и расчете физических установок, использовать знания методов анализа эколого-экономической эффективности при проектировании и реализации проектов.
P8	Способностью к анализу технических и расчетно-теоретических разработок, к учету их соответствия требованиям законов в области промышленности, экологии, технической, радиационной и ядерной безопасности и другим нормативным актам.
P9	Способность на практике применять знание основных понятий в Области интеллектуальной собственности, прав авторов, предприятия-работодателя, патента обладателя, основных положений патентного законодательства и авторского права Российской Федерации.
P10	Способность проводить поиск по источникам патентной информации, определять патентную чистоту разрабатываемых объектов, подготавливать первичные материалы к патентованию изобретений, официальной регистрации компьютерных программ и баз данных

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

Студенту:

Группа	ФИО
0AM5A	Савасичев Константин Александрович

Институт	ФТИ	Кафедра	ТФ
Уровень образования	магистрант	Направление/специальность	14.04.02

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	1. Норматив заработной платы 2. Стоимость расходных материалов
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	1. Коэффициенты для расчета заработной платы

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Планирование и формирование бюджета научных исследований	1. Структура работ в рамках научного исследования 2. Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения научного исследования 3. Бюджет научно-технического исследования
2. Разработка календарного план-графика выполнения ВКР	1. Определение показателя технической готовности темы, длительности этапов, коэффициента календарности и продолжительности работ 2. Построение календарного план графика проведения ВКР
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	1. Определение коэффициента социально-научного эффекта НИР 2. Определение коэффициента научно-технического эффекта дипломной работы 3. Оценка ресурсной эффективности НИР

Перечень графического материала

1. Матрица SWOT
2. Календарный план-график выполнения ВКР

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Верховская М.В.	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM5A	Савасичев Константин Александрович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
0AM5A	Савасичеву Константину Александровичу

Институт	ФТИ	Кафедра	Технической физики
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	14.04.02 «Ядерные физика и технологии»

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

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

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

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

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM5A	Савасичев Константин Александрович		

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

Институт Физико-технический
Направление подготовки (специальность) 14.04.02.«Ядерная физика и технологии»
Кафедра Техническая физика

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
0AM4A	Савасичеву Константину Александровичу

Тема работы:

Определение тепловых потерь в конструктивных элементах высокочастотного факельного плазмотрона	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 791/с от 04.02.2017

Срок сдачи студентом выполненной работы:

--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Определение тепловых потерь в конструктивных элементах высокочастотного факельного плазмотрона
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	При разработке магистерской диссертации должны быть рассмотрены следующие вопросы: <ol style="list-style-type: none">1. Расчет газовой температуры.2. Определение тепловой мощности, теряемой на электроде и кожухе.3. Экономическое обоснование проведения НИР.

Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>		
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы		
Раздел	Консультант	
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	доцент каф. Мен. ИСГТ Верховская Марина Витальевна	
«Социальная ответственность»	ассистент каф. ПФ ФТИ Гоголева Татьяна Сергеевна	
По иностранному языку	старший преподаватель каф. ИЯ ФТИ Ермакова Янина Викторовна	
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:		
Литературный обзор, экспериментальная часть		

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

Задание выдал руководитель:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0АМ4А	Савасичев Константин Александрович		

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

Институт Физико-технический
 Направление подготовки (специальность) 14.04.02 «Ядерная физика и технологии»
 Уровень образования Магистратура
 Кафедра Техническая физика
 Период выполнения (весенний семестр 2016/2017 учебного года)

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
 выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
17.03.2017	Разработка ТЗ на ВКР	20
24.03.2017	Составление и утверждение технического задания	10
25.03.-31.03.2017	Выбор направления исследования и способов решения задач	10
1.04.-14.04.2017	Сбор и изучение научно-технической литературы	10
15.04.-18.04.2017	Сбор установки	5
19.04.-14.05.2017	Проведение экспериментов по определению газовой температуры	10
15.05.-20.05.2017	Определение тепловой мощности, теряемой на плазмотроне	10
21.05.-23.05.2017	Анализ и обработка полученных результатов	5
24.05.2017	Обобщение и оценка эффективности полученных результатов	5
25.05.-02.06.2017	Оформление пояснительной записки	5

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Луценко Ю.Ю.			

СОГЛАСОВАНО:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Техническая физика	Шаманин И.В.	д.ф.-м.н		

Оглавление

РЕФЕРАТ.....	10
ВВЕДЕНИЕ	11
1 ОБЗОРНАЯ ГЛАВА	12
1.1 Высокочастотный факельный разряд.....	12
1.2 Температура ВЧФ разряда.....	15
1.3 Диагностика плазмы и её специфика.....	20
2 ИЗМЕРЕНИЕ ГАЗОВОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ РАЗРЯДНОЙ ПЛАЗМЫ В ВЫСОКОЧАСТОТНОМ ФАКЕЛЬНОМ РАЗРЯДЕ.....	23
2.1 Методика измерения газовой температуры.....	23
2.2 Схема экспериментальной установки	25
3 ТЕПЛОВЫЕ ПОТЕРИ В КОНСТРУКТИВНЫХ МАТЕРИАЛАХ ВЧФ ПЛАЗМОТРОНА	43
3.1 Теплообмен в плазмотроне.....	43
3.2 Плазмотрон с охлаждаемыми стенками.....	44
3.3 Калориметрирование	45
3.4 Теплопередача через плоскую стенку	46
3.5 Критериальные уравнения конвективного теплообмена	48
4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	50
4.1 Техничко-экономическое обоснование ВКР	50
4.2 Планирование НИР.....	53
4.3 Определение плановой себестоимости проведения НИР	60
4.4 Эффективность НИР	65
5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	70
5.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	71

5.2 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов	73
5.3 Техника безопасности при эксплуатации газовых баллонов	77
5.4 Электробезопасность.....	79
ВЫВОДЫ	85
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	86
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	87
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	91

РЕФЕРАТ

Пояснительная записка к выпускной квалификационной работе представлена на 103 страницах и содержит 51 рисунок, 23 таблицы, список используемой литературы 30 наименований, 1 приложение.

Ключевые слова: температура, плазма, факельный разряд, теплообмен, энерговыделение.

Цель работы – определение взаимосвязи тепловой мощности высокочастотного факельного разряда с его геометрическими размерами.

В процессе исследования проводились измерения газовой температуры факельного разряда, горящего в аргоне и воздухе. А также калориметрическим методом измерялись тепловые потери на водоохлаждаемом высоковольтном электроде и в водоохлаждаемом корпусе плазмотрона.

Результаты данной выпускной квалификационной работы могут быть использованы для разработки и оптимизации конструкций плазмотрона, горящего на аргоне и воздухе.

Научная новизна и ценность заключается в следующем: на основе проведенных измерений стало возможным выявление линейной зависимости между длиной канала разряда и тепловыми потерями на электроде и корпусе плазмотрона. А так же в работе установлено, что диаметр канала факельного разряда прямо пропорционален корню квадратному от тепловой мощности разряда. Экспериментально подтвержденные данные позволяют оценить достоверность теории физических процессов, протекающих в плазмотроне.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2007. Вычисления и построение графиков выполнялись с помощью программы Microsoft Excel 2003 и Matlab 2010.

ВВЕДЕНИЕ

Плазменные технологии находят большое применение по переработке веществ, получении высокочистых материалов с заданными свойствами, утилизации различных техногенных отходов. Использование ВЧ разрядов в лазерных системах, для проведения плазмохимических процессов, а так же для генерации плазменных струй с заданными свойствами обусловили возрастание объемов исследовательских работ в этом направлении.

В настоящее время в литературе отсутствуют достоверные экспериментальные результаты, связывающие геометрические характеристики факельного разряда с его мощностью. Поэтому расчёты характеристик разряда, проводимые в соответствие с той или иной теоретической моделью разряда, невозможно проверить экспериментально.

В настоящей работе проведена оценка взаимосвязи длины канала факельного разряда, горящего в воздухе (аргоне) с его тепловой мощностью. Проведено определение тепловой мощности, теряемой на электроде разряда. На основе измерения газовой температуры в канале и диффузионной оболочке разряда рассчитаны радиальные тепловые потери факельного плазмотрона. Показано, что увеличение тепловых потерь на электроде с увеличением общей тепловой мощности разряда обусловлено увеличением диаметра фокального пятна, а не изменением плотности высокочастотного тока.

1 ОБЗОРНАЯ ГЛАВА

1.1 Высокочастотный факельный разряд

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

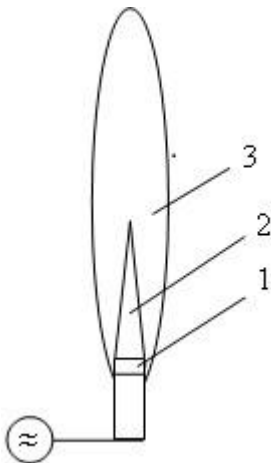


Рис. 1.1 Высокочастотный факельный разряд

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

взгляд, исследования одноэлектродного разряда мощностью до 150-200 Вт, возбуждаемого синусоидальным ВЧ напряжением были проведены чешскими авторами [2, 3].

При вышеуказанных величинах мощностей, вкладываемых в разряд авторы работ [2, 4] выделили три режима его горения, для каждого из которых существует свой механизм протекания физических процессов: высокочастотный коронный разряд; высокочастотный факельный разряд; высокочастотный дуговой разряд.

Высокочастотный коронный разряд представляет собой целый ряд искривленных плазменных каналов, выходящих из электрода в виде "короны", либо имеет вид одного канал с размытой, диффузной структурой. Высокочастотная корона наблюдается [2] при частотах 10 МГц, или в случае больших частот ВЧ-напряжения – при усиленном охлаждении плазмы

ВЧФР был открыт Зилитинкевичем С.И. в 1928 году [1] при исследовании работы ВЧ генераторов. Заметим, что до 60-х годов проводились исследования одноэлектродных разрядов, имеющих мощность не более 200 Вт.

Наиболее полные, на наш

разряда. Для высокочастотной короны характерна высокая степень неравновесности и соответственно существенное различие между температурой электронов [17] $T_e = (67) \cdot 10^3 \text{K}$ и температурой тяжелых частиц [34] $T = (23) \cdot 10^3 \text{K}$. Механизм горения высокочастотной короны объясняется на основе [5, 6] стриммерной теории.

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

Высокочастотная дуга представляет собой одноэлектродный разряд [4] при горении которого идет сильное испарение материала электрода. Вследствие этого при рассмотрении механизма горения высокочастотной дуги необходимо учитывать процессы на электроде, а также влияние присутствия газовой фазы материала электрода в плазме разряда. В случае охлаждения электрода высокочастотная дуга переходит в ВЧФР.

Вышеуказанные три типа одноэлектродного ВЧ разряда хорошо различаются лишь при малых мощностях высокочастотной энергии подводимой к разряду, так как в этом случае регулирование степени неравновесности плазмы разряда легко осуществить либо простым изменением подводимой к разряду мощности, либо охлаждением плазмы разряда газовым потоком.

При мощностях $W70 \text{Вт}$ в случае охлаждаемого электрода можно наблюдать, как правило, только ВЧФР. Поэтому при работе с достаточно мощными разрядами возбуждаемыми при частоте 10 МГц, которые используются в прикладных и исследовательских целях, одноэлектродный разряд можно отождествить с ВЧФР.

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

1. исследование влияния различных факторов (формы, материала электрода, рода плазмообразующего газа, величины подводимой мощности) на свойства ВЧФР [2, 3, 17];
2. исследование характеристик плазмы ВЧФР (температуры тяжелых частиц, температуры и концентрации электронов, степени неравновесности плазмы разряда) [7, 3, 4, 17];
3. теоретические и экспериментальные исследования вопросов тепломассопереноса в плазме ВЧФР [9, 7, 10];
4. исследование амплитудно-модулированной плазмы ВЧФР [13];
5. изучение влияния внешних электрических полей на свойства и поведение ВЧФР [13];
6. исследование вопроса согласования ВЧФР с ВЧ генератором [6];
7. исследование электрических характеристик ВЧФР (напряжение горения, полный ток, емкость разряд-земля) [2, 14].

ВЧФР легко возбуждается в любой газовой среде (воздух, инертные газы, водород и т.д.) при давлениях 10^1 - 10^5 Па. Вид, форма, режимы горения ВЧФР освещены в работах [9, 2, 4].

Из экспериментальных исследований следует, что структура ВЧФР и его размеры определяются свойствами плазмообразующего газа, характером и уровнем вводимой в разряд мощности. При давлениях более $3,3 \cdot 10^4$ Па свободный ВЧФР представляет собой плазменное образование с ярко выделенным тонким каналом и диффузионной оболочкой с радиусом в 310 раз большем радиуса канала (рис. 1.1).

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

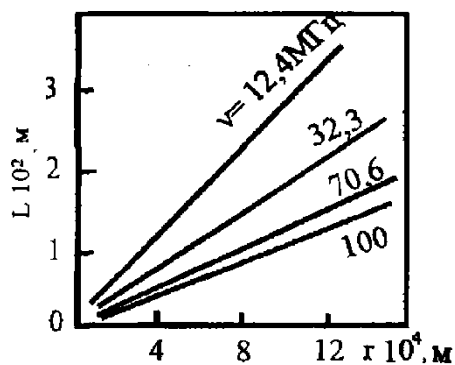


Рис. 1.2. Зависимость длины канала ВЧФР от радиуса разряда

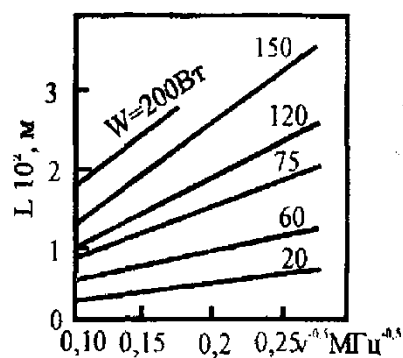


Рис. 1.3. Зависимость длины канала ВЧФР от частоты

1.2 Температура ВЧФ разряда

Достаточно много работ посвящено измерению температуры факельного разряда. В таблице 1.1 приведены значения температуры канала ВЧФР. Как видно из таблицы 1.1 газовая температура ВЧФР в значительной степени зависит от рода плазмообразующего газа и частоты питающего разряд электромагнитного поля. Газовая температура зависит также [15] от мощности, вкладываемой в разряд и от ВЧ частоты (рис.1.4 и рис. 1.5).

Таблица 1.1 Значения температуры канала ВЧФР

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Мощность, P ₀ , Вт	Плазмообразующий газ	Частота, 10 ⁻⁶ , Гц	Радиус канала ВЧФР, a 10 ² , м	Длина разряда, L 10 ² , м	Проводимость, , см/м	Газовая температура, T _г 10 ⁻³ , К (в канале)	Температура электронов (канала) T _e 10 ⁻³ , К	Ток в разряде, I, А	Напряжение разряда U 10 ⁻³ , В	Напряженность электрического поля, E 10 ⁻² , В/м	Концентрация электронов, n _e 10 ⁻⁶ , м ⁻¹	Литература
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
500-600	воздух	6-20	-	15-20	-	-	-	-	-	-	-	[31]
20-200	воздух	12-100	0,24-0,34	0,3-36,6	-	3,3-4,3	-	0,01-0,14	-	-	-	[43]
-	воздух	30	-	-	-	3,8-4,2	-	-	-	300-500	510 ¹⁰ -10 ¹¹	[46]
30	азот	30	-	-	-	3,8	-	-	-	-	10 ¹¹ -10 ¹²	[37]
15-308	воздух	8,7	-	-	-	-	-	410 ⁻³ -310 ⁻²	3,6-4,4	-	-	[39]
-	воздух	40	-	-	-	3,5	7,0	1,24	-	-	-	[38]
500-600		34	-	-	-	0,9	7,4	-	-	-	3,210 ³ -1,510 ⁴	[38]
500-600		34	-	-	-	-	7,8	-	-	-	0,710 ¹⁴ -1,910 ¹⁴	[38]
100	гелий	26	-	-	-	0,9	25	-	-	-	1,210 ¹⁵ -3,010 ¹⁵	[47]
-	воздух	-	-	-	-	3,8-4,2	-	-	-	-	-	[48]
-	азот	-	-	-	-	4,0	-	-	-	-	-	[48]
-	аргон	-	-	-	-	1,4	-	-	-	-	-	[48]
-	воздух	-	-	-	-	3,0-5,0	6,5	-	-	300-500	-	[46]
-	аргон	-	-	-	-	1,4-2,0	6,0-7,0	-	-	12-13	-	[39]
920	воздух	37	1,17	-	-	3,8	-	-	-	500	710 ¹¹	[11]
1020	воздух	37	0,25	-	-	4,2	-	-	-	400	610 ¹²	[11]
800	СО ₂	37	0,14	-	-	-	-	-	-	-	310 ¹¹	[11]
670	СО	37	0,10	-	-	-	-	-	-	-	1,510 ¹²	[11]
750	О ₂	37	0,15	-	-	0,82	-	-	-	-	1,310 ¹²	[11]
200-800	воздух	40	-	-	-	3,5-3,9	-	-	-	-	-	[40]
-	воздух	40	-	5,22	-	-	-	0,8-1,6	-	-	-	[41]
150-1000	воздух	-	0,06-0,18	3,1-2,8	-	-	-	-	-	-	-	[41]
16000	воздух	0,75	1,2	-	-	-	-	-	-	-	-	[42]

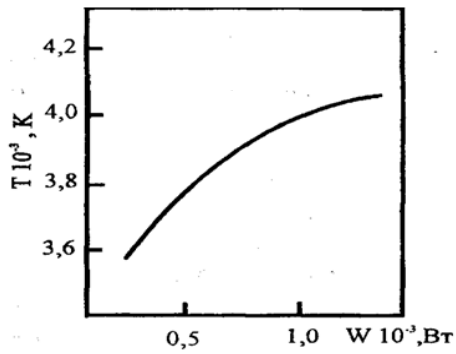


Рис. 1.4. Зависимость температуры в канале ВЧФР от мощности W [63, 64]

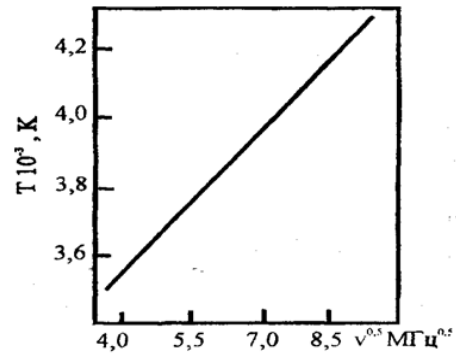


Рис. 1.5. Зависимость температуры в канале ВЧФР от частоты поля ν [18, 52]

В свою очередь, исследования по пространственному распределению температур (рис. 1.6, 1.7) указывают на существенное падение температур в радиальном направлении и на относительно слабое падение осевой температуры dT/dr dT/dz . Заметим, что температура ВЧФР в молекулярных газах составляет $(35)10^3$ К. Это различие связано с большей эффективностью передачи энергий от электронов к тяжелым частицам в молекулярных газах по сравнению с атомарными. В случае даже незначительных добавок молекулярного газа [3] температура ВЧФР горящего в атомарном газе значительно повышается. В работе [63] измерялась также температура диффузионной оболочки ВЧФР. Для ВЧФР горящего в атмосферном воздухе температура диффузионной оболочки составляет 2200-2500К.

Сравнение результатов измерений газовой температуры с температурой электронов показывает, что при частоте поля в десятки мегагерц различие между ними порядка $(T_e/T \ 1,5 \ 2,5)$. Однако, в случае, когда частота запитывающего разряд поля лежит в СВЧ диапазоне разница между электронной температурой и газовой становится более существенной $(T_e/T \ 5 \ 25)$. В работе [16] также показано, что распределение электронов по скоростям в канале ВЧФР имеет вид, отличающийся от максвелловского.

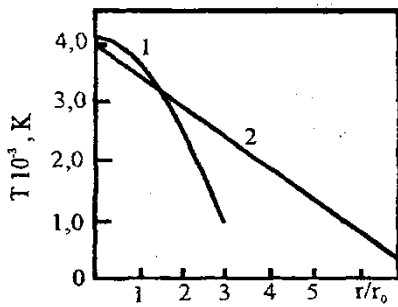


Рис. 1.6. Радиальное распределение ВЧФР температуры [61,56]

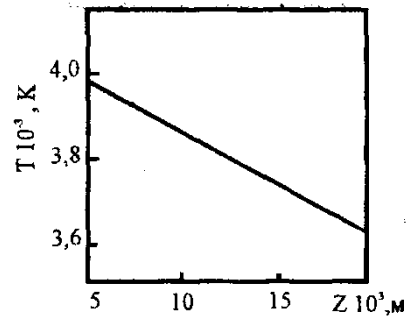


Рис. 1. 7. Распределение температуры вдоль оси свободного ВЧФР [61]

Характеристики разрядной плазмы ВЧФР в сильной степени зависят от частоты электромагнитного поля, мощности подводимой к разряду и величины расхода плазмообразующего газа. В работе [33] показано, что с уменьшением частоты (при заданной мощности) увеличивается длина канала разряда и уменьшается температура плазмы.

Изменение длины канала разряда в зависимости от частоты электромагнитного поля приведены на рис. 1.1.3.

По данным работы [17] вышеуказанная зависимость имеет логарифмический характер. Авторы работы [11] в свою очередь предлагают использовать зависимость вида $L \sim \omega^{1/2}$,

где L - длина канала разряда, ω - частоты электромагнитного поля.

Представляет собой интерес также процесс передачи энергии от электромагнитного поля к плазме ВЧФР. Так, авторы работы [3] высказывают предположение о влиянии на механизм передачи электромагнитной энергии процессов диссоциативной рекомбинации. В ВЧФР горящем в воздухе или азоте при атмосферном давлении вблизи электрода присутствуют ионы N_2 , имеющие потенциал возбуждения 18 эВ. Данные молекулярные ионы диффундируют от электрода в разрядную плазму, где посредством столкновений с электронами они диссоциативно

рекомбинируют в атомы азота. Так как энергия диссоциации молекулярного азота составляет 9,7 эВ, образующиеся атомы получают кинетическую энергию 8,3 эВ, которая вследствие столкновений быстро диссоциирует преимущественно в виде хаотического теплового движения частиц плазмы. Данный механизм передачи электромагнитной энергии подтверждается измерениями температуры разряда [16], горящего в молекулярных газах с различными энергиями диссоциации.

При описании ВЧФР большое значение имеет определение таких величин как емкостное сопротивление, адмитанс, активное сопротивление плазмоида ВЧФР. В работе [8] показано, что теоретический расчет вышеуказанных величин, основывающийся лишь на геометрических характеристиках плазмоида разряда без учета происходящих в нем физических процессов приводит к серьезным ошибкам. Вследствие этого большинство работ по определению электрических параметров разряда носит экспериментальный характер.

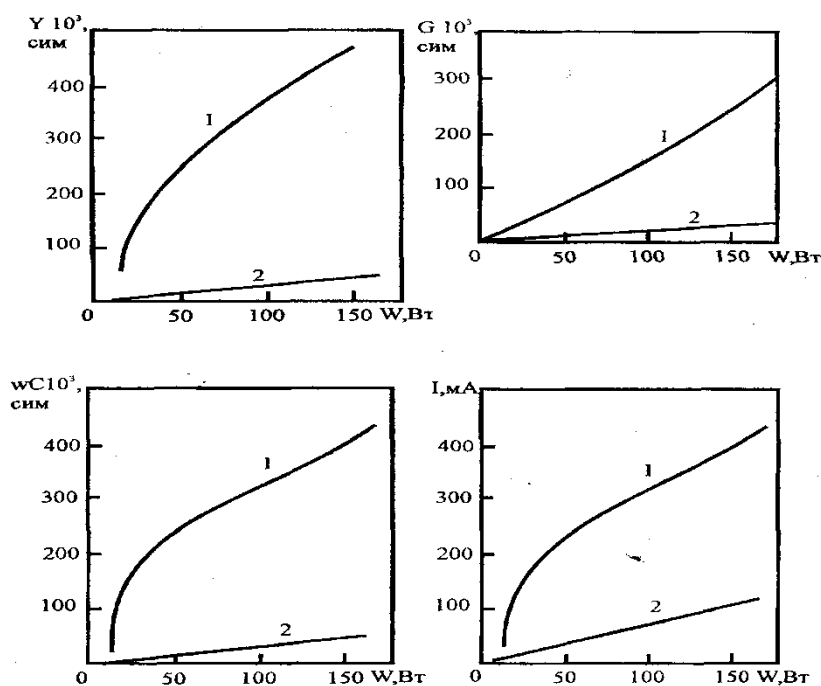


Рис. 1.8. Зависимость емкостного сопротивления ωC , проводимости G , адмитанса Y и тока I от мощности W разряда

1 - воздух; 2 - аргон

На рис.1.8 приведены зависимости, полученные авторами работ [12] для емкостного сопротивления, проводимости и адмитанса плазмоида ВЧФР, горящего при атмосферном давлении в воздухе и аргоне в зависимости от величины высокочастотной мощности, подводимой к разряду. Как видно на рис. 1.8 электрические характеристики плазмоида ВЧФР сильно зависят от рода плазмообразующего газа и геометрических размеров разряда, которые в свою очередь зависят от величины высокочастотной мощности.

Учет процессов, происходящих в плазме ВЧФР и их влияние на результаты расчетов электрических параметров плазмоида разряда, рассмотрены в работах [12]. Из результатов работ [10, 16] также следует, что вольтамперная характеристика ВЧФР (рис. 1.8, таблица 1.1) имеет возрастающий характер.

1.3 Диагностика плазмы и её специфика

С точки зрения практического использования факельного разряда интерес вызывает измерение его газовой температуры. Во многих плазмохимических реакциях газовая температура является определяющим фактором. Поэтому измерению газовой температуры факельного разряда посвящено достаточно большое количество работ. Для согласования разряда с высокочастотным генератором необходимо знать его электрические характеристики, а также научиться измерять его мощность. Большой интерес также представляет вопрос о наличии полного или частичного термодинамического равновесия в плазме разряда.

Все эти вопросы рассматривались различными авторами с момента открытия факельного разряда по настоящее время. Значительное число исследований посвящено изучению характеристик факельного разряда, горящего в воздухе. Изучение свойств разряда, горящего в других средах, рассмотрено в меньшем количестве работ.

Спектры факельного разряда в воздухе и азоте весьма схожи и состоят из полос гидроксила, β, γ – систем NO и второй положительной системы

азота. В приэлектродной области кроме этих полос наблюдаются также полосы первой отрицательной системы N_2^+

При горении разряда в воздухе возможно измерение его газовой температуры по относительной интенсивности линий вращательных спектров азота и гидроксила. Измерение температуры газа по полосам стабильных в канале разряда молекул азота крайне затруднено вследствие наложения на них значительно более интенсивного спектра гидроксила, перекрывающего диапазон длин волн от 280 до 370 нм. Определение же газовой температуры по молекулярному спектру гидроксила требует установления равновесности распределения интенсивностей во вращательной структуре полос. В работе показано, что в канале факельного разряда, горящего в воздухе, при давлениях выше 13 кПа вращательная температура молекул гидроксила совпадает с температурой нейтрального газа. В связи с этим измерение газовой температуры в воздушной плазме факельного разряда, горящего при атмосферном давлении, обычно проводят по молекулярному спектру гидроксила. Результаты измерений газовой температуры факельного разряда, горящего при атмосферном давлении, в воздухе, а также в некоторых других средах, приведены в таблице 1.2. Из таблицы 1.2 следует, что температура разряда, горящего в одноатомных газах значительно ниже температуры разряда, горящего в молекулярных газах. Это различие связано с большей эффективностью передачи энергии от электронов к тяжёлым частицам в молекулярных газах по сравнению с атомарными.

Таблица 1.2

№	Плазмообразующий газ	Частота, МГц	Температура, °К	Литература
1	Воздух	10	3000	[46]
2	Воздух	22,9	2900	[47]
3	Воздух	32,3	3610	[45]
4	Воздух	62,5	3850	[9]
5	Воздух	84,5	4100	[9]
6	Воздух	915	3800	[15]
7	Воздух	2400	5300...5600	[10]
8	Азот	2400	4000	[10]
9	Аргон	2400	1400...2000	[10]

10	Аргон	34	2000	[49]
11	Воздух	81,6	3380	[50]
12	Гелий	26,4	880	[29]

2 ИЗМЕРЕНИЕ ГАЗОВОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ РАЗРЯДНОЙ ПЛАЗМЫ В ВЫСОКОЧАСТОТНОМ ФАКЕЛЬНОМ РАЗРЯДЕ

2.1 Методика измерения газовой температуры

Измерение газовой температуры проводилось по относительной интенсивности вращательных переходов молекулярной полосы гидроксила 3064 Å. Использовались линии колебательной ветви Q₁. Выбирались линии свободные от наложения других линий – Q₁₄, Q₁₆, Q₁₉, Q₁₁₀. Излучение от исследуемого объёма разряда посредством линзы проецировалось на щель спектрографа MSDD с более высокой разрешающей способностью. Спектр выводился непосредственно на экран компьютера. Ширина щели спектрографа составляла 0.3 мм. Время экспозиции спектра составляло 0,5...1,5 секунды. Для уменьшения собственных шумов ПЗС камеры проводилось её охлаждение до температуры -10°C. Перед каждым измерением осуществлялось измерение фона в том же спектральном диапазоне. Полученный фон вычитался из результатов измерений.

Установлено, что температура возбуждения, определяемая по распределению интенсивностей в молекулярной полосе, соответствует газовой температуре разряда [27].

В изотермической плазме при больцмановском распределении молекул по возбужденным уровням интенсивность вращательной линии в испускании определяется выражением:

$$I_n = aie^{-E_n/kT},$$

где

$$E_n = hcBJ(J + 1); B = h8\pi^2cI_0,$$

Здесь a – постоянная величина, h , c , k , π – универсальные постоянные, I_0 – момент инерции молекулы; i – фактор интенсивности вращательной линии, пропорциональный относительной вероятности перехода и статистическому весу

начального состояния молекулы, J — вращательное квантовое число возбужденного состояния.

После преобразования получаем:

$$0,093 \lg \frac{I_n}{i} = 0,093 \lg a - J(J + 1) \frac{1}{T}$$

Если рассчитать интенсивности для вращательных термов молекул ОН в возбужденном состоянии $^2\Sigma$, то получим

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

Формулы почти совпадают. Для практических расчетов они могут быть объединены в более удобное выражение вида

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

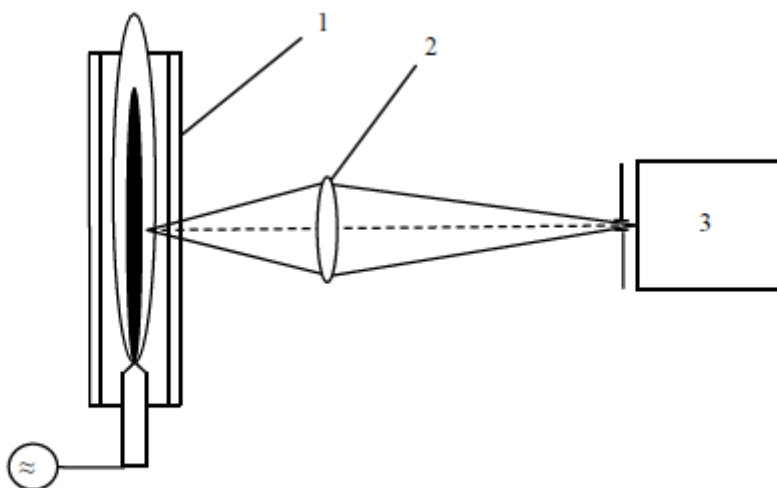
По виду зависимости $\lg \frac{I_n}{i} = f[K(K + 1)]$ можно судить о наличии или отсутствии больцмановского распределения молекул по вращательным уровням. При больцмановском распределении, т. е. термодинамическом равновесии эта зависимость должна представлять собой прямую линию с тангенсом угла наклона, равным $1/T$.

Экспериментально было установлено, что при большом числе линий на узком участке спектра в полосе λ 3064 Å наиболее удобна для работы ветвь Q_1 . В табл. 2.1 приведены квантовые числа K , факторы интенсивности i и длины волн линий ветви Q_1 [26].

Таблица 2.1 Факторы интенсивностей линий ветви Q_1 полосы ОН λ 3064 Å

K	J	K(K+1)	λ	i	lgi
4	9/2	20	3083,262	2,100	0,324
6	13/2	42	3087,326	3,16	0,5
9	19/2	90	3095,329	4,73	0,673
10	21/2	110	3098,575	5,16	0,712

2.2 Схема экспериментальной установки



1 – ВЧ факельный разряд; 2 – линза; 3 – спектрограф Shamrock 303i

Рисунок 2.1 - Схема экспериментальной установки

Исследовался факельный разряд высокочастотного плазмохимического реактора мощностью около 1 кВт. Разряд возбуждался в кварцевой трубке длиной 50 см и диаметром 28 мм на частоте 37 МГц. Расход аргона варьировался от 0,4 до 0,6 м³/час. Измерения газовой температуры проводились вдоль оси зоны каналирования разряда. Излучение от исследуемого объёма разряда посредством линзы проецировалось на щель спектрографа Shamrock 303i.

Спектр выводился непосредственно на экран компьютера. Ширина щели спектрографа составляла 0.3 мм. Время экспозиции спектра составляло 0,5...1,5 секунды. Для уменьшения собственных шумов ПЗС камеры проводилось её охлаждение до температуры -50°C. Перед каждым измерением осуществлялось измерение фона в том же спектральном диапазоне. Полученный фон вычитался из результатов измерений. Величина фона составляла 3..5% от величины полезного сигнала.

В результате проведенных экспериментов были получены молекулярные спектры полос гидроксила 3064 Å при различной мощности. Для регистрации спектра гидроксила в плазму было добавлено 2-3 % воздуха.

Ниже приведены типичные спектры аргоновой плазмы при мощности разряда 0,7 кВт. На основе данных спектров рассчитана газовая температура и построен график распределения температуры.

На рисунке 2.2 показан спектр полос гидроксила на расстоянии 5 см от электрода

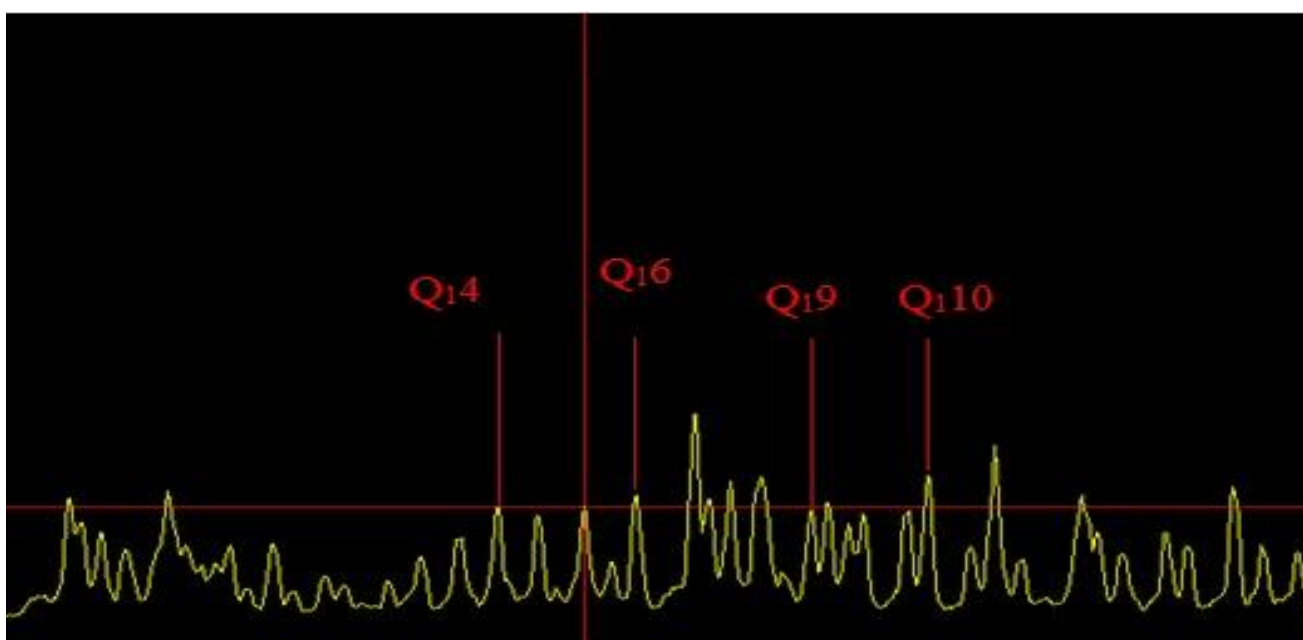


Рисунок 2.2 - Спектр полос гидроксила

Таблица 2.1 Факторы интенсивностей на расстоянии 5 см от электрода

линии	$K(K+1)$	$0,11g(I/i)$
Q1(4)	20	0,226
Q1(6)	42	0,213
Q1(9)	90	0,194
Q1(10)	110	0,175

Далее с помощью значений таблицы 2.1 строим кривую, на основе которой, с помощью тангенса угла наклона, определяем температуру.

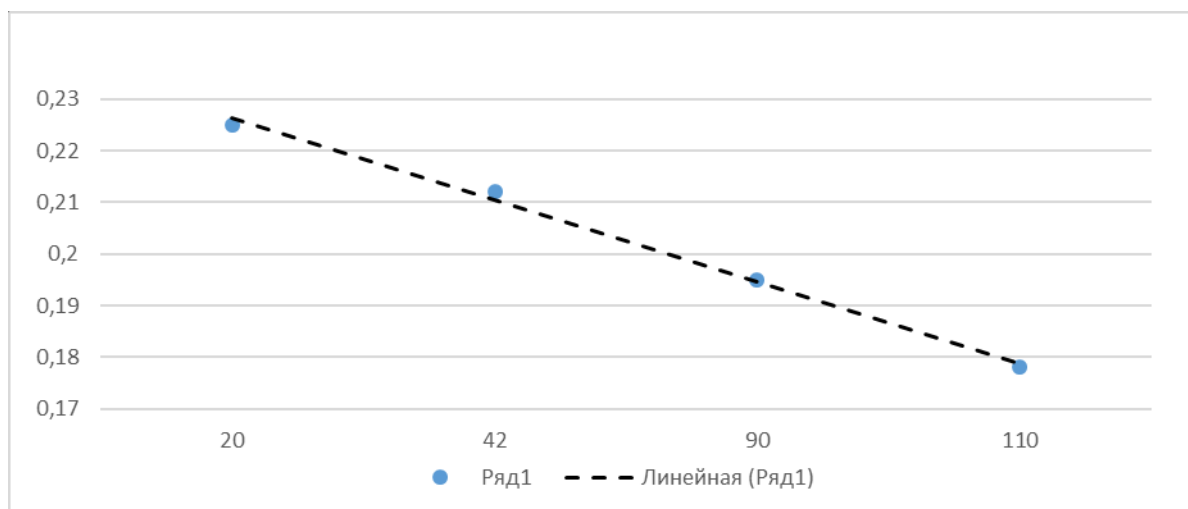


Рисунок 2.3 - Распределение факторов интенсивности

$$T = \frac{1}{0,051:90} = 1749 K$$

Таким же способом будет определена газовая температура во всех случаях.

На рисунке 2.4 показан спектр на расстоянии 15 см от электрода

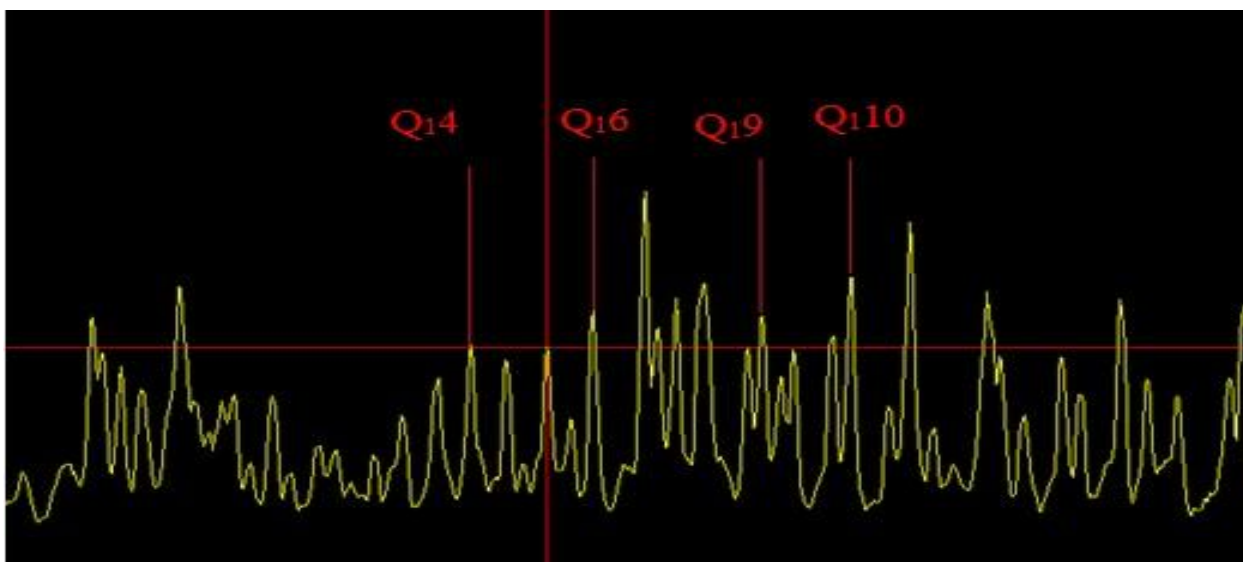


Рисунок 2.4 - Спектр полос гидроксил

Таблица 2.2 Факторы интенсивностей на расстоянии 15 см от электрода

линии	$K(K+1)$	$0,1\lg(I/i)$
Q1(4)	20	0,224
Q1(6)	42	0,212
Q1(9)	90	0,195
Q1(10)	110	0,178

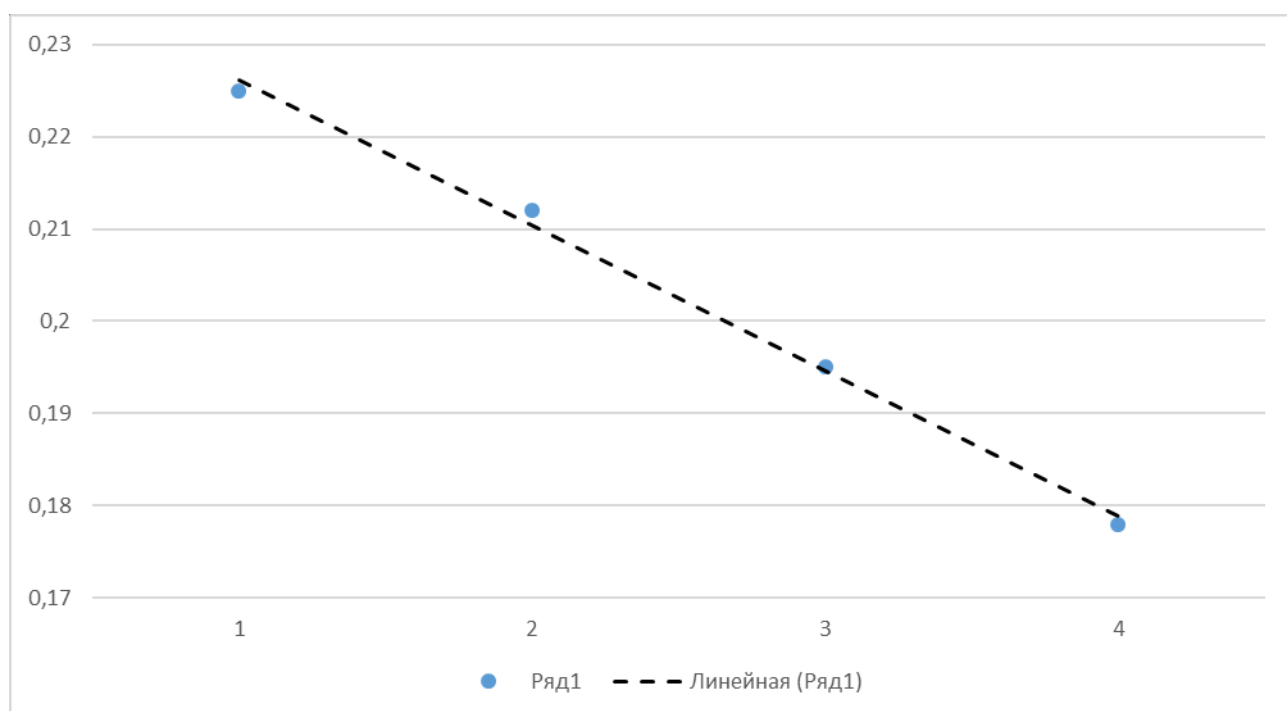


Рисунок 2.4 - Распределение факторов интенсивности

$$T = 1931 K$$

На рисунке 2.5 показан спектр на расстоянии 50 см от электрода.

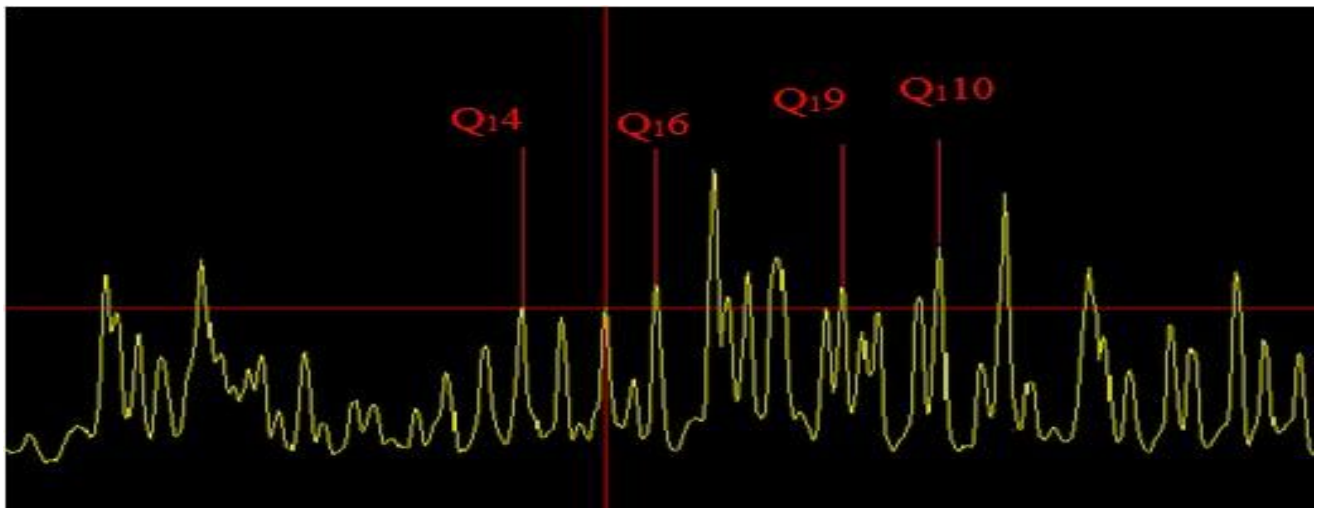


Рисунок 2.5 - Спектр полос гидроксила

Таблица 2.3 Факторы интенсивностей на расстоянии 50 см от электрода

линии	$K(K+1)$	$0,1\lg(I/i)$
Q1(4)	20	0,224
Q1(6)	42	0,211
Q1(9)	90	0,193
Q1(10)	110	0,170

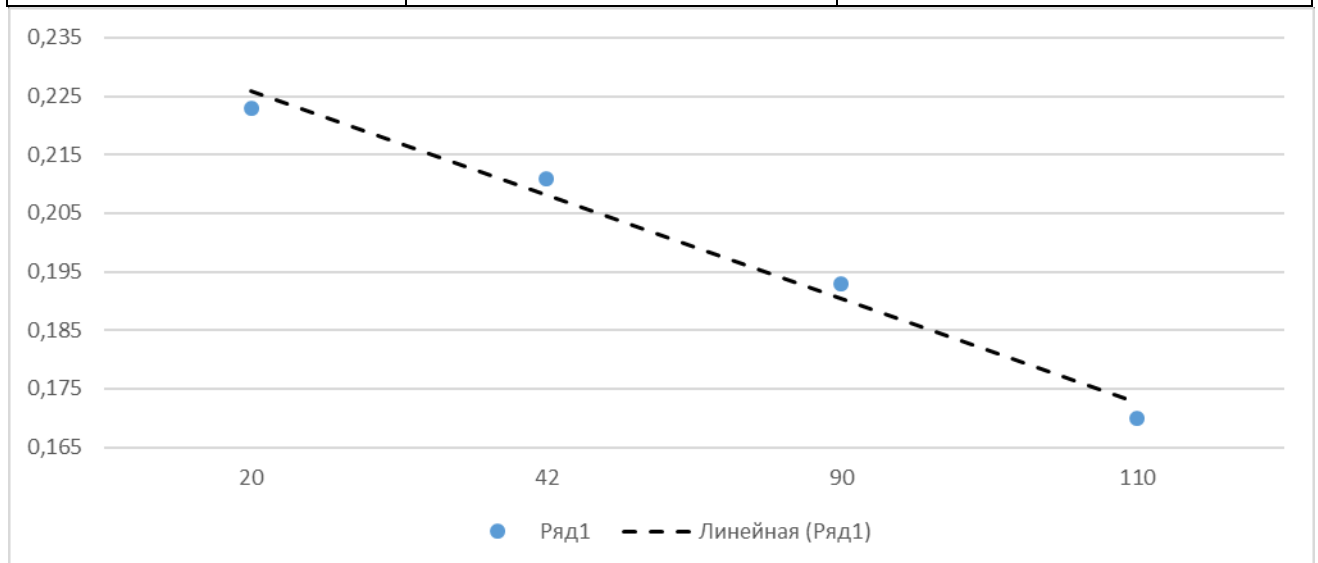


Рисунок 2.6 - Распределение факторов интенсивности

$$T = 1690 \text{ K}$$

В таблице 2.4 распределения электронной температуры вдоль всей оси разряда при мощности разряда 0,7 кВт.

Таблица 2.4 Значения газовой температуры

Q 0,7 кВт	$z=Z/L$	Z, см
1749	0,1	5
1872	0,2	10
1990	0,3	15
1931	0,4	20
1861	0,5	25
1799	0,6	30
1755	0,7	35
1722	0,8	40
1701	0,9	45
1690	1	50

График распределения газовой температуры представлен на рисунке 2.7.

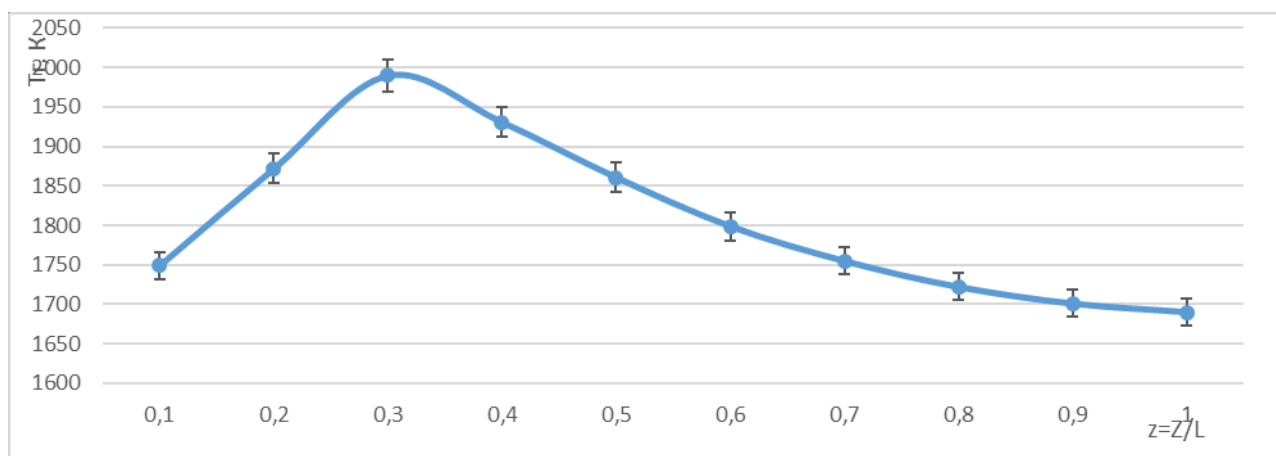


Рисунок 2.7 - Распределения газовой температуры при мощности 0,7 кВт

Далее приведены характерные спектры при мощности разряда 1,0 кВт, определена газовая температура и построен график распределения температуры.

На рисунке 2.8 показан спектр на расстоянии 5 см от электрода

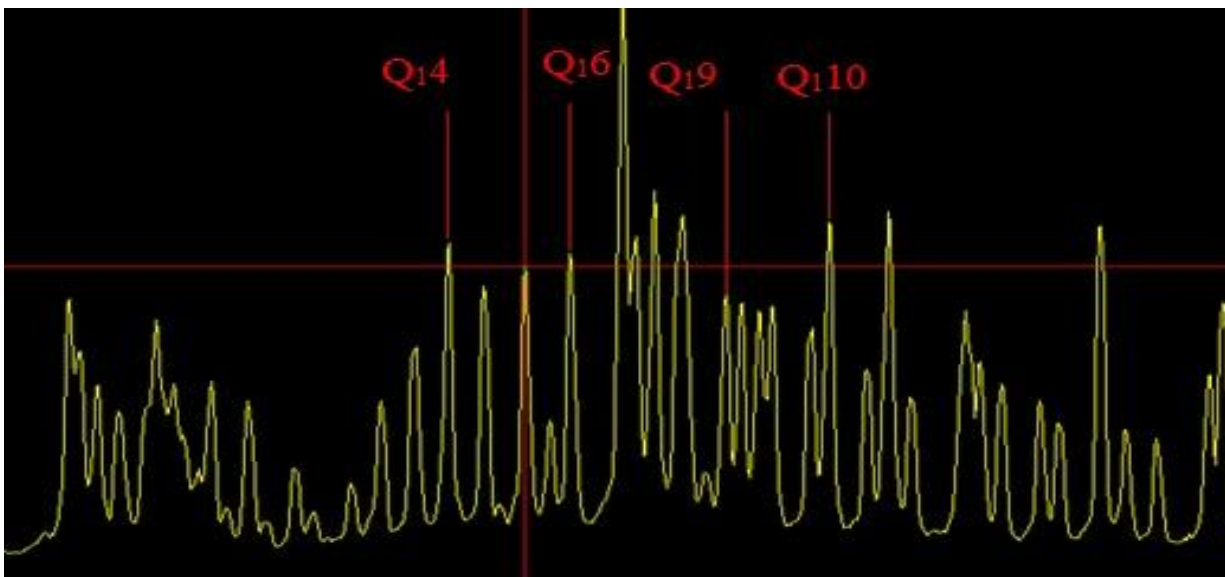


Рисунок 2.8 - Спектр полос гидроксила на расстоянии 5 см от электрода

Таблица 2.5 Факторы интенсивностей полос гидроксила

линии	$K(K+1)$	$0,11\lg(I/i)$
Q1(4)	20	0,2517
Q1(6)	42	0,2315
Q1(9)	90	0,2133
Q1(10)	110	0,1989

Далее с помощью рисунка 2.1 определяем тангенс угла наклона и высчитываем температуру.

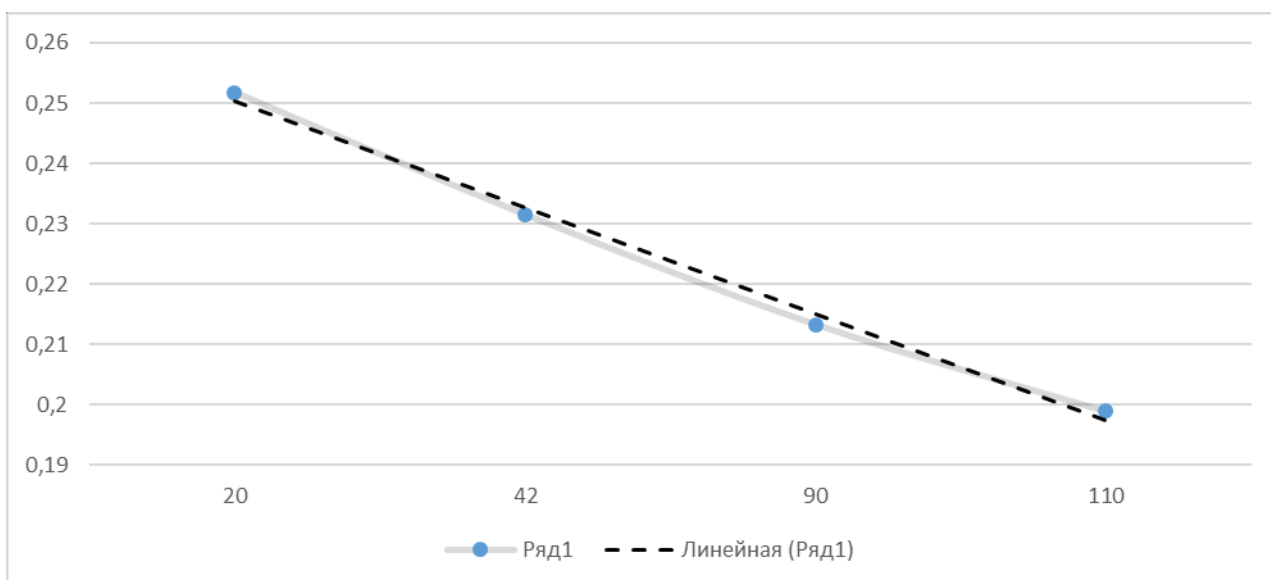


Рисунок 2.9 - Распределение факторов интенсивности

$$T = 1704 K$$

На рисунке 2.10 показан спектр на расстоянии 20 см от электрода

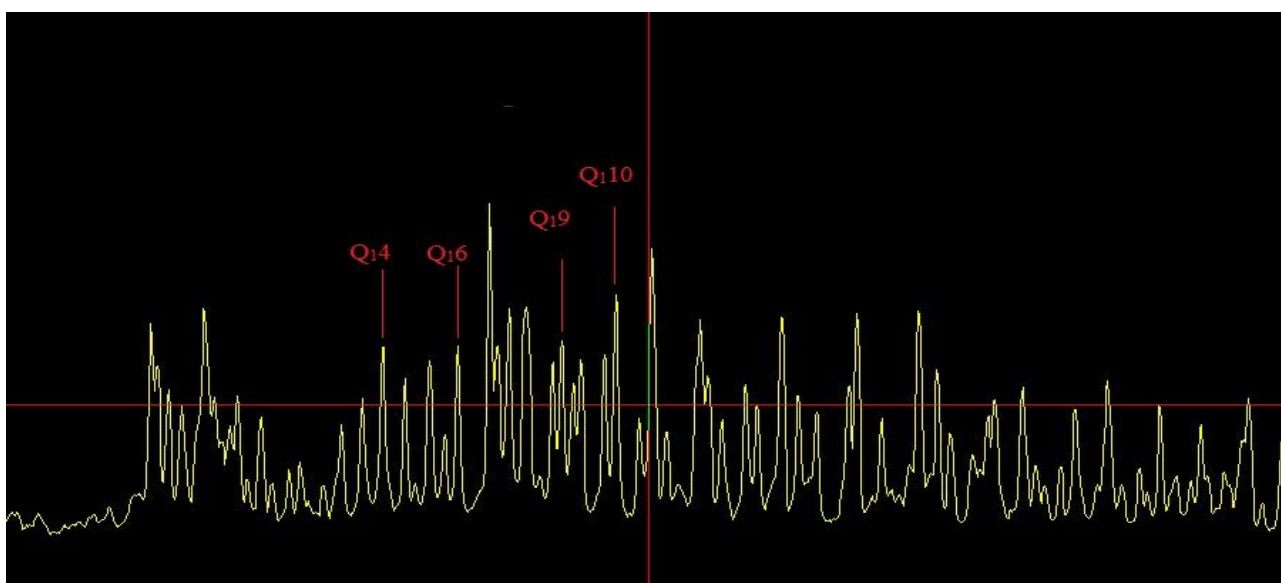


Рисунок 2.10 - Спектр полос гидроксила

Таблица 2.6 Факторы интенсивностей полос гидроксила

линии	$K(K+1)$	$0,1\lg(I/i)$
Q1(4)	20	0,249

Q1(6)	42	0,232
Q1(9)	90	0,219
Q1(10)	110	0,2033

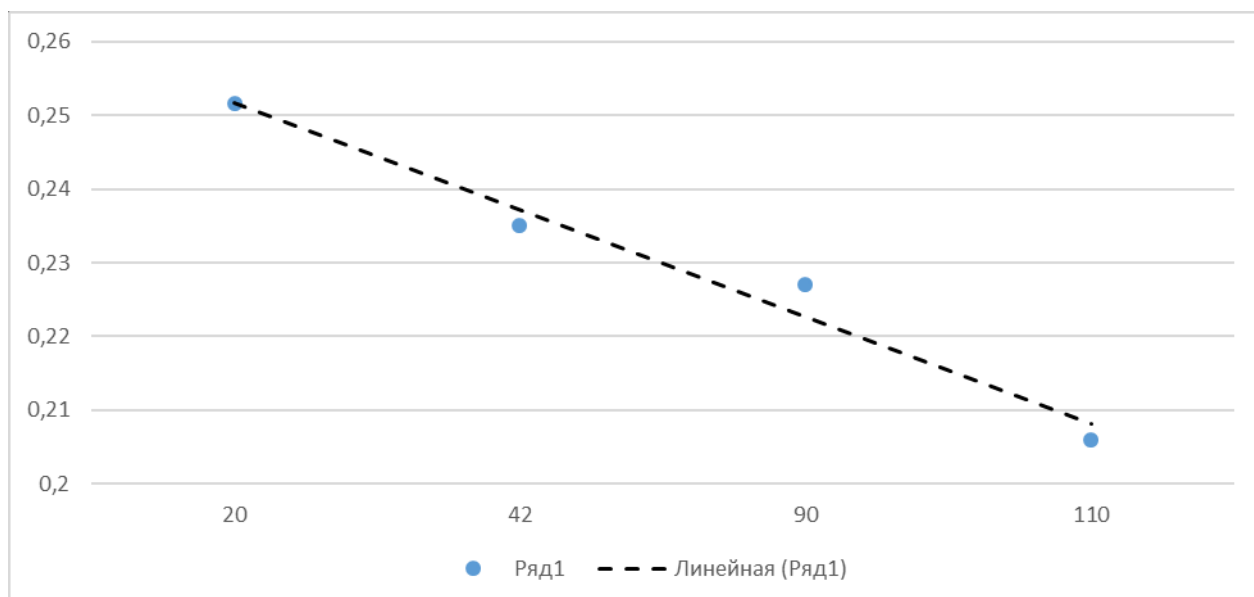


Рисунок 2.11 - Распределение факторов интенсивности

$$T = 1971 K$$

На рисунке 2.12 показан спектр на расстоянии 50 см от электрода

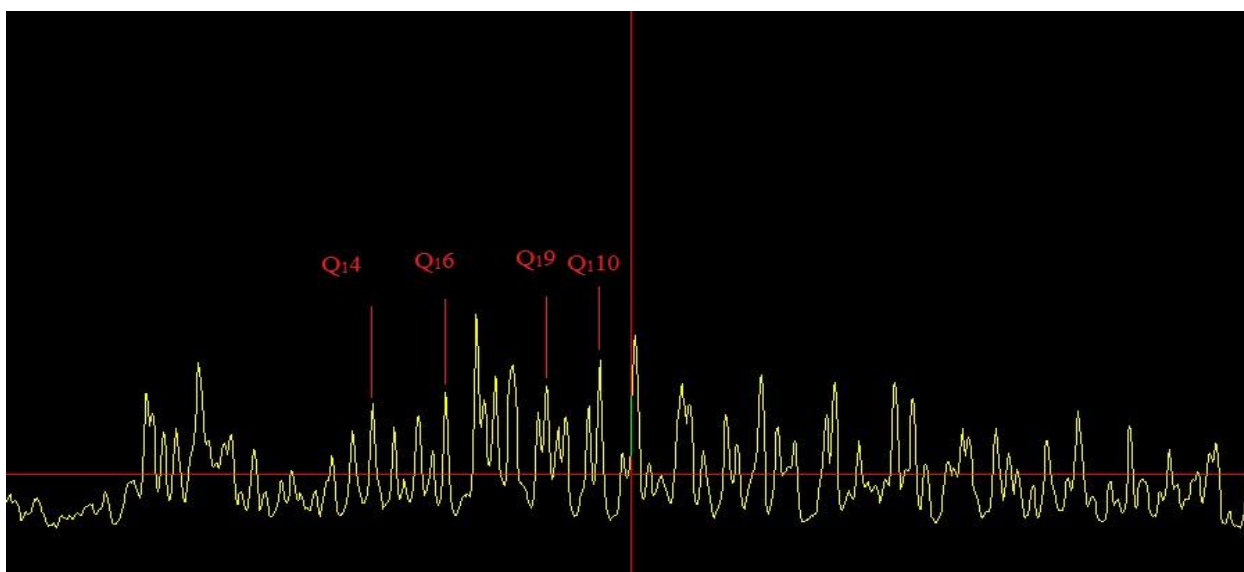


Рисунок 2.12 - Спектр полос гидроксила

Таблица 2.7 Факторы интенсивностей полос гидроксила

линии	$K(K+1)$	$0,11g(I/i)$
Q1(4)	20	0,242
Q1(6)	42	0,227
Q1(9)	90	0,201
Q1(10)	110	0,189

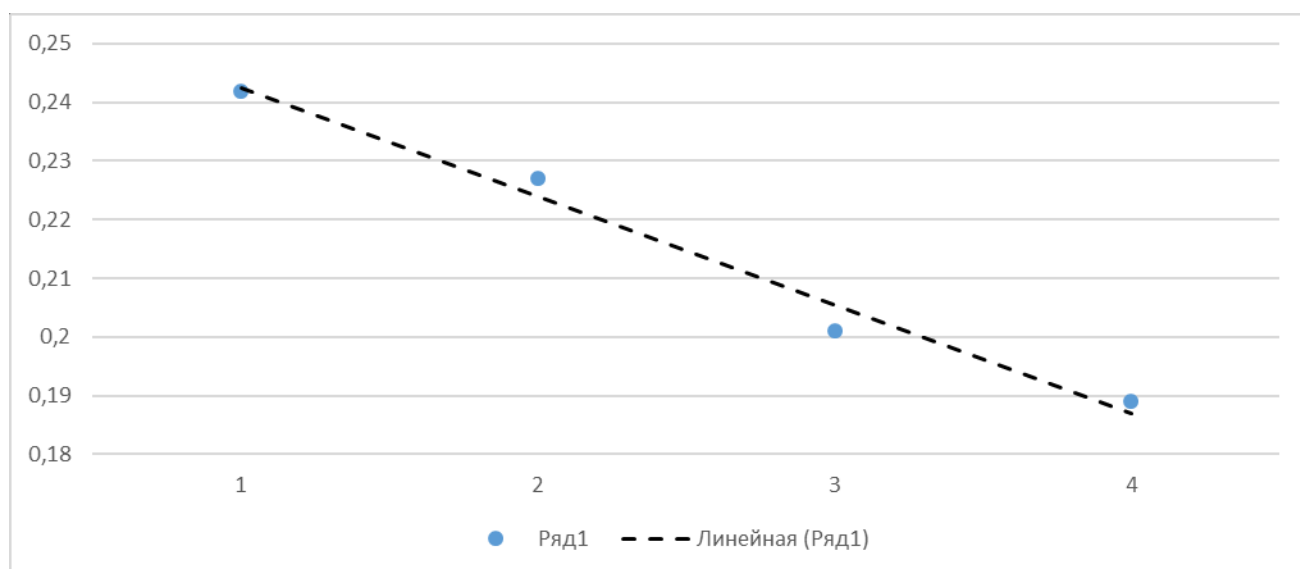


Рисунок 2.13 - Распределение факторов интенсивности

$$T = 1711 K$$

В таблице 2.8 приведены значения газовой температуры вдоль всей оси разряда при мощности разряда 1,0 кВт

Таблица 2.8 Значения газовой температуры

Q 1,0 кВт	$z=Z/L$	Z
1704	0,1	5
1808	0,2	10

1923	0,3	15
1971	0,4	20
1891	0,5	25
1829	0,6	30
1779	0,7	35
1745	0,8	40
1725	0,9	45
1711	1	50

График распределения газовой температуры при мощности разряда 1,0 кВт представлен на рисунке 2.14.

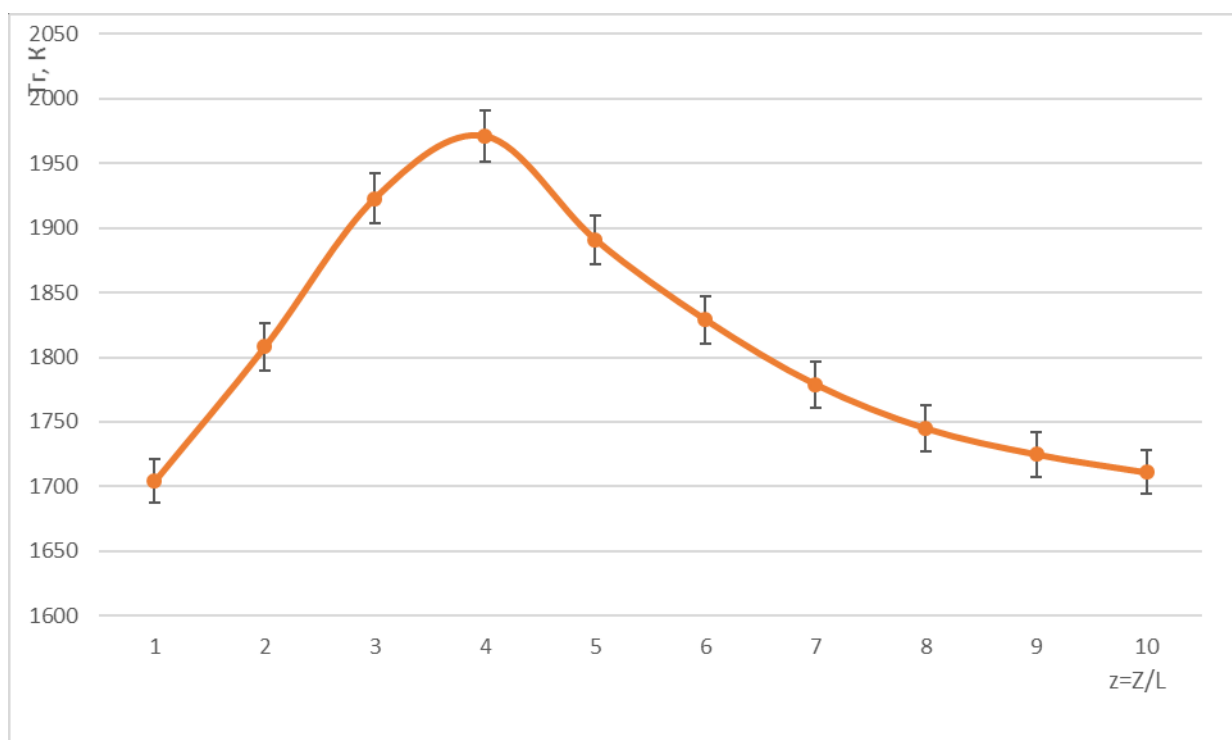


Рисунок 2.14 - Распределение газовой температуры

Далее приведены характерные спектры при мощности разряда 1,5 кВт, определена газовая температура и построен график распределения температуры.

На рисунке 2.15 показан спектр на расстоянии 5 см от электрода

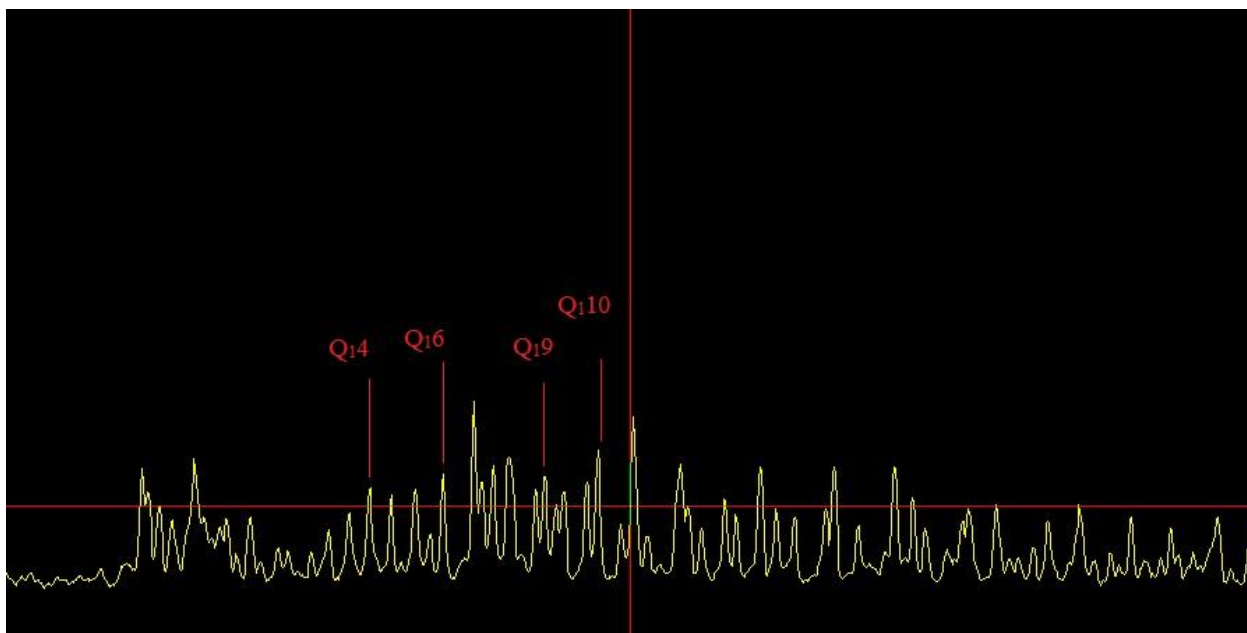


Рисунок 2.15 - Спектр полос гидроксила на расстоянии 5 см от электрода

В таблице 2.9 приведены значения по которым строится график

Таблица 2.9 Факторы интенсивностей полос гидроксила

линии	$K(K+1)$	$0,11\lg(I/i)$
Q1(4)	20	0,2531
Q1(6)	42	0,242
Q1(9)	90	0,2163
Q1(10)	110	0,199

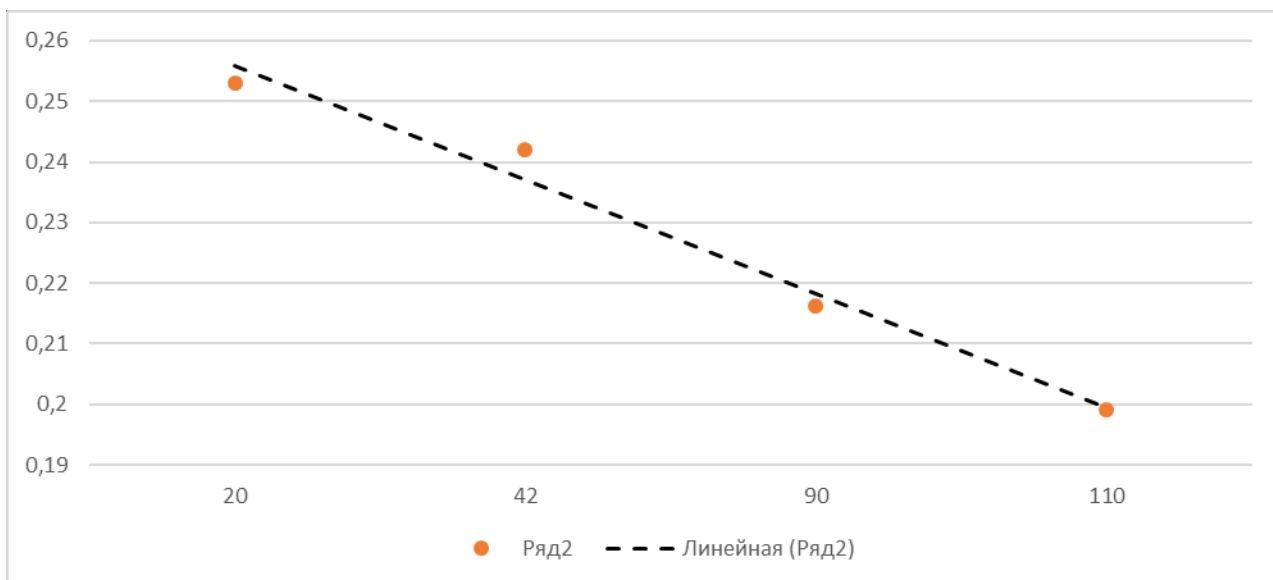


Рисунок 2.16 - Распределение факторов интенсивности

$$T = 1665 K$$

На основе рисунка 2.16 определяется тангенс угла наклона, с помощью которого вычисляется газовая температура на расстоянии 5 см от электрода.

На рисунке 2.17 показан спектр на расстоянии 25 см от электрода

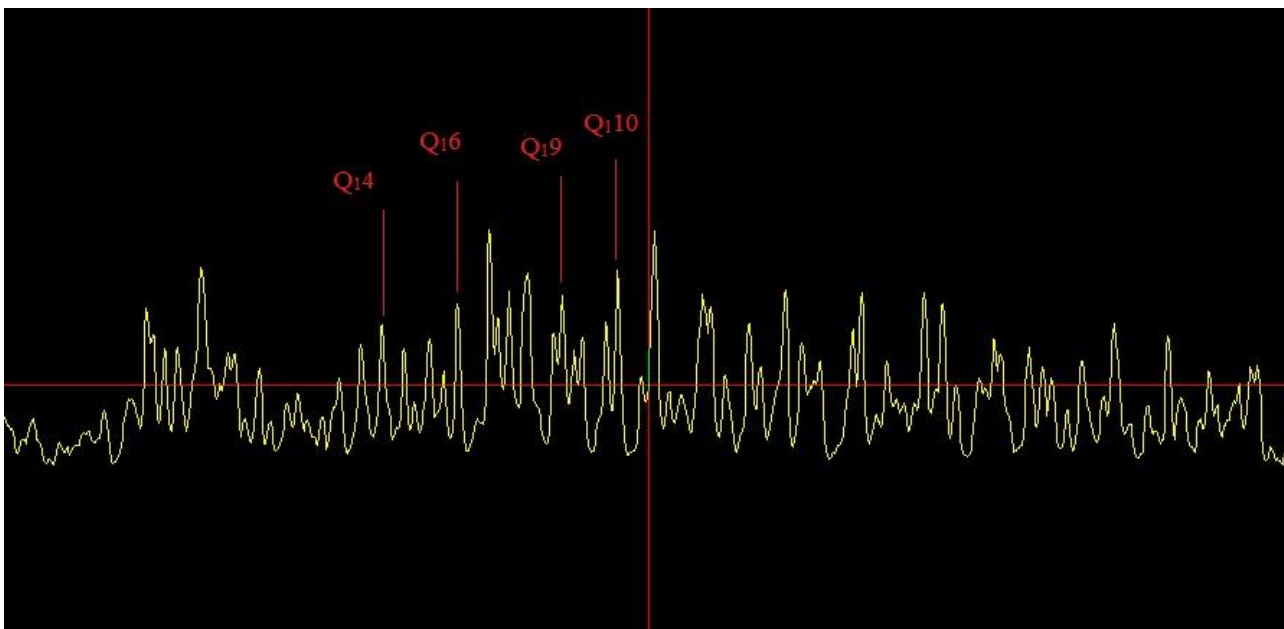


Рисунок 2.17 - Спектр полос гидроксила

Таблица 2.10 Факторы интенсивностей полос гидроксила

линии	$K(K+1)$	$0,11g(I/i)$
Q1(4)	20	0,2511
Q1(6)	42	0,238
Q1(9)	90	0,2153
Q1(10)	110	0,2047

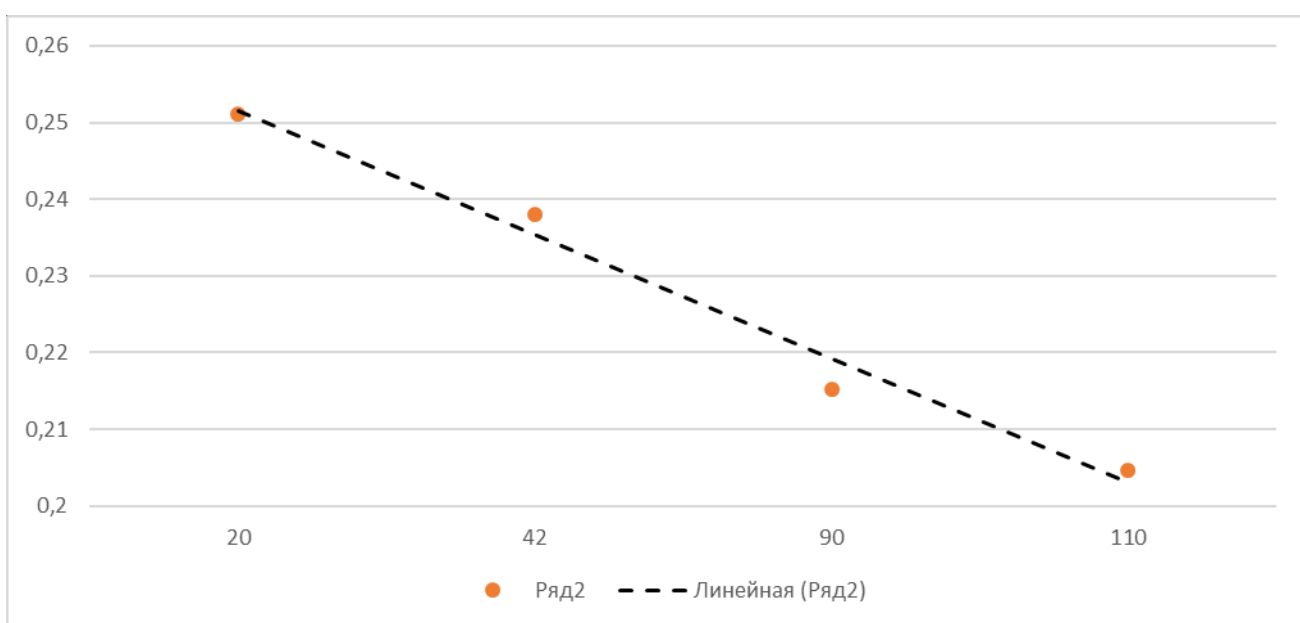


Рисунок 2.18 - Распределение факторов интенсивности

$$T = 1940 K$$

На рисунке 2.19 показан спектр на расстоянии 50 см от электрода

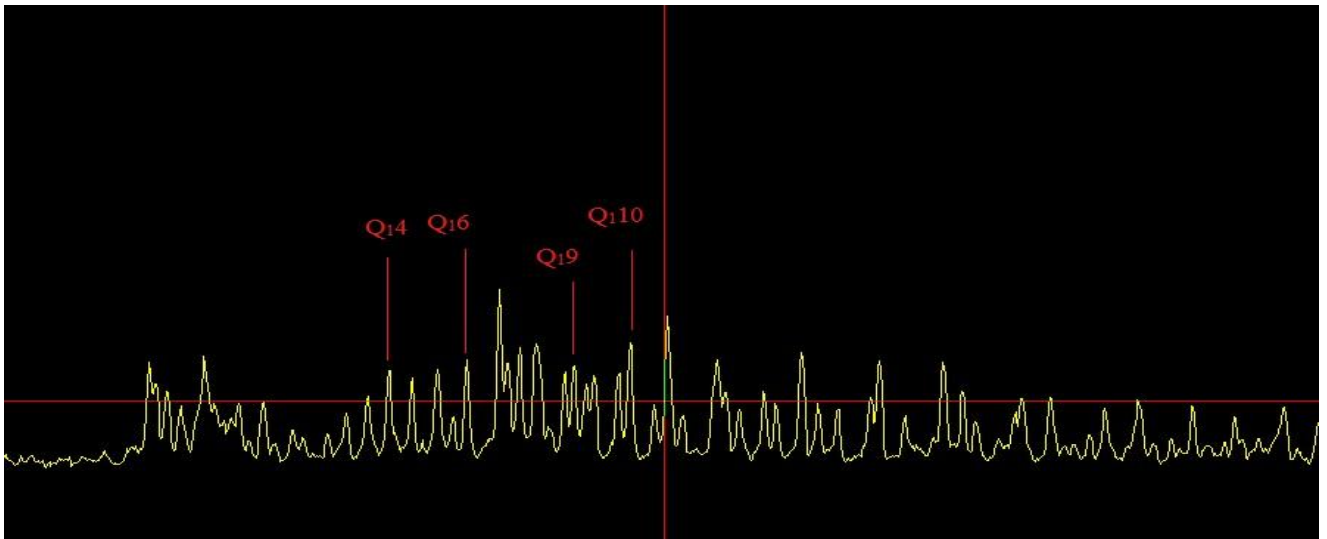


Рисунок 2.19 Спектр полос гидроксила

Таблица 2.11 Факторы интенсивностей полос гидроксила

линии	$K(K+1)$	$0,11g(I/i)$
Q1(4)	20	0,2491
Q1(6)	42	0,233
Q1(9)	90	0,2092
Q1(10)	110	0,1971

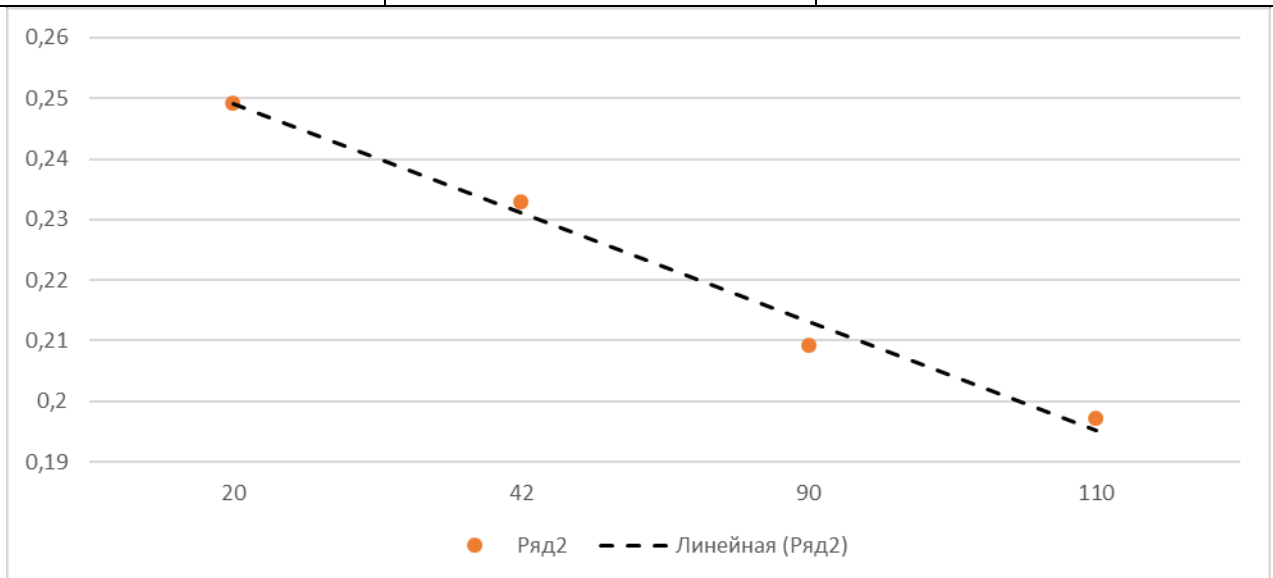


Рисунок 2.20 - Распределение факторов интенсивности

$$T = 1736 K$$

В таблице 2.12 приведены значения газовой температуры вдоль всей оси разряда при мощности разряда 1,5 кВт

Таблица 2.12 Значения газовой температуры

Q 1,5 кВт	$z=Z/L$	Z, см
1665	0,1	5
1756	0,2	10
1851	0,3	15
1924	0,4	20
1940	0,5	25
1867	0,6	30
1809	0,7	35
1777	0,8	40
1749	0,9	45
1736	1	50

На рисунке 2.21 показан график распределения газовой температуры при мощности 1,5 кВт.

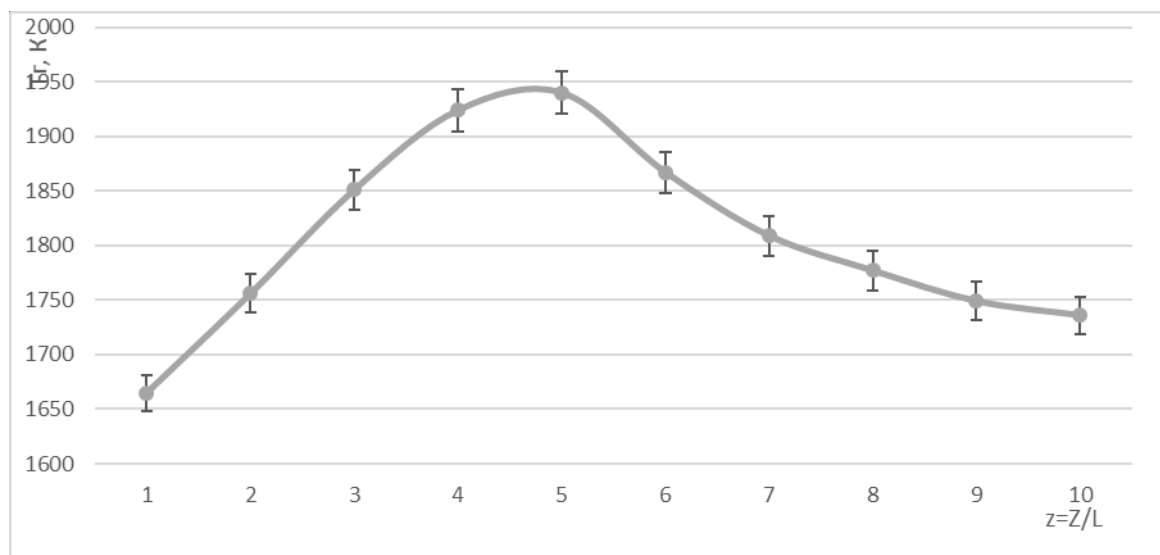


Рисунок 2.21 Распределение газовой температуры

В таблице приведены значения газовой температуры при различных расходах аргона по всей длине канала.

Таблица 2.13 Распределение газовой температуры

Распределение газовой температуры			
Мощность разряда			z=Z/L
1,5 кВт	1,0	0,7	
1665	1704	1749	0,1
1756	1808	1872	0,2
1851	1923	1990	0,3
1924	1971	1931	0,4
1940	1891	1861	0,5
1867	1829	1799	0,6
1809	1779	1755	0,7
1777	1745	1722	0,8
1749	1725	1701	0,9
1736	1711	1690	1

При изменении мощности от 0.7 кВт до 1,5 кВт газовая температура меняется на 5...10% на периферии (от 1600 до 1900 К). В этом случае удельная электропроводность (которая обратно пропорциональна газовой температуре)

меняется от 0.007 до 0.01 см*м, то есть меняется также незначительно, следовательно плотность тока в канале разряда практически не меняется с изменением мощности.

3 ТЕПЛОВЫЕ ПОТЕРИ В КОНСТРУКТИВНЫХ МАТЕРИАЛАХ ВЧФ ПЛАЗМОТРОНА

3.1 Теплообмен в плазмотроне

Теплообмен плазмы со стенками в плазмотронах характеризуется рядом особенностей, существенно осложняющих его анализ и затрудняющих расчет. Эти особенности определяются в основном:

а) диссоциацией и частичной ионизацией в газе;

б) наличием магнитного поля;

в) излучением, из-за которого нельзя использовать расчетные методы, основанные на автосамодельности профилей температуры и энтальпии, так как последние изменяются по длине из-за отличия от нуля $\text{div } q^{\wedge}$;

г) наличием развитой турбулентности в зоне горения разряда и за ним; к тому же дополнительное турбулизирующее действие оказывает шунтирование разряда;

д) нестабилизированностью течения; толщина пограничного слоя $\delta < D$, где D - диаметр канала, через который истекает плазма;

е) наличием тангенциальной составляющей скорости газа, приобретаемой в результате взаимодействия газа с разрядом и часто превышающей осевую составляющую скорости.

Однако в рамках простых моделей (для тонкой цилиндрической стенки и ламинарном движении газа) возможно оценить объем тепла, переданный от плазмы к стенкам и воде в кожухе. Соответственно коэффициент теплопередачи будет складываться из трёх составляющих: коэффициент теплоотдачи от горячего газа к стенке, температурного сопротивления кварцевой стенки и коэффициента теплоотдачи от стенки к воде. Определяющим будет коэффициент теплоотдачи от горячего газа к стенке.

3.2 Плазмотрон с охлаждаемыми стенками

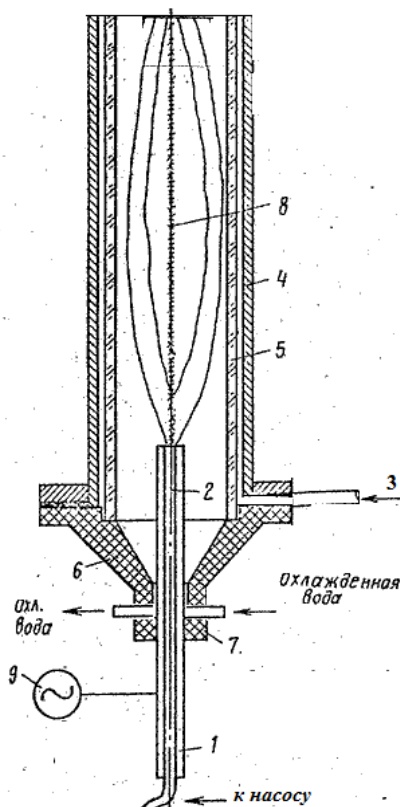


Рис.3.1 Экспериментальная установка:

1-высоковольтный электрод;2-отверстие для подачи газа;3-вода для кожуха;4,5- кварцевый кожух;6-корпус;7-подача воды на электрод;8-ВЧ факельный разряд;9- ВЧ генератор.

Высокочастотный факельный плазмотрон содержит коаксиально расположенный высоковольтный электрод 1 с центральным отверстием 2 для подачи плазмообразующего газа, вокруг которого находится кожух из кварцевого стекла 4-5, заполняемый водой на время горения разряда. Плазмотрон установлен на корпус с изоляцией 6. ВЧ факельный разряд 8 стабилизируется газовым потоком по оси камеры, возбуждается при подаче на электрод 1 напряжения от ВЧ лампового генератор 9 и фиксируется потоком газа. За счет циркуляции воды у электрода и в кожухе достигается отвод тепла. В качестве плазмообразующего газа в работе используется аргон и воздух.

3.3 Калориметрирование

Для различных длин канала была измерена температура отводимой воды, как от электрода, так и на кожухе. Методика позволяет избежать фактора неоднородности нагрева стенок, в виду определения суммарного измерения отводимой мощности на кожухе. Объем (масса) воды измерялся на электронных весах в мг.

Количество тепла определяется по формуле:

$$P = cm\Delta t/T$$

где P – отводимая мощность;

c – теплоемкость;

Δt – изменение температуры воды;

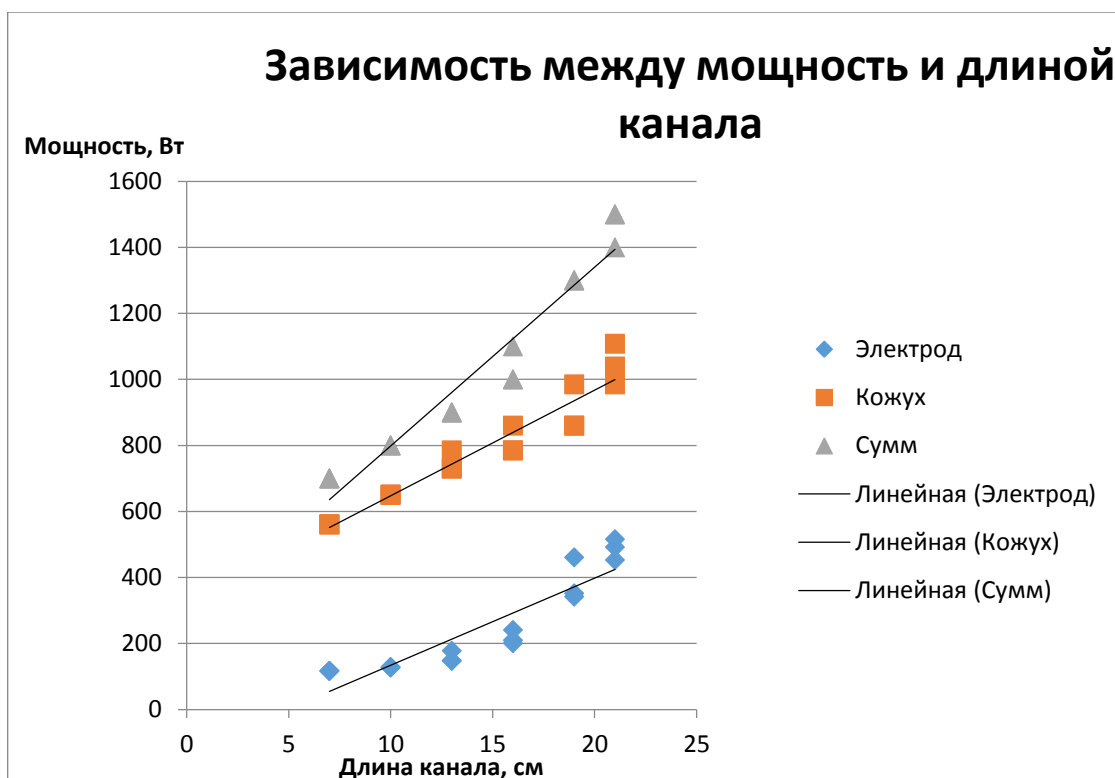
T – время нагрева;

Собранные данные сведены в таблицу 2.2:

Длина канала, см	Электрод				Кожух				Итого потери, Р, кВт
	Объем воды, мл	Время нагрева	T, °C	Рпотерь, Вт	Объем воды, мл	Время нагрева	T, °C	Рпотерь, Вт	
21	170	25	32	516	374	30	38	1108	1,5
21	165	22	29	453	385	33	36	985	1,4
21	169	23	31	492	376	31	37	1039	1,5
19	160	23	30	461	369	35	36	985	1,3
19	154	22	29	352	381	30	35	860	1,3
19	164	20	29	342	368	29	35	860	1,3
16	153	25	27	210	374	26	34	785	1,0
16	169	22	28	241	376	28	35	860	1,1
16	167	21	27	201	370	31	34	785	1,0
13	165	22	27	178	365	34	34	785	0,9
13	163	20	26	148	388	31	33	730	0,9
13	155	19	26	148	367	29	33	730	0,9
10	149	20	25	129	369	30	32	651	0,8
10	155	18	24	127	367	27	31	650	0,8
10	139	24	25	128	372	26	32	651	0,8
7	145	21	23	117	364	26	30	561	0,7
7	139	20	22	117	371	32	29	561	0,7
7	152	19	21	117	375	28	27	561	0,7

В результате проведённых измерений была установлена линейная зависимость между длиной канала разряда и тепловыми потерями на электроде

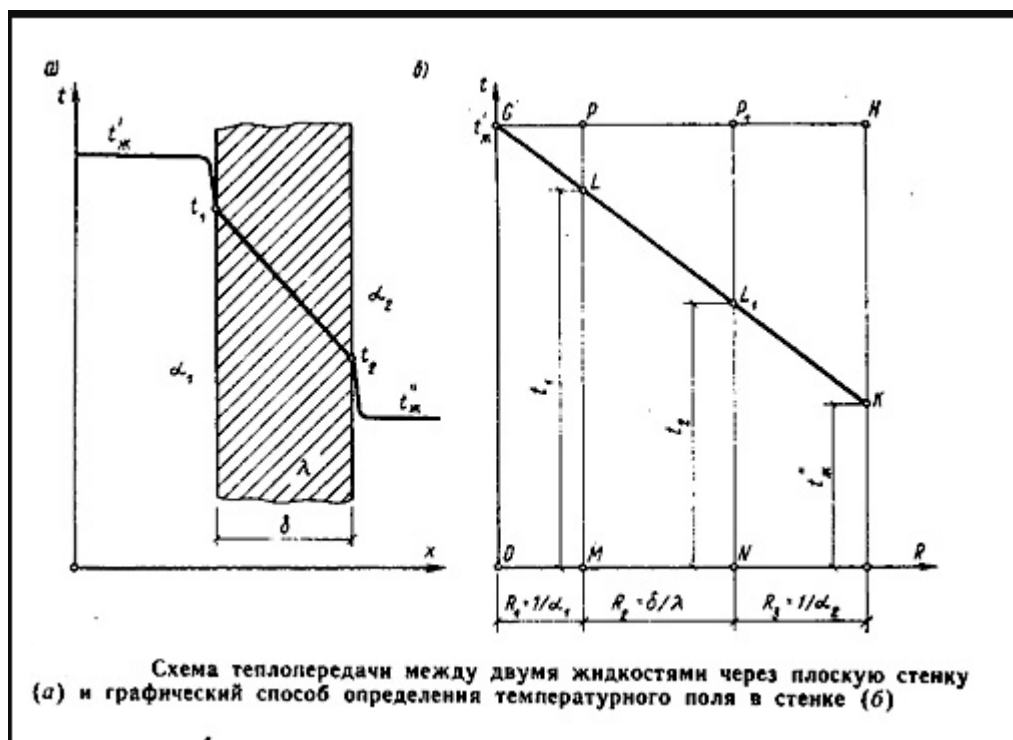
и корпусе плазмотрона. Соответственно линейно зависит от длины канала также суммарная тепловая мощность разряда.



3.4 Теплопередача через плоскую стенку

При передаче теплоты от стенки к окружающей среде в основном преобладает конвективный теплообмен

Рассмотрим однослойную плоскую стенку толщиной d и теплопроводностью l (Рис.3.2)



Температура горячей жидкости (среды) $t'_{ж}$, холодной жидкости (среды) $t''_{ж}$.

Количество теплоты, переданной от горячей жидкости (среды) к стенке по закону Ньютона-Рихмана имеет вид:

$$Q = a_1 \cdot (t'_{ж} - t_1) \cdot F, \quad (2.1)$$

где a_1 – коэффициент теплоотдачи от горячей среды с температурой $t'_{ж}$ к поверхности стенки с температурой t_1 ;

F – расчетная поверхность плоской стенки.

Тепловой поток, переданный через стенку определяется по уравнению:

$$Q = l/d \cdot (t_1 - t_2) \cdot F. \quad (2.2)$$

Тепловой поток от второй поверхности стенки к холодной среде определяется по формуле:

$$Q = a_2 \cdot (t_2 - t''_{ж}) \cdot F, \quad (2.3)$$

где a_2 – коэффициент теплоотдачи от второй поверхности стенки к холодной среде с температурой $t''_{ж}$.

Решая эти три уравнения получаем:

$$Q = (t'_{ж} - t''_{ж}) \cdot F \cdot K, \quad (2.4)$$

где $K = 1 / (1/a_1 + \delta/\lambda + 1/a_2)$ – коэффициент теплопередачи,

или $R_0 = 1/K = (1/a_1 + d/l + 1/a_2)$ – полное термическое сопротивление теплопередачи через однослойную плоскую стенку.

$1/a_1, 1/a_2$ – термические сопротивления теплоотдачи поверхностей стенки;

d/l – термическое сопротивление стенки.

Для многослойной плоской стенки полное термическое сопротивление будет определяться по следующей формуле:

$$R_0 = (1/a_1 + d_1/l_1 + d_2/l_2 + \dots + d_n/l_n + 1/a_2), \quad (2.5)$$

а коэффициент теплопередачи:

$$K = 1 / (1/a_1 + d_1/l_1 + d_2/l_2 + \dots + d_n/l_n + 1/a_2), \quad (2.6)$$

3.5 Критериальные уравнения конвективного теплообмена

Используя теорию подобия из системы дифференциальных уравнений можно получить уравнение теплоотдачи для конвективного теплообмена.

$Nu = \alpha \cdot l_0 / \lambda$ – критерий Нуссельта (безразмерный коэффициент теплоотдачи), характеризует теплообмен между поверхностью стенки и жидкостью (газом);

$Re = w \cdot l_0 / \nu$ – критерий Рейнольдса, характеризует соотношение сил инерции и вязкости и определяет характер течения жидкости (газа);

$Gr = (\beta \cdot g \cdot l_0^3 \cdot \Delta t) / \nu^2$ – критерий Грасгофа, характеризует подъемную силу, возникающую в жидкости (газе) вследствие разности плотностей;

$Pr = \nu / a = (\mu \cdot c_p) / \lambda$ – критерий Прандтля, характеризует физические свойства жидкости (газа);

l_0 – определяющий размер (длина, высота, диаметр).

В нашем случае для воздуха используем упрощенный вид критериев и коэффициента теплоотдачи (ламинарный режим):

$$Nu_f = 0,13 Re_f^{0,33} Gr^{0,1}$$

$$Gr^{0,1} = \frac{gh^3}{\nu^2} \beta \Delta t$$

$$\alpha = Nu_f \frac{\lambda_f}{d}$$

Используя измеренные значения газовой температуры на периферии, рассчитаем теплоотдачу. В качестве площади контакта берём периметр

кварцевой трубки, умноженной на длину канала разряда. Остывающим газом вдоль разрядной камеры пренебрегаем. (В конце трубки температура не превышает 500 С).

Длина канала, см	a, Вт/м²*К	Передаваемое тепло , Q, Вт	Теплопотери на кожухе, P ,Вт
21	42,5	1235	1108
19	40,4	960	860
16	38,7	846	785
13	37,2	792	730
10	35,6	680	650
7	34,1	573	561

При сопоставлении с результатами эксперимента обнаруживаем хорошую сходимость с расчетами.

Как было замечено ранее плотность тока в канале разряда практически не меняется с изменением мощности. Отсюда следует, что потери на электроде будут возрастать при увеличении мощности разряда лишь за счёт площади сечения канала разряда. Отсюда получаем зависимость: диаметр канала прямо пропорционален корню от мощности.

4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСΟΣБЕРЕЖЕНИЕ

4.1 Техничко-экономическое обоснование ВКР

В данной работе рассматривается вопрос о создании нестационарной математической модели десублимации газообразного UF_6 на гладкой теплообменной поверхности.

Научно–исследовательская работа (НИР) – это комплекс разнородных процессов труда, направленных на решение определённых научных и технических проблем. Для того, чтобы затраты на НИР давали полную отдачу, необходимо при планировании, организации и проведении НИР, обеспечить её максимальную эффективность в отношении качества и времени выполнения работ. Целью планирования НИР является организация научного исследования, определение требуемого количества исполнителей по теме и сметы затрат по выполнению работ.

Разные исследования, в зависимости от задач, поставленных перед исполнителями, классифицируются следующим образом:

- а) Теоретические или фундаментальные.
- б) Поисковые.
- в) Прикладного характера

Теоретические – это такие работы, которые проводятся в малоисследованных областях науки. Итогом их является установление общих закономерностей протекания тех или иных процессов.

Поисковые – это работы, проводимые с целью выявления каких-либо законов и закономерностей.

Целью прикладной НИР является техническое и экономическое обоснование нового технологического процесса.

Данная работа относится к числу поисковых работ.

4.1.1 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.

SWOT – анализ состоит из трех этапов. В первом этапе мы анализируем сильные и слабые стороны исследовательской работы (внутренняя среда), а также возможности и угрозы (внешняя среда). Описание выполняется с помощью факторов, не имеющих количественной оценки (таблица 4.1).

Таблица 4.1 – Матрица SWOT

Сильные стороны	Слабые стороны
С1. Низкая себестоимость атомарного газа-аргона и кислорода	Сл1.Неизученность метода и сложности в его развитии
С2.Экономичное использование электроэнергии.	Сл2. Не высокая актуальность исследований
С3.Компактность установки	
С4.Простота монтажа установки и эксплуатация.	
Возможности	Угрозы
В1. Проведение дальнейших исследований и открытие новых перспектив	У1. Появление более актуальных методик
В2.Усовершенствование установки	У2. Малый спрос на установку.
В3. Сотрудничество с научными исследовательскими центрами	

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

В рамках данного этапа построили интерактивную матрицу проекта (таблица 4.2). Ее использование помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей матрицы SWOT. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если

есть сомнения в том, что поставить «+» или «-».

Таблица 4.2 – интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта					
Возможности проекта.		C1.	C2.	C3.	C4.
	B1.	+	+	+	+
	B2.	-	+	+	+
	B3.	-	-	-	-
Угрозы проекта.	У1.	-	-	-	-
	У2.	-	-	-	-
Слабые стороны проекта					
Возможности проекта.		Сл1.		Сл2.	
	B1.	-		-	
	B2.	-		-	
	B3.	-		-	
Угрозы проекта.	У1.	+		+	
	У2.	-		-	

Третий этап заключается в составлении итоговой матрицы SWOT – анализа (таблица 4.3). Она заполняется, исходя из анализа таблицы 4.2.

Таблица 4.3 – SWOT – анализ

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта: C1. Низкая себестоимость атомарного газа–аргона и кислорода. C2. Экономичное использование электроэнергии C3. Компактность установки. C4. Простота монтажа и эксплуатации установки.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1.Неизученность метода и сложности в его развитии Сл2.Не высокая актуальность исследований</p>
<p>Возможности: В1. Проведение дальнейших исследований и открытие новых перспектив В2.Усовершенствование установки В3. Сотрудничество с научными исследовательскими центрами</p>	<p>По результатам анализа: Проведению дальнейших исследований и открытию новых перспектив, совершенствованию установки и сотрудничеству с научными исследовательскими центрами могут поспособствовать выше перечисленные сильные стороны НИП, такие как дешевизна, простота и компактность</p>	<p>Анализ показывает, что в свою очередь неизученность метода, а также низкая актуальность может внести много трудностей при работе с установкой и разработке новых проектов.</p>
<p>Угрозы: У1. Появление более</p>	<p>Дальнейшее понижение стоимости установки и</p>	<p>Угрозы могут отрицательно сказаться на</p>

<p>актуальных методик У2. Малый спрос на установку.</p>	<p>методики может сделать её более привлекательной ,позволяя снизить влияние угроз.</p>	<p>реализации данной установки в научно-исследовательской деятельности, так как малый спрос и появление более актуальных методик могут сыграть свою роль.</p>
---	---	---

4.2 Планирование НИР

В настоящее время наука в значительной степени определяет темпы технического прогресса и роста народного благосостояния. Только рациональное использование выделяемых для науки средств, концентрация их на приоритетных направлениях, совершенствование координации деятельности научно-исследовательских учреждений, быстрое внедрение научных и исследовательских разработок и проектов может ускорит научно-технических прогресс (НТП). Это обуславливает необходимость планирования и организации научно-исследовательских работ (НИР)

Однако важно не только разработать ту или иную научную тему, но и провести её анализ с точки зрения экономических требований, т.е. определить затраты на разработку, продолжительность работ, рассмотреть вопрос об экономической эффективности НИР.

Экономическая часть дипломной работы включает в себя рассмотрение следующих вопросов:

- 1) Планирование НИР.
- 2) Смета затрат.

4.2.1 Планирование этапов и работ по выполнению НИР

Работа по теме включает в себя следующие этапы:

- 1) Обзор литературы по теме.
- 2) Сбор и обработка расчетных данных.
- 3) Подготовительный этап
- 4) Проведение экспериментов.
- 5) Анализ результатов экспериментов.

5) Оформление отчёта.

Для выполнения научных исследований сформирована рабочая группа, в состав которой входят научный руководитель и студент.

Для оптимизации работ удобно использовать классический метод линейного планирования и управления. Результатом такого планирования является составление линейного графика выполнения всех работ. Расчет параметров линейного графика требует определения продолжительности работ. При отсутствии нормативов времени на проведение отдельных видов работ используются вероятностные оценки. Порядок составления этапов и работ приведен в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Перечень категорий, этапов, работ и распределение исполнителей

Категория	Этап	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка ТЗ на ВКР	1	Составление и утверждение технического задания	руководитель
Выбор направления исследования	2	Изучение проблемы и подбор литературы	студент
	3	Изучение литературы и выбор методов решения проблемы	студент
	4	Календарное планирование работ по теме	студент
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Экспериментальные исследования	руководитель, студент
	6	Анализ и обработка полученных результатов	руководитель, студент
	7	Расчет экспериментальных данных	студент
	8	Оценка эффективности полученных результатов	руководитель, студент

Обобщение и оценка результатов	9	Экономика, охрана труда и техника безопасности.	студент
	10	Подготовка к защите темы	студент

4.2.2 Определение трудоемкости выполнения НИР

Необходимо спланировать работу каждого участника эксперимента и сроки их проведения. Для оптимизации работ удобнее всего использовать классический метод линейного планирования и управления. Результатом такого планирования является составление линейного графика выполнения всех работ. Для этого составляют перечень работ в той последовательности, в которой они приведены в соответствующей таблице. Расчет параметров линейного графика требует определение продолжительности работ.

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

$$t_{ожi} = \frac{3t_{минi} + 2t_{maxi}}{5}, \quad (4.1)$$

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

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

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

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

составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}, \quad (4.2)$$

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

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

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

4.2.3 Разработка календарного плана работ

Показатель технической готовности темы характеризует отношение продолжительности работ, выполненных на момент исчисления этого показателя, к общей запланированной продолжительности работ, при этом следует учесть, что период дипломного проектирования составляет примерно 4 месяца, включая производственную практику, и дипломник выступает в качестве основного исполнителя.

Для начала следует определить удельное значение каждой работы в общей продолжительности работ:

$$У_i = \frac{T_{pi}}{T_p} \cdot 100\%, \quad (4.3)$$

где $У_i$ – удельное значение каждой работы, %;

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

T_p – суммарная продолжительность темы, раб.дн.

Техническую готовность темы Γ_i , можно рассчитать по формуле:

$$\Gamma_i = \frac{\sum_{i=1}^i T_{pi}}{T_p} \cdot 100\%, \quad (4.4)$$

где $\sum T_{pi}$ – нарастающая продолжительность на момент выполнения i -той работы.

Для удобства построения календарного план–графика, длительность этапов в рабочих днях переводится в календарные дни и рассчитывается по формуле:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k, \quad (4.5)$$

где T_{Ki} – продолжительность выполнения 1 работы в календарных днях;
 T_{pi} – продолжительность одной работы в рабочих днях;
 k – коэффициент календарности, предназначен для перевода рабочего времени в календарное.

Коэффициент календарности рассчитывается по формуле:

$$k = \frac{T_{кг}}{T_{кг} - T_{вд} - T_{пд}}, \quad (4.6)$$

где $T_{кз}$ – количество календарных дней в году;
 $T_{вд}$ – количество выходных дней в году;
 $T_{пд}$ – количество праздничных дней в году.

$$k = \frac{365}{365 - 52 - 14} = 1,22. \quad (4.7)$$

Расчетная величина продолжительности работ T_k округляется до целых чисел. Расчетные данные сводятся в таблице 4.2, на основании которой строится календарный план–график.

На примере составления и утверждения технического задания рассмотрим методику расчета временных показателей:

$$t_{\min 1} = 2 \text{человеко–день}, \quad t_{\max 1} = 3 \text{человека–дня};$$

$$t_{\text{ож1}} = \frac{3 \cdot t_{\min 1} + 2 \cdot t_{\max 1}}{5} = \frac{3 \cdot 2 + 2 \cdot 3}{5} = 2,4 \text{человека–дня};$$

$$T_{p1} = 2,4 \text{ рабочих дней};$$

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

$$T_{к1} = 2,4 \cdot 1,22 = 2,98 \text{ календарных дня}.$$

Аналогичным образом проводим расчеты для других этапов научного исследования и сводим результаты в табл. 4.2.

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

График строится на основе данных из таблицы 4.5 с разбивкой по


месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования. Работы на графике выделены различным цветом в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу. Календарный план–график в виде диаграммы Ганта приведен на таблице 4.6.


Таблица 4.5 – Временные показатели проведения НИР

Этап	t_{\min}	t_{\max}	$t_{\text{ож}}$	Исполнители	T_p , раб.дн.	T_k , кал.дн	U_i , %	Γ_i , %
1	2	3	2,4	научный руководитель	2,4	2,9	3,5	3,5
2	6	9	7,2	студент	7,2	8,8	10,5	14
3	7	10	8,2	студент	8,2	10	11,9	25,9
4	3	5	3,8	студент	3,8	4,6	5,5	31,4
5	12	15	13,2	научный руководитель, студент	6,6	8,1	9,6	41
6	14	18	15,6	научный руководитель, студент	7,8	9,5	11,4	52,4
7	6	9	7,2	студент	7,2	8,8	10,5	62,9
8	7	10	8,2	научный руководитель, студент	4,1	5,0	6	68,9
9	11	14	12,2	студент	12,2	14,9	17,8	86,7
10	8	11	9,2	студент	9,2	11,2	13,4	100
Итого			87,2		68,7	83,8		100

Таблица 4.6 – Календарный план–график (диаграмма Ганта) проведения ВКР

Вид работ	Исполнители	Тк, кал. дн.	Продолжительность выполнения работ, неделя														
			февраль			март			апрель			май					
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
1. Составление и утверждение ТЗ	Н.р.	2,9	■														
2. Изучение проблемы, обзор литературы	С.	8,8		■	■												
3. Изучение литературы, выбор методов решения проблем	С.	10			■	■	■										
4. Календарное планирование работ по теме	С.	4,6				■											
5. Экспериментальные исследования	Н.р. + С.	8,1					■	■									
6. Анализ и обработка полученных результатов	Н.р. + С.	9,5						■	■	■							
7. Расчет экспериментальных данных	С.	8,8								■	■						
8. Оценка эффективности полученных результатов	Н.р. + С.	5,0									■	■					
9. Экономика, охрана труда и техника безопасности	С.	14,9										■	■	■			
10. Социальная ответственность	С.	11,2													■		

Научный руководитель – 

Студент – 

4.3 Определение плановой себестоимости проведения НИР

4.3.1 Состав затрат, включаемых в себестоимость НИР

Целью планирования себестоимости проведения НИР является экономически обоснованное определение величины затрат на ее выполнение. В плановую себестоимость НИР включаются все затраты, связанные с ее выполнением независимо от источника финансирования. Определение затрат на НИР производится путем калькуляции плановой себестоимости. Она является основным документом, на основании которого осуществляется планирование и учет затрат на выполнение НИР.

Сметно–плановая калькуляция составляется для определения затрат, необходимых для разработки научно–технической темы. Затраты подразделяются на прямые и накладные.

Прямые расходы прямо переносятся на себестоимость разработки. В состав прямых затрат входят:

1. Стоимость основных и вспомогательных материалов.
2. Заработная плата (ЗП) рабочих.
3. Отчисления на социальное страхование, в пенсионный фонд и другие внебюджетные фонды.
4. Прочие прямые расходы.

Накладные расходы — это расходы, переносящиеся пропорционально какой-либо базе, обычно заработной плате.

Накладные расходы включают в себя затраты на электроэнергию.

Величина прямых затрат определяется прямым счетом, это затраты, связанные непосредственно с выполнением конкретной НИР, остальные затраты рассчитываются косвенным способом, это затраты на содержание аппарата управления, общетехнических и общехозяйственных служб.

4.3.2 Формирование и расчёт затрат, включаемых в себестоимость

4.3.2.1 Материальные затраты

Этот пункт включает в себя стоимость всех материалов, необходимых для выполнения НИР.

К категории материалов относят:

- 1) сырьё, основные и вспомогательные материалы;
- 2) покупные полуфабрикаты и комплектующие изделия;
- 3) электроэнергия и вода на технологические цели.

Некоторые материалы: Персональный компьютер являются собственностью кафедры Технической физики, поэтому в расчете показателей затрат не учитывается.

Эксперименты проводились 9 дней по 2 часа (18 часов), мощность установки 1 кВт/час.

Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле:

$$C_{эл} = C_{эл} \cdot P \cdot F_{об}, \quad (4.9)$$

где $C_{эл}$ – тариф на промышленную электроэнергию (5,8 руб. за 1 кВт–ч);

P – мощность оборудования, кВт;

$F_{об}$ – время использования оборудования, ч.

$$C_{эл} = 5,8 \cdot 1 \cdot 18 = 104,4 \text{ руб.}$$

Материальные затраты находятся по формуле:

$$C_m = C_{эл}, \quad (4.10)$$

$$C_m = 104,4 \text{ руб.}$$

4.3.2.2 Затраты на оплату труда работников

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

$$C_{зп} = З_{осн} + З_{доп}, \quad (4.11)$$

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

$З_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата руководителя рассчитывается по следующей формуле:

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_{раб}, \quad (4.12)$$

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{дн} = \frac{З_{м} \cdot k_p \cdot M}{F_{д}}, \quad (3.13)$$

где $З_{м}$ – месячный должностной оклад работника, руб (в качестве месячного оклада дипломника выступает стипендия, которая составляет 2275 руб);

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года (при отпуске в 48 раб.дн. $M=10,2$ месяца, 6 – дневная неделя);

$F_{д}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно–технического персонала (в рабочих днях).

k_p – районный коэффициент, равный 1,3.

Баланс рабочего времени представлен в таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
–выходные дни	52	52
–праздничные дни	14	14

Потери рабочего времени		
–отпуск	56	48
–невыходы по болезни	–	–
Действительный годовой фонд рабочего времени	243	251

Результаты расчета основной заработной платы представлены в таблице 4.8.

Таблица 4.8 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	Кр	Зм, Руб	Зср, руб.	Траб раб.дн.	Зосн, руб.
Руководитель	1,3	26300	1103,95	8	11481,1
Студент	-	2275	120,19	100	12019

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:

$$Z_{\text{доп}} = K_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}, \quad (4.15)$$

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

$K_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной зарплаты ($K_{\text{доп}}=0,1$);

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

В таблице 4.9 приведен расчёт основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 4.9 –Заработная плата исполнителей НИР

Заработная плата	Руководитель	Студент
Основная зарплата, руб	11481,1	12019
Дополнительная зарплата, руб	1148,1	-
Итого по статье $C_{\text{зн}}$, руб	24648,2	

4.3.2.3 Отчисления в государственные страховые фонды

Дипломная работа выполнялась с февраля 2017 года по май 2017 года. Для образовательных учреждений размер страховых взносов водится по пониженной ставке – 27,1%. Таким образом выплаты в страховые фонды составят:

$$C_{\text{стр}} = k_{\text{стр}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}), \quad (4.16)$$

где $k_{\text{стр}}$ – коэффициент отчислений.

$$C_{\text{стр}} = 0,27 \cdot (11481,1 + 1148,1) = 3409,9 \text{ руб.}$$

4.3.2.4 Прочие прямые расходы

В прочие расходы могут быть включены: затраты на приобретение научно–технической литературы; расходы на пользование Интернетом, аренду спецоборудования, командировки, почтовые и телеграфные расходы.

Прочие расходы составляют 5% от единовременных затрат на реализацию проекта и составят:

$$C_{\text{пр}} = k_{\text{пр}} \cdot (C_{\text{м}} + C_{\text{зп}} + C_{\text{стр}}), \quad (4.17)$$

где $k_{\text{пр}}$ – коэффициент прочих расходов.

$$C_{\text{пр}} = 0,05 \cdot (104,4 + 24648,2 + 3409,9) = 1408,13 \text{ руб.}$$

4.3.2.5 Накладные расходы

В данную статью входят расходы на содержание аппарата управления и общехозяйственных (общеуниверситетских) служб, которые в равной степени относятся ко всем выполняемым НИР. По этой статье учитываются оплата труда административно–управленческого персонала, содержание зданий, оргтехники и хозяйственного инвентаря, расходы по охране труда и подготовке кадров.

Накладные расходы в ТПУ составляют 12-16% от суммы основной и дополнительной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы. Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = K_{\text{накл}} \cdot (C_{\text{зп}} + C_{\text{стр}}), \quad (4.18)$$

где $K_{\text{накл}}$ – коэффициент накладных расходов.

$$C_{\text{накл}} = 0,15 \cdot (24648,2 + 3409,9) = 4208,72 \text{ руб.}$$

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости НИР, приведенная в таблице 4.10.

Таблица 4.10 – Калькуляции плановой себестоимости.

Наименование статей затрат	Сумма, руб.
1. Материалы, руб	104,4
2. Затраты на оплату труда работников, непосредственно занятых созданием НИР, руб	24648,2
3. Выплаты в страховые фонды, руб	3409,9
4. Прочие прямые расходы, руб	1408,13
5. Накладные расходы, руб	4208,72
Итого себестоимость НИР, $C_{\text{нир}}$, руб	33779,35

Проделав расчеты, получил себестоимость НИР 33779,35руб., время, необходимое для его выполнения 84 календарных дня.

4.4 Эффективность НИР

Все научно-исследовательские работы должны проводиться с полным технико–экономическим обоснованием ожидаемой и фактической эффективности результатов разработки. В связи с многообразием форм воздействия результатов НИР на все стороны общественного развития, виды эффекта от выполняемых работ можно классифицировать грубо по двум признакам: по сфере проявления эффекта и характеру его воздействия на общественное развитие. По характеру воздействия на общественное развитие выделяется три основных эффекта; экономический, оборонный, социальный.

В связи с тем, что под эффектом НИР, в общем подразумевают полезный результат, отдача её выполнения и последующего за тем внедрения,

существует система количественных и качественных характеристик оценки разных видов эффектов.

Социальный эффект можно рассматривать как совокупность его основных разновидностей.

- социально–политический,
- социально научный,
- социально–культурный.

Социально–научный эффект в росте числа открытий, изобретений, увеличение суммарного объема научно-технической информации, полученной в результате выполнения НИР. За последние годы появилось предложение не только определять по количественной характеристике социального эффекта, но и по системе количественных показателей его оценки.

Элементом количественной оценки социально–научного эффекта следует определение научно-технического эффекта НИР по методике. Сущность этой методики состоит в том, что на основе оценок признаков работы определяется коэффициент социально-научного эффекта НИР:

$$H_T = \sum_{i=1}^4 r_i k_i \quad (4.19)$$

Где r_i – весовой коэффициент i -го признака научно – технического эффекта;

k_i – количественная оценка i -го признака.

Количественная оценка уровня новизны определяется на основе значений баллов. Теоретический уровень полученных результатов НИР определяется на основе значений баллов, приведенных в таблице 4.11.

Таблица 4.11 – Весовые коэффициенты признаков научно-технического эффекта.

Признаки научно–технического эффекта	Примерные значения r_i
Уровень новизны	0,6

Теоретический уровень	0,4
Возможность реализации	0,2

Оценим по данной методике научно–технический эффект данной дипломной работы и сравним её по коэффициентам научно–технического эффекта с максимально и минимально возможным.

Таблица 4.12 – Баллы уровней новизны.

Уровень новизны	Характеристика уровня новизны	баллы
Принципиальное	По–новому или впервые объяснены известные факты, закономерности. Разработано существенное усовершенствование. Введены новые понятия, дополнения, уточнения ранее достигнутых результатов.	8–10
Новое	Разработано усовершенствование. Впервые найдена связь между известными фактами, объектами. Разработаны более простые способы для достижения прежних результатов.	5–7
Относительно новое	Результаты исследований систематизируются и обобщаются имеющиеся сведения. Определяют пути дальнейшего исследования. Проведена рациональная частичная модификация.	2–4
Традиционные	Работа выполнена по традиционной методике. Результат исследований носит информационный характер. Подтверждены или поставлены под сомнения известные представления, нуждающиеся в проверке.	1

Не обладающие новизной	Получен результат, который был ранее известен.	0
------------------------	--	---

Таблица 4.13 – Баллы значимости теоретических уровней.

№	Теоретический уровень полученных результатов	Баллы
1	Установление закона, разработка новой теории.	9–10
2	Глубокая разработка проблемы: многоэлементный анализ связей, взаимосвязей между фактами.	7–8
3	Разработка способов(алгоритм, программа мероприятий).	3–6
4	Элементарный анализ между факторами с наличием гипотезы, классификации, объясняющей версии.	0.6–2
5	Описание отдельных элементарных фактов, изложение опыта, наблюдение результатов измерений.	0–0.5

Таблица 4.14 – Вероятность реализации научных результатов (теоретических работ) по времени и масштабу реализации.

№	Время реализации	Баллы
1	В течение первых лет	5–10
2	От 5 до 10 лет	3–4
3	Более 10 лет	0–2

Таблица 4.15 – Масштабы реализации.

№	Масштабы реализации	Баллы
1	Одно или несколько предприятий	0–2
2	Отрасль(министерство)	3–4
3	Народное хозяйство	5–10

Настоящая дипломная работа оценивается следующим образом:

- балл уровня новизны – 4
- балл значимости теоретического уровня – 5
- балл по времени реализации – 10

– балл по масштабам реализации – 3

Коэффициент научно-технического эффекта дипломной работы составляет:

$$H_T = 0.6 * 4 + 0.4 * 5 + 0.2 * 5 + 0.2 * 3 = 7 \quad (4.20)$$

Максимальный возможный коэффициент:

$$H_{T_{\max}} = 14 \quad (4.21)$$

Минимальный возможный коэффициент:

$$H_{T_{\min}} = 1 \quad (4.22)$$

В ходе выполнения данной дипломной работы был составлен календарный план по НИР, рассчитана смета затрат на НИР, общая сумма затрат на НИР равна 104,4 руб., время, необходимое для его выполнения 84 календарных дня. Произвели оценку научно-технического эффекта НИР, которая получилась равной 7. При сравнении с максимальным коэффициентом $H_{T_{\max}} = 14$, пришли к выводу, что работа выполнена на среднем уровне.

5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

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

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

Вредный производственный фактор – производственный фактор, воздействие которого на работающего в определенных условиях приводит к заболеванию или снижению трудоспособности.

Опасный производственный фактор – производственный фактор, воздействие которого в определенных условиях приводят к травме или другому внезапному, резкому ухудшению здоровья.

Сложность поставленных задач требует использования достижений многих научных дисциплин, прямо или косвенно связанных с задачами создания безопасных условий труда. При разработке требований производственной санитарии используются результаты исследований ряда медицинских и биологических дисциплин.

Успех в решении проблем охраны труда в большой степени зависит от качества подготовки специалистов в этой области, от их умения принимать правильные решения в сложных и изменчивых условиях современного производства.

Правила по охране труда и техники безопасности вводятся в целях предупреждения несчастных случаев, обеспечения безопасных условий труда

и являются обязательными для исполнения рабочими, служащими, инженерно-техническими работниками и руководящим составом.

5.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

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 5.1.1

Таблица 5.1.1 Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы

Наименование видов работ и параметров производственного	Факторы ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
НИ ТПУ ФТИ кафедра «Техническая физика», Работа с ЭВМ и высокочастотной плазмохимической установкой		Электрический ток	ГОСТ 12.1.038–82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
	Воздействие радиации (ВЧ,УВЧ,СВЧ и т.д.)		СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к ПЭВМ и

			СанПин 2.2.4/2.1.8.055-96 «Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона»
		Пожарная опасность	Федеральный закон от 22.07.2013 г. №123 – ФЗ. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности.

При работе на плазмохимическом реакторе, на студента могут воздействовать следующие факторы:

Физические:

- температура и влажность воздуха;
- шум;
- статическое электричество;
- электромагнитное поле высокой чистоты;
- освещённость;
- наличие излучения;
- работа с газовыми баллонами.

Психофизиологические:

- физические перегрузка (статическая, динамическая);
- нервно-психические перегрузки (умственные перегрузки, перегрузки анализаторов, монотонность труда, эмоциональные перегрузки).

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

5.2.1 Организационные мероприятия

Работник обязан:

- соблюдать требования охраны труда;
- правильно применять средства индивидуальной и коллективной защиты;
- проходить обучение безопасным методам и приемам выполнения работ, и оказанию первой помощи пострадавшим на производстве, инструктаж по охране труда, стажировку на рабочем месте, проверку знаний требований охраны труда;
- немедленно извещать своего непосредственного или вышестоящего руководителя о любой ситуации, угрожающей жизни и здоровью людей, о каждом несчастном случае, происшедшем на производстве, или об ухудшении состояния своего здоровья, в том числе о проявлении признаков острого профессионального заболевания (отравления);
- проходить обязательные предварительные (при поступлении на работу) и периодические (в течение трудовой деятельности) медицинские осмотры, другие обязательные медицинские осмотры, а также проходить внеочередные медицинские осмотры по направлению работодателя в случаях, предусмотренных настоящим Кодексом и иными федеральными законами.

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

Проверка знаний правил техники безопасности проводится квалификационной комиссией после обучения на рабочем месте. Проверяемому, присваивается соответствующая его знаниям и опыту работы

квалификационная группа по технике безопасности и выдается специальной удостоверением.

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

5.2.2 Требования безопасности при выполнении работ с использованием персональных электронно-вычислительных машин и на плазмохимическом реакторе

При работе сотрудники могут быть подвергнуты воздействию вредных производственных факторов:

- шум и вибрация
- повышенный уровень электромагнитных излучений;
- повышенный уровень статического электричества;
- перенапряжение зрительных анализаторов
- статические физические перегрузки;

Воздух рабочей зоны (микроклимат) производственных помещений определяют следующие параметры: температура, относительная влажность, скорость движения воздуха. Оптимальные и допустимые значения характеристик микроклимата приведены в таблице 5.2.2.1

Таблица 5.2.2.1 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
Тёплый	23-25	40	0,1

К мероприятиям по оздоровлению воздушной среды в производственном помещении относятся: правильная организация

вентиляции и кондиционирования воздуха, отопление помещений. Вентиляция может осуществляться естественным и механическим путём. В помещении должны подаваться следующие объёмы наружного воздуха: при объёме помещения до 20 м³ на человека – не менее 30 м³ в час на человека; при объёме помещения более 40 м³ на человека и отсутствии выделения вредных веществ допускается естественная вентиляция.

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

Шум и вибрация ухудшают условия труда, оказывают вредное воздействие на организм человека, а именно, на органы слуха и на весь организм через центральную нервную систему. В результате этого ослабляется внимание, ухудшается память, снижается реакция, увеличивается число ошибок при работе. Шум может создаваться работающим оборудованием, установками кондиционирования воздуха, осветительными приборами дневного света, а также проникать извне.

Электрод плазмотрона и разряд являются источниками, излучающими ВЧ излучение в диапазоне 38-41 МГц. Систематическое воздействие электромагнитных полей радиочастот с уровнями, превышающими допустимые, может приводить к нарушению состояния работающих. Защита от воздействия ВЧ поля обеспечивается конструкцией генератора и наличием экрана (кожуха) у плазмотрона. Необходимость кратковременного снятия

части экрана для поджига разряда и наличие отверстий в экране для ввода оптического излучения из плазмотрона требует, чтобы интенсивность электрической составляющей ВЧ излучения на рабочих местах установки не превышала 5 В/м. Причем при облучении в течении всего рабочего дня допустим уровнем являются 10 мкВт/см². При облучении не более 15-20 минут за рабочий день – 1000 мкВт/см².

В остальное рабочее время интенсивность облучения не должна превышать 10 мкВт/см². Время работы на ПХУ в течение дня не превышало 4 часов.

Экран и системные блоки ПЭВМ 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 быть не более:

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

Плотность магнитного потока должна быть не более:

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

Существуют следующие способы защиты от ЭМП:

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

При работе с компьютером источником ионизирующего излучения является дисплей. Под влиянием ионизирующего излучения в организме может происходить нарушение нормальной свертываемости крови, увеличение хрупкости кровеносных сосудов, снижение иммунитета и др. Доза облучения при расстоянии до дисплея 20 см составляет 50 мкР/час.

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

5.3 Техника безопасности при эксплуатации газовых баллонов.

Эксплуатация газовых баллонов. Баллоны со сжатыми, сжиженными или растворенными газами требуют соблюдения особых мер безопасности при их транспортировке, хранении и эксплуатации. Эти меры необходимо соблюдать во избежание:

- а) утечки газа через неплотные соединения и образования взрывоопасных смесей с воздухом, что опасно при наличии искры, например, при ударе баллона о твердый предмет;
- б) тепловых воздействий на баллон, что вызывает повышение давления газа в нем;
- в) механических ударов, могущих повредить стенки сосуда.

Транспортировать баллоны с газом необходимо с надетыми предохранительными колпаками, а баллоны с горючими газами — с колпаками и заглушками. Во время перевозки баллонов в автомобилях, автокарах и на других средствах рессорного транспорта в горизонтальном положении между баллонами устанавливается прокладка из деревянных брусков с вырезанными гнездами или на баллоны надевают резиновые кольца толщиной не менее 25 мм. При этом все баллоны укладываются вентилями в одну сторону. При перевозке баллонов в вертикальном положении в специальных контейнерах или без них должны быть установлены прокладки между баллонами и ограждения от возможного падения.

Во время погрузки и разгрузки бросать баллоны и ударять их о твердые предметы не допускается. Не допускается совместное хранение баллонов с кислородом и горючими газами, так как это связано с возможностью образования взрывоопасных смесей.

Баллоны с ядовитыми газами хранят в специальных закрытых помещениях.

Хранение газовых баллонов на складе производится в вертикальном положении с установкой их в специально оборудованных гнездах, клетках или с ограждением их барьером.

Склады для хранения баллонов с газами должны быть одноэтажными, с покрытиями легкого типа и не иметь чердачных помещений. На складах для хранения баллонов с газами, сооружаемых из негорючих материалов, оконные и дверные стекла должны быть из матового или окрашенного белой краской стекла для рассеяния солнечного света. Вентиляция на складе обязательна. Электрооборудование в соответствии с ПУЭ выполняется взрывозащищенным. Во избежание искрообразования пол покрывается пластиком или асфальтом. Отопление допускается только водяное или паровое низкого давления.

В помещениях для хранения горючих газов ведется контроль концентрации газа в воздухе помещения. При возникновении опасной концентрации помещение немедленно вентилируется, а баллоны с утечкой газа удаляются со склада.

В процессе эксплуатации баллонов со сжатыми газами необходимо выполнять следующие правила:

- не допускать к эксплуатации баллоны, для которых истек срок очередного испытания, отсутствуют установленные клейма, неисправен вентиль, повреждены корпус, окраска и др.;

- запрещается производить какой-либо ремонт или окраску баллонов, или их арматуры;

- запрещается отогревание редукторов, вентилях открытым огнем; отогревать их следует только горячей водой;

- при перекачивании кислородных баллонов вручную нельзя брать руками за вентиль;

— не допускается работа с кислородными баллонами в промасленной одежде и рукавицах.

Баллоны для сжатых газов должны иметь остаточное давление не менее $0,5 \cdot 10^5$ Па (0,5 кгс/см²), а для растворенного ацетилена — не более 105 Па (1 кгс/см²).

Выпуск газов из баллонов в емкости с меньшим давлением должен производиться через специально предназначенный для данного газа редуктор.

5.4 Электробезопасность

Электробезопасность — система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества.

Анализ опасности электрических сетей практически сводится к определению значения тока, протекающего через тело человека в различных условиях, в которых может оказаться человек при эксплуатации электрических сетей.

При прохождении электрического тока через тело человека могут возникнуть повреждения организма. Действие тока на организм человека может быть местным и общим. Общее (рефлекторное) поражение — электрический удар, представляет для человека наибольшую опасность: нарушается работа центральной нервной и сердечно-сосудистой систем, что приводит к фибрилляции и параличу сердца, а также к остановке дыхания.

Безопасной для человека является величина переменного тока — 10 мА, постоянного — 50 мА, безопасное напряжение 12 В

Во избежание травматизма следует, соблюдать следующие правила:

— должна быть изучена инструкция по эксплуатации аппаратуры, а перед каждым включением производится осмотр рабочего места;

- обращать особое внимание на последовательность включений и выключения питания отдельных узлов;
- все узлы комплекса должны быть заземлены через контур заземления;
- контур заземления периодически проверяется на электрическое сопротивление.

Характер и последствия поражения зависят от величины, частоты и пути прохождения тока; продолжительности воздействия. Поэтому помощь должна быть оказана немедленно. При оказании первой помощи пострадавшего необходимо отсоединить от токоведущей части, одновременно защищая себя от опасности контакта с тоководами.

Меры первой помощи зависят от состояния пострадавшего, которые определяются путём проведения следующих мероприятий:

- уложить пострадавшего спиной на твёрдую поверхность;
- проверить наличие дыхания и пульса;
- выяснить состояние зрачка.

Если пострадавший находится в сознании, но до этого был в состоянии обморока - обеспечить ему условия для полного покоя, следить за дыханием и пульсом, вызвать врача.

Если пострадавший находится в бессознательном состоянии, но дышит и прощупывается пульс, необходимо привести его в сознание, дать понюхать нашатырный спирт и обрызгивать водой, при необходимости делать искусственное дыхание и массаж сердца.

Характер и последствия поражения зависят от величины, частоты и пути прохождения тока; продолжительности воздействия. Поэтому помощь должна быть оказана немедленно. При оказании первой помощи пострадавшего необходимо отсоединить от токоведущей части, одновременно защищая себя от опасности контакта с тоководами.

В первую очередь надо отключить ток. При легких поражениях пострадавшего следует вынести на свежий воздух. Если дыхание очень резкое и судорожное, необходимо сделать искусственное дыхание. При остановке дыхания и отсутствии пульса делают искусственное дыхание и непрямой массаж сердца. Затем необходима госпитализация.

5.4.1 Электробезопасность при работе на ПЭВМ

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

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

Мероприятия по обеспечению электробезопасности электроустановок:

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

- вывешивание плакатов, указывающих место работы;
- заземление корпусов всех установок через нулевой провод;
- покрытие металлических поверхностей инструментов надежной изоляцией;
- недоступность токоведущих частей аппаратуры (заключение в корпуса электропоражающих элементов, заключение в корпус токоведущих частей).

5.4.2 Электробезопасность при работе с плазмохимическим реактором

Допуск сотрудников к работе на плазмохимической установке.

К работе на установке допускаются лица не моложе 18 лет, прошедшие медосмотр, имеющие квалификационную группу допуска по электробезопасности не ниже 3 (выше 1000 В) и прошедшие инструктаж по технике безопасности на рабочем месте.

В установке имеется высокое напряжение – 7,9 кВ, подаваемое сповышающего трансформатора на анод генераторной лампы высокочастотного (ВЧ) генератора. Конструкция ВЧ генератора (наличие блокировок на дверцах генератора) обеспечивает безопасность работ при исправном состоянии электромеханических блокировок и надежном заземлении корпуса генератора.

На электрод плазмотрона подается высоковольтное (выше 1000 В) напряжение высокой частоты (40 МГц). Наличие металлического кожуха у плазматрона исключает случайное прикосновение к электроду.

Инициирование разряда, требующее прикосновения проводником к электроду внутри плазматрона, производится только изолирующей штангой.

Приступать к работе на установке разрешается только после осуществления заземления установки.

Перед началом каждого семестра производится осмотр генератора.

При осмотре должно обращать внимание на следующие моменты:

- Безотказность работы всех блокирующих устройств, обеспечивающих опасные условия работы персонала и необходимую четкость, и очередность включения всех элементов генератора;
- Надежность экранирования и заземления корпуса генератора;
- Чистоту контактов пускорегулирующей аппаратуры;
- Отсутствие пыли на токоведущих частях и изоляторах.

При обнаружении неисправностей блокировок до их устранения генератор включать категорически запрещается.

5.5 Пожарная безопасность

Пожар – это неконтролируемый процесс горения, развивающийся во времени и пространстве, опасный для людей и наносящий материальный ущерб.

Пожарная и взрывная безопасность – это система организационных мероприятий и технических средств, направленная на профилактику и ликвидацию пожаров и взрывов на производстве.

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

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

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

К режимным мероприятиям относятся, установление правил организации работ, и соблюдение противопожарных мер.

Запрещается:

- использовать электронагревательные приборы;
- эксплуатировать провода электроприборов с поврежденной изоляцией;
- пользоваться поврежденными розетками, рубильниками, вилками и прочим электрооборудованием;
- обертывать (накрывать) светильники, бытовые приборы бумагой, тканью и другими горючими материалами;
- применять открытый огонь;
- курить в помещении;
- оставлять без наблюдения включенную в сеть радиоэлектронную аппаратуру, ПЭВМ, оргтехнику, бытовую технику;
- пользоваться неисправной или незаземленной аппаратурой;
- нарушать правила эксплуатации ПЭВМ и оргтехники, а так же инструкции по работе на ПЭВМ и средствах оргтехники, действующие в институте;
- включать в сетевые фильтры, блоки бесперебойного питания и специализированные розетки, расположенные в коробах бытовую технику и другое, не относящееся к ПЭВМ оборудование.

По окончании работы необходимо обесточить все электроприборы и осмотреть помещения на наличие признаков возгорания. При наличии в помещении выделенной сети электропитания для ПЭВМ, необходимо выключить автомат питания в распределительном щите.

При возникновении аварийной ситуации необходимо:

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

ВЫВОДЫ

1. Установлена линейная зависимость тепловой мощности факельного разряда от длины его канала.
2. Увеличение мощности тепловых потерь на электроде обусловлено увеличением площади электродного пятна.
3. Тепловые потери на электроде составляют 20% от суммарной тепловой мощности факельного разряда, горящего в воздухе, и 15% - в случае факельного разряда, горящего в аргоне.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты данной выпускной квалификационной работы могут быть использованы для разработки и оптимизации конструкций плазмотрона, горящего на аргоне и воздухе. Экспериментально установленные зависимости между тепловой мощностью и геометрическими параметрами системы позволяют оценить достоверность теории физических процессов, протекающих в плазмотроне.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Акиртава О.С., Артамонов А.В., Артемов В.М. Исследование оптической неоднородности активной среды CO₂ лазера с ВЧ-возбуждением // Квантовая электроника. – 1987, т.14, № 12, - с.2454-2457.
2. Рыкалин Н.Н., Сорокин Л.М. Частотные плазмотроны в технологических процессах //В сб. Применение низкотемпературной плазмы в технологии. Рига: Зинатне, 1985, - с.3-21.
3. Z. Zakrzewski, M. Moisan. Plasma sources using long linear microwave field applicators: Main features, classification and modeling // Plasma Sources Science and Technology. – 1995. – vol. 4. – pp. 379-397.
4. Тихомиров И.А. Высокочастотные факельные плазмотроны и их практическое применение // Известия СО АН СССР, серия техн. наук, 1980, - №8, вып.2, - с. 3-13.
5. Каренгин А.Г., Каренгин А.А., Побережников А.Д. Плазменный генератор тепла на базе высокочастотного факельного плазмотрона // Известия Вузов. Физика – 2010. – т.53. - №11/2. – с.165-167.
6. Низкотемпературная плазма. Т.6: ВЧ и СВЧ плазмотроны / Под ред. С.В. Дресвина. – Новосибирск: Наука, 1992. – 319с.
7. Nowakowska H., Zakrzewsky Z., Moisan M. Propagation characteristics of electromagnetic waves along a dense plasma filament. // J. Phys.D: Appl.Phys. – 2001. – vol.34. – p.1474 – 1478.
8. Качанов А.В., Трехов Е.С., Фетисов Е.П. Электродинамическая модель высокочастотного факельного разряда // Журнал Технической Физики. – 1970. – т.15. – с.340-345.
9. Benilov M.S., Naidis G.V. Simulation of Discharges in Atmospheric – Pressure Air Sustained by Traveling Electromagnetic Waves // IEEE Transactions on Plasma Science. – 2003. – vol.31. - № 4. – p. 488 – 494.
10. Луценко Ю.Ю., Тихомиров И.А., Шайхеев А.Г., Корючкин А.В. О наличии отраженной электромагнитной волны в канале ВЧ факельного разряда //

Материалы III Республиканской конференции «Плазменная техника, технология». – Казань, 1988. - с.5-6.

11. Тихомиров И.А., Луценко Ю.Ю., Ткаченко А.Г., Сидько Ю.А. Распределение компонент электромагнитного поля и их затухание в канале ВЧ факельного разряда // Материалы III Республиканской конференции «Плазменная техника, технология». – Казань, 1988. - с.7-8.

12. Ткаченко А.Г., Корючкин А.В., Луценко Ю.Ю., Гамзинов С.В. Тепло-электрофизические параметры секционированного высокочастотного факельного плазмотрона // Материалы III Республиканской конференции «Плазменная техника, технология». – Казань, 1988. - с.4.

13. Тихомиров И.А., Луценко Ю.Ю. Электромагнитное излучение и связанное с ним распределение электрических токов в высокочастотном факельном разряде // Тез. докл. IV Всесоюзн. конф. по физике газового разряда. – Махачкала, 1988. - с.133-134

14. Луценко Ю.Ю., Тихомиров И.А. О характере отражения электромагнитной волны в канале ВЧ факельного разряда // Тез. докл. Всесоюзн. семинара по высокочастотному пробою газов. -Тарту, 1989. - с.74.

15. Тихомиров И.А., Луценко Ю.Ю., Новиков О.Г., Мышкин В.Ф. Определение электрофизических параметров ВЧ факельного разряда методами лазерной диагностики // Тез. докл. Всесоюзн. семинара по высокочастотному пробою газов. - Тарту, 1989. - с.135-136.

16. Тихомиров И.А., Луценко Ю.Ю., Емельянов В.Н. Высокочастотный плазмотрон с электропитанием разряда гибридной электромагнитной волной // Тез. докл. XI Всесоюзн. конф. по генераторам н/т плазмы. – Новосибирск, 1989. - с.99-100.

17. 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

18. Тихомиров И.А., Луценко Ю.Ю., Мелехин В.А. Влияние высокочастотного разряда на электрофизику горения конденсированных систем // Тез. докл. XIII Всесоюзн. семинара по электрофизике горения, - Чебоксары, 1990. – с.46.
19. Тихомиров И.А., Луценко Ю.Ю. О степени диссипации электромагнитной волны в высокочастотном факельном разряде // Тез. докл. V Всесоюзн. конф. по физике газового разряда. - Омск, 1990. – с.82.
20. Тихомиров И.А., Луценко Ю.Ю. Электродинамическая модель высокочастотного факельного разряда с учетом отражения электромагнитной волны в канале разряда // Тез. докл.V Всесоюзн. конф. по физике газового разряда. - Омск, 1990. – с.81.
21. Тихомиров И.А., Луценко Ю.Ю., Емельянов В.Н. Математическое моделирование характеристик плазмы ВЧ факельного разряда // Тезисы докладов XI Всесоюзной конференции по физике электронных и атомных столкновений. – Чебоксары, 1991. - с.17.
22. Тихомиров И.А., Луценко Ю.Ю., Власов В.А. Особенности электромагнитного поля ВЧ разряда при его взаимодействии с плазмой горения конденсированных составов. // Тезисы докладов XIV Всесоюзного семинара по электрофизике горения. – Челябинск, 1991 - с.28.
23. Тихомиров И.А., Луценко Ю.Ю., Емельянов В.Н. Электрофизика и электродинамика высокочастотного емкостного факельного разряда. // Тезисы докладов VI Всесоюзн. конференции по физике газового разряда. – Казань, 1992. – с. 38.
24. Тихомиров И.А., Власов В.А., Луценко Ю.Ю. Воспламенение и горение конденсированных составов под воздействием воздушной плазмы высокочастотного факельного разряда. // Тезисы докладов VIII Международной конференции по физике газового разряда. – Рязань, 1996. – с.122 – 123.
25. Vlasov V.A., Tikhomirov I.A., Lutsenko Yu.Yu. Physics and electrodynamics of high – frequency torch discharge. // The 7th Korea – Russia International Symposium on Science and Technology. – 2003. – p.194 – 197.

26. Власов В.А., Тихомиров И.А., Луценко Ю.Ю. О характере распределения частотных составляющих электромагнитного поля в плазме высокочастотного факельного разряда. // Тезисы докладов IV Международной конференции по фундаментальным и прикладным проблемам физики. – Саранск, 2003. – с.16.
27. Власов В.А., Тихомиров И.А., Луценко Ю.Ю. Определение величины отношения коэффициента фазы к коэффициенту затухания электромагнитной волны, распространяющейся в плазме высокочастотного факельного разряда. // Тезисы докладов IV Международной конференции по фундаментальным и прикладным проблемам физики. – Саранск, 2003. – с.17.
28. 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.
29. Власов В.А., Луценко Ю.Ю. Определение коэффициентов фазы и затухания электромагнитной волны, распространяющейся в плазме высокочастотного факельного разряда. // Материалы Всероссийской научной конференции «Физика низкотемпературной плазмы». - Петрозаводск, 2004. – с.154 – 157.
30. Власов В.А., Тихомиров И.А., Луценко Ю.Ю. Определение характеристик высокочастотного факельного плазмотрона // Тезисы докл. III Международной научно – практической конференции «Физико-технические проблемы атомной энергетики и промышленности». – Томск, 2005 –с.122.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Determination of heat losses in structural elements of a high-frequency flare plasma torch

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM5A	Савасичев Константин Александрович		

Консультант кафедры Технической физики:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Новоселов И.Ю.			

Консультант – лингвист кафедры ИЯ ФТИ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Ермакова Я.В.			

ANNOTATION

The results of the measurements of electron and gas temperatures for the torch discharge which burns in argon and air are presented. The correlation between the length of the flare discharge channel burning in air (argon) and its thermal power is estimated. The thermal power lost at the discharge electrode is determined. Based on the measurement of the gas temperature in the channel and the diffusion shell of the discharge, the radial thermal losses of the torch plasmatron are calculated. It is shown that an increase in thermal losses at the electrode with an increase in the total thermal power of the discharge is due to an increase in the diameter of the focal spot, rather than a change in the density of the high-frequency amperage.

CONTENTS

INTRODUCTION.....	94
A.1. HIGH FREQUENCY TORCH DISCHARGE PHYSICS.....	95
A.2. DETERMINATION OF CHARACTERISTICS OF THE TORCH DISCHARGE PLASMA	100
A.2.1 Setup scheme and measurement results	101
A.2.2.Heat exchange in the plasma torch.....	101
CONCLUSION	103

INTRODUCTION

Plasma technologies find great application in the processing of substances, the production of high-purity materials with specified properties, and the disposal of various man-made wastes. The use of high-frequency discharges in laser systems, for carrying out plasma-chemical processes, as well as for generating plasma jets with specified properties, led to an increase in the volume of research work in this direction.

At present, there are no reliable experimental results in the literature relating the geometric characteristics of the flare discharge to its power. Therefore, the calculations of discharge characteristics, carried out in accordance with a particular theoretical model of discharge, can't be verified experimentally.

In this paper the correlation between the length of the flare discharge channel burning in air (argon) and its thermal power is estimated. The thermal power lost at the discharge electrode is determined. Based on the measurement of the gas temperature in the channel and the diffusion shell of the discharge, the radial thermal losses of the torch plasmatron are calculated. It is shown that an increase in thermal losses at the electrode with an increase in the total thermal power of the discharge is due to an increase in the diameter of the focal spot, rather than a change in the density of the high-frequency amperage.

A1. HIGH FREQUENCY TORCH DISCHARGE PHYSICS

High-frequency flare discharge (HFFD) is a single-electrode high-frequency discharge of a capacitive type. It was discovered in 1929 by S.Zilitinkevich and K.Baxter during the studies of powerful high-frequency radio transmitters operation. The discharge ignited at the radio transmitters oscillating circuit inductor and disturbed its functionality. At low power values the shape of a flare discharge is identical to that of a candle flame. This is the reason why it was called a “flare” discharge. At higher values of power supplied to the discharge its shape acquires the form of an oblong plasma filament. At pressure values above $3 \cdot 10^4$ Pa the high-frequency flare discharge (Fig.1) has three structural elements: near-electrode layer 1, channel 2, and diffusion cover 3. The discharge channel is a brightly-luminescent formation of a cylindrical shape, with the diameter gradually decreasing along the discharge axis. High-frequency current runs in the discharge channel, where preferential dissipation of the electromagnetic wave energy occurs. The discharge channel is surrounded with a faint diffusion cover having the diameter that is by 3 to 10 times more than that of the channel. In the diffusion

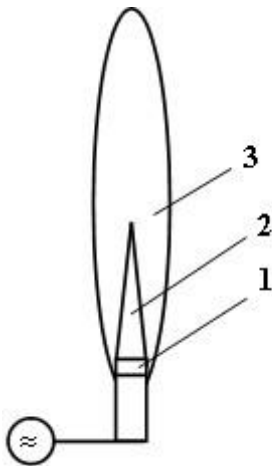


Fig. 1 HF flare discharge
1 – near-electrode layer; 2
– channel; 3 – diffusion
cover.

cover their occurs recombination of ions that were formed as a result of thermal ionization in the discharge channel. Near-electrode layer is positioned between the discharge plasma and electrode surface. It is characterized by high values of electric field intensity. In this area the electrons are accelerated up to the energies that are sufficient for gas molecules to be ionized.

The mechanism of the flare discharge burning is conditioned by thermal ionization processes. The plasma of a flare discharge burning in molecular gases under atmospheric pressure is in the condition close to that of the thermodynamic equilibrium. The burning of a flare discharge

is observed in a wide frequency range, starting from 6 MHz and over.

At the decrease of the electromagnetic field frequency the high-frequency flare discharge passes into the high-frequency corona. The burning of a high-frequency corona is observed at the frequency values under 6 MHz. At higher values of electromagnetic field frequency the corona discharge can be observed at the intensified cooling of the discharge plasma. The transition of the flare discharge into the corona occurs gradually, not step-wise, with the frequency and heat removal values changing in quite a wide range. High-frequency corona discharge represents a whole series of distorted plasma channels coming out of the electrode in the shape of “corona”, or looks like a single channel with a blurred diffused structure. A high-frequency corona is characterized by a high degree of non-equilibrium and, accordingly, a significant difference between the temperature of electrons $T_e = (67) \cdot 10^3$ K and that of heavy particles $T = (23) \cdot 10^3$ K. The electric field intensity in a corona discharge is high and reaches 14 000 V/cm.

The mechanism of high-frequency corona combustion is explicable on the basis of streamer theory.

During the combustion from a non-cooled electrode the high-frequency flare discharge turns into a high-frequency arc.

The high-frequency arc is a single-electrode discharge, the combustion of which is accompanied by strong vaporization of the electrode material. Due to this, the mechanism of high-frequency arc combustion should be examined with regard to the processes on the electrode, as well as the influence of the electrode material gas phase presence in the discharge plasma.

The three above-stated types of a single-electrode high-frequency discharge are well observed only at low power values of high-frequency energy supplied to the discharge, since in this case a non-equilibrium degree of the discharge plasma can be easily controlled either by a simple change of the power delivered to the discharge, or by cooling the discharge plasma with a gas flow.

At power values $W \approx 70$ in case of a cooled electrode, only a high-frequency flare discharge can typically be observed. Hence, when working with considerably powerful discharges used in application and research purposes and

induced at the frequency of 10 MHz, a single-electrode discharge can be identified with the flare one.

From the moment of its discovery up to now the high-frequency flare discharge has been studied mainly in the following aspects:

8. study of various factors (shape, electrode material, type of plasma-supporting gas, value of the supplied power) influence on the properties of the high-frequency flare discharge (HFFD);

9. study of HFFD plasma characteristics (heavy particles temperature, electrons temperature and concentration, non-equilibrium degree of the discharge plasma);

10. theoretical and experimental researches of issues related to the heat and mass transfer in the HFFD plasma;

11. study of HFFD amplitude-modulated plasma;

12. study of the external electric fields influence on the HFFD properties and behavior;

13. study of the issue on the HFFD interfacing with a HF generator;

14. study of HFFD electric characteristics (burner voltage, full-load current, discharge-earth capacitance).

HFFD is easily ignited in any gaseous atmosphere (air, inert gases, hydrogen, etc.) under pressure values of 10^1 - $5 \cdot 10^5$ Pa. Under atmospheric pressure the discharge is typically of a contracted shape. However, when burning in gases with high thermal conductivity its form becomes diffuse. Such mode of the discharge combustion is observed at its ignition in the hydrogen atmosphere.

The contraction of a flare discharge is associated with its spectral characteristics. In particular, the correlation was established between the diameters of NO and OH molecules band emission regions and the diameters of the channel and diffusion cover of the discharge burning in the air under atmospheric pressure.

It was also established that the power delivered to the discharge is proportional to the area of the cross-section of the region emitting NO bands. This relationship can be written down as follows: $D_{NO} = const \sqrt[3]{W}$, where W is

the discharge power. The measurements of the discharge plasma electrical conductivity were also indicative of the interrelation between the active resistance of the discharge flare and the dimensions of the region emitting NO bands. These results are indicative of the fact that NO bands excitation is localized in the current-conductive region of the discharge plasma.

Experimental studies show that HFFD structure and its dimensions are determined by the properties of the plasma-supporting gas, as well as by the character and level of the power supplied to the discharge. A significant number of studies are devoted to the measurement of the flare discharge temperature.

When comparing the results of measuring gas and electron temperature, it is seen that at the field frequency of tens MHz, the difference between them is about $T_e/T = 1.5 - 2.5$. However, in case when the frequency of discharge-feeding field is within a SHF range, the difference between the electron and gas temperature becomes more significant ($T_e/T = 5 - 25$). Work also shows that the electron distribution by rates in a HFFD channel is different from Maxwell distribution. Thus, the conclusion can be made on the considerable non-equilibrium of the HFFD plasma.

HFFD discharge plasma characteristics to a considerable extent are dependent on the frequency of electromagnetic field, power supplied to the discharge, and flow rate of the plasma-supporting gas. Study shows that reduction of frequency (at the preset power) leads to the increase of the discharge channel length and the plasma temperature decrease.

According to study, the specified relationship is of a logarithmic character. The authors of, in their turn, propose using the relationship of $L^{-1/2}$ type where L is the discharge channel length and ν is the electromagnetic field frequency.

The process of energy transfer from the electromagnetic field to the HFFD plasma is also of interest. For example, the authors of suggest that electromagnetic energy transfer mechanism is influenced by dissociative recombination processes. In the HFFD burning in the air or nitrogen under atmospheric pressure next to the electrode there are N_2^+ ions having the excitation potential of 18 eV. These

molecular ions diffuse from the electrode to the discharge plasma, where by means of collisions with electrons they recombine into nitrogen atoms in a dissociative way. Since the energy of molecular nitrogen dissociation amounts to 9.7 eV, the newly formed atoms acquire the kinetic energy of 8.3 eV, which, due to the collisions, is rapidly dissociated mainly in the form of chaotic thermal motion of plasma particles. Such mechanism of electromagnetic energy transfer is proved by measurements of the temperature of discharge burning in molecular gases with various dissociation energies.

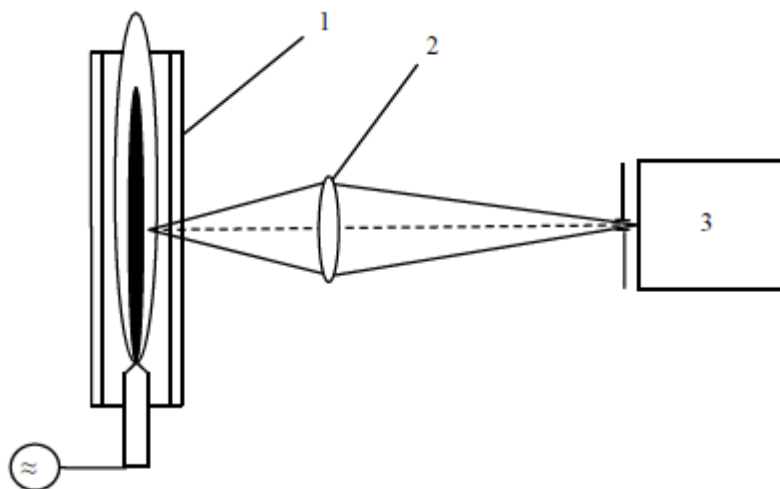
HFFD is a strong atomizer. Studies show that atomization in HFFD plasma amounts to 15-25%

When describing HFFD, it is of great importance to determine such values as capacitive resistance, admittance, and active resistance of HFFD plasmoid. These characteristics of the discharge are strongly dependent on its geometric dimensions that in their turn are determined by the value of high-frequency power.

The measurements of high-frequency current and discharge voltage revealed that its voltage-current characteristic is of progressive character. However, the change of voltage at the increase of discharge power is so insignificant that high-frequency voltage stabilization by a flare discharge can be stated.

A.2. DETERMINATION OF CHARACTERISTICS OF THE TORCH DISCHARGE PLASMA

2.1 Setup scheme and measurement results



1 - High-frequency flare discharge; 2 - lens; 3 - Spectrograph Shamrock 303i

The investigated torch discharge had the power of 1 kW. The discharge was initiated in the cylindrical quartz chamber with a diameter of 28 mm at a frequency of 37 MHz. The measurements of the gas temperatures were done at the distance of 70 mm from the electrode. The temperature of the torch discharge varies slightly along its axis. Therefore, the measurements carried out for a single point of the discharge will characterize the discharge plasma as a whole.

The radiation from the discharge volume under investigation was projected onto the slit of a spectrograph MSDD 1000. The measurements of the gas temperatures were done for the relative intensities of rotational transitions of hydroxyl 3064 Å molecular band. Lines of oscillatory branch Q_1 were used. Lines that were not overlapped by other lines, namely Q_{14} , Q_{16} , Q_{19} , Q_{110} were chosen. In order to cut off radiation from other parts of the discharge a 5 mm wide diaphragm was used.

Along with measurements of the gas temperature the electron temperature of the torch discharge, which burns in the mixture of argon and air, was measured. The measurements of the electron temperature were performed by Ornstein method

using the relative intensities of copper lines. The copper was in the discharge plasma due to the evaporation of the surface material of the water-cooled copper electrode. The copper lines of 5106Å, 5153Å and 5218Å were used. The energies and the relative probabilities of the transitions that correspond to these lines were borrowed from.

2.2. Heat exchange in the plasma torch

Heat transfer of a plasma with walls in plasma torches is characterized by a number of features that significantly complicate its analysis and make it difficult to calculate. These features are mainly determined:

- A) dissociation and partial ionization in the gas;
- B) the presence of a magnetic field;
- C) radiation, because of which it is impossible to use computational methods based on the self-similarity of the temperature and enthalpy profiles, since the latter vary in length because of the difference from zero $\text{div } q$ ^;
- D) the presence of developed turbulence in the combustion zone of the discharge and behind it; Moreover, an additional turbulence is exerted by shunting the discharge;
- E) unstabilized flow; The thickness of the boundary layer is $5 < D$, where D is the diameter of the channel through which the plasma flows;
- F) the presence of a tangential component of the velocity of the gas acquired as a result of the interaction of the gas with the discharge and often exceeding the axial component of the velocity.

However, within the framework of simple models (for a thin cylindrical wall and laminar gas motion) it is possible to estimate the amount of heat transferred from the plasma to the walls and water in the casing. Accordingly, the heat transfer coefficient will be composed of three components: the heat transfer coefficient from the hot gas to the wall, the temperature resistance of the quartz wall, and the heat

transfer coefficient from the wall to the water. The determining factor is the heat transfer coefficient from the hot gas to the wall.

CONCLUSION

A linear dependence of the thermal power of the flare discharge on the length of its channel is established. The increase in the power of thermal losses at the electrode is due to an increase in the area of the electrode spot. The thermal losses at the electrode are 20% of the total thermal power of the flare discharge burning in the air, and 15% in the case of a flare discharge burning in argon.