

Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки: Прикладная математика и информатика
 Отделение информационных технологий

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Исследование на фазовых плоскостях экспериментальных распределений параметров плазмы в областях самоорганизации

УДК 681.513.8:537.58:533.92

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Б51	Исакова Екатерина Александровна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Гергет Ольга Михайловна	Д.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Подопригора Игнат Валерьевич	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООТД	Мезенцева Ирина Леонидовна			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Шевелев Геннадий Ефимович	к.ф.-м.н.		

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа информационных технологий и робототехники
Направление подготовки 01.02.03 Прикладная математика и информатика
Отделение информационных технологий

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
8Б51	Исакова Екатерина Александровна

Тема работы:

Исследование на фазовых плоскостях экспериментальных распределений
параметров плазмы в областях самоорганизации

Утверждена приказом директора (дата, номер)

№ 2766/с от 12.02.2019 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:

18.06.2019 г.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе

(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).

Объектом исследования являются экспериментальные распределения плотности плазмы и распределения плотности ионного тока при разном межэлектродном расстоянии. 1 – $d=0,08$ см, 2 – 0,12 см, 3 – 0,16 см, 4 – 0,20 см.

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов (аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</p>	<p>Исследование на фазовой плоскости распределений плотности плазмы и плотности ионного тока в областях самоорганизации, социальная ответственность, финансовый менеджмент.</p>
<p>Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)</p>	<p>В работе представлено 20 рисунков, 17 таблиц.</p>
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)</p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Подопригора Игнат Валерьевич</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Мезенцева Ирина Леонидовна</p>

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	О. М. Гергет	К. Т. Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Б51	Исакова Екатерина Александровна		

Планируемые результаты обучения по ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P1	Способность демонстрации общенаучных базовых знаний естественных наук, математики и информатики, понимание основных фактов, концепций, принципов теорий, связанных с прикладной математикой и информатикой
P2	Способность приобретать новые научные и профессиональные знания, используя современные образовательные и информационные технологии
P3	Способность критически переосмысливать накопленный опыт, изменять при необходимости вид и характер своей профессиональной деятельности
P4	Способность собирать, обрабатывать и интерпретировать данные современных научных исследований, необходимые для формирования выводов по соответствующим научным, профессиональным, социальным и этическим проблемам
P5	Способность решать задачи производственной и технологической деятельности на профессиональном уровне, включая: разработку алгоритмических и программных решений в области системного и прикладного программирования
P6	Способность использовать основы защиты производственного персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий и применения современных средств поражения, основных мер по ликвидации их последствий, способность к общей оценке условий безопасности жизнедеятельности
<i>Универсальные компетенции</i>	
P7	Способность владеть культурой мышления, умение аргументированно и ясно строить устную и письменную речь
P8	Способность уважительно и бережно относиться к историческому наследию и культурным традициям, толерантность в восприятии социальных и культурных различий
P9	Способность понимать сущность и значение информации в развитии современного информационного общества, сознавать опасности

	и угрозы, возникающие в этом процессе, соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны
P10	Способность использовать в научной и познавательной деятельности, а также в социальной сфере профессиональные навыки работы с информационными и компьютерными технологиями
P11	Способность к интеллектуальному, культурному, нравственному, физическому и профессиональному саморазвитию, стремление к повышению своей квалификации и мастерства

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 92 с., 20 рисунков, 17 таблицы, 22 источника.

Ключевые слова: низкотемпературная плазма, термоэмиссионный преобразователь, эмиссия, самоорганизация, энтропия.

Объектом исследования является: экспериментальные распределения параметров плотности плазмы и плотности ионного тока.

Целью работы являлось исследование на фазовых плоскостях экспериментальных распределений параметров плазмы в областях самоорганизации.

В результате исследования: были проанализированы решения краевой задачи для системы обыкновенных дифференциальных уравнений, описывающей поведение плотности плазмы и плотности ионного тока в межэлектродном зазоре термоэмиссионного диода на фазовой плоскости; оцифрованы и аппроксимированы экспериментальные данные, найдены коэффициенты аппроксимации; выявлены дуговой и диффузионные режимы термоэмиссионного преобразователя; экспериментальные распределения плазмы для дугового режима преобразователя отображены на фазовой плоскости.

Область применения: Математическое моделирование, энергетика

Значимость работы: разработанный и реализованный подход построения фазовых портретов экспериментальных распределений параметров плазмы позволяет осуществить анализ механизмов физических процессов в низкотемпературной плазме.

Оглавление

Введение	8
1. Низкотемпературная плазма	10
2. Термоэмиссионный преобразователь	11
3. Аппроксимация и интерполяция данных	14
4. Постановка краевых задач и задач Коши	17
5. Концептуальная постановка задачи	18
6. Математическая постановка задачи	18
7. Выбор программной среды и реализация	26
7.1 Аппроксимация экспериментальных данных	29
7.2 Поиск коэффициентов аппроксимации	36
8. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	43
9. Социальная ответственность	62
Заключение	75
Список использованных источников	77
Приложение А. Решение системы дифференциальных уравнений	79
Приложение Б. Аппроксимация и визуализация экспериментальных данных плотности плазмы.	84
Приложение В. Аппроксимация и визуализация экспериментальных данных плотности ионного тока	87
Приложение Г. Аппроксимация дугового и диффузионного режимов ТЭП на примере плотности плазмы.	90

Введение

В наши дни все актуальнее становится проблема изучения самоорганизации в живой и неживой природе. Самоорганизацию подробно изучает наука – синергетика, появившаяся в 70-е годы двадцатого века и старающаяся описать движущие силы эволюции любых объектов в природе и в обществе.

В настоящее время имеется достаточно примеров самоорганизации процессов в различных средах [1–3]. Явления самоорганизации наблюдаются и в тех средах, в которых имеются различные фазовые состояния. Более того, фазовые переходы (смена фазовых состояний) можно трактовать как пример самоорганизации в равновесных или квазиравновесных системах [3]. Фазовые переходы и явления самоорганизации достаточно полно описаны и изучены в твердых телах и жидкости (конденсированных средах). В газовых средах фазовые состояния невозможны, т.к. они (среды с различными газами) легко перемешиваются. Встает вопрос: возможны ли фазовые состояния и явления самоорганизации в такой среде как плазма? В настоящее время этот вопрос находится в стадии начального изучения и поэтому представляет, как научный, так и практический интерес.

Целью данной работы является исследование на фазовых плоскостях экспериментальных распределений параметров плазмы в областях самоорганизации. Для достижения поставленной цели, необходимо:

- Изучить научную литературу по данной теме.
- Проанализировать решения краевой задачи для системы обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ), описывающей поведение плотности плазмы n и плотности ионного тока J_i в межэлектродном зазоре термоэмиссионного диода, на фазовой плоскости (n, J_i) .
- Оцифровать экспериментальные данные, полученные из открытого источника [1].

- Аппроксимировать экспериментальные данные, найти коэффициенты аппроксимации.
- Отобразить на фазовых плоскостях экспериментальные распределения плазмы для дугового режима преобразователя
- Выявить дуговой и диффузионный режимы термоэмиссионного преобразователя.

Практическая значимость работы заключается в том, что разработанный и реализованный подход построения фазовых портретов экспериментальных распределений параметров плазмы позволяет осуществить анализ механизмов физических процессов в низкотемпературной плазме.

В работе приведены концептуальная и математическая постановки задач, рассмотрена аппроксимация экспериментальных данных различными функциями, выбраны функции, наиболее точно описывающие поведение плотности плазмы и плотности ионного тока. Проведены тестирование, подбор параметров, а также оценка точности полученной аппроксимации и визуализация. Также проведён анализ социальной ответственности, ресурсоэффективности и финансового менеджмента.

1. Низкотемпературная плазма

В данной работе исследовались распределения параметров плотности плазмы и плотности ионного тока в термоэмиссионном преобразователе (ТЭП). Рассмотрим основные понятия: что такое плазма, низкотемпературная плазма и термоэмиссионный преобразователь.

Плазма – это одно из четырех агрегатных состояний материи, ионизированный газ, который образуется из нейтральных молекул и заряженных частиц. Когда от оболочки атомов газа отделен минимум один электрон, такой газ называют ионизированным. Отличительной особенностью данной среды можно назвать ее квазинейтральность.

Квазинейтральность означает, что среди всех зарядов в единице объема плазмы число положительных равно числу отрицательных зарядов.

Вещества могут быть твердыми, жидкими или газообразными. И эти агрегатные состояния способны, например, при увеличении температуры, переходить одно в другое. Плазма считается четвертым агрегатным состоянием, в котором может пребывать вещество. [2]

Низкотемпературной называют плазму, у которой средняя тепловая энергия электронов заметно меньше основного потенциала ионизированного атома. Температура данной разновидности плазмы – не более 105 К.

Низкотемпературная плазма широко применяется в различных устройствах, например, для преобразования тепловой энергии в электрическую в термоэмиссионном преобразователе. Также плазма применяется в газовых лазерах и магнитогидродинамических генераторах, в плазменных ракетных двигателях и др.

2. Термоэмиссионный преобразователь

Термоэмиссионный преобразователь (ТЭП) – это преобразователь тепловой энергии в электрическую на основе использования эффекта термоэлектронной эмиссии. [3]

Термоэлектронной эмиссией (лат. emissio – испускание, излучение) называется испускание электронов твердыми или жидкими телами при их нагревании. Для вылета электрона из вещества необходимо, чтобы кинетическая энергия этого электрона была достаточной для преодоления его связи с другими атомами. Это условие достигается при нагревании эмиттера до высокой температуры.

Принципиальная схема термоэмиссионного преобразователя энергии (ТЭП) представлена на рис. 1. Эмиттер и коллектор расположены в вакуумированном сосуде. К эмиттеру подводится тепло, а от коллектора отводится. При замыкании внешней цепи появляется ток.

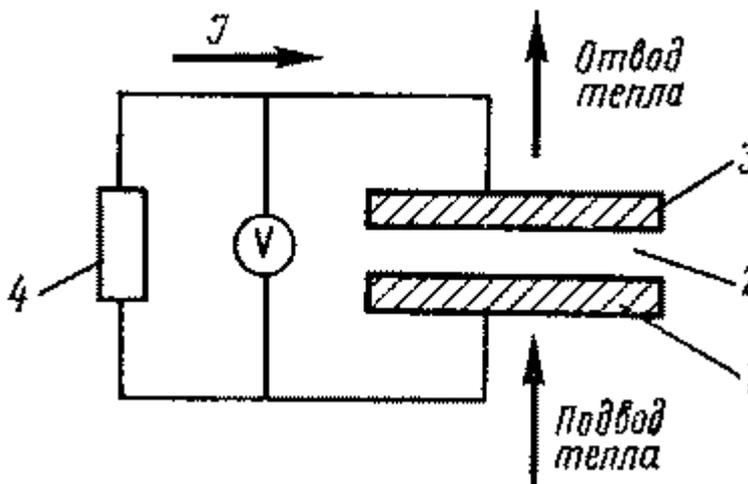


Рис. 1. Принципиальная схема ТЭП: 1 – эмиттер, 2 – межэлектродный зазор, заполненный парами цезия, 3 – коллектор, 4 – нагрузка

Работа ТЭП выглядит следующим образом: сначала устанавливаются рабочие температуры эмиттера в интервале от 1500 К до 2000 К и температуры коллектора в интервале 700–1000 К, далее в межэлектродный зазор подаются пары рабочего тела (цезия) до давления 10–700 Па. Атомы цезия, адсорбируясь на поверхности электродов, снижают работу выхода электродов, а также, ионизируясь в межэлектродном промежутке за счет термической или

поверхностной ионизации, компенсируют возникающий в межэлектродном промежутке отрицательный электронный заряд, благодаря которому осуществляется эффективная электронная проводимость с эмиттера на коллектор.

Одним из недостатков термоэмиссионных преобразователей является его недостаточная эффективность в области низких температур (<1500 К) вследствие недостаточной эмиссии с поверхности эмиттера электронного тока.

С целью повышения эффективности отдельные термоэмиссионные элементы (диоды) соединяются в многоэлементную последовательную цепочку, что позволяет в результате повышения выходного рабочего напряжения и соответственно снижения приборных потерь повысить выходную электрическую мощность термоэмиссионного электрогенерирующего канала.

Режимы работы ТЭП и характерные распределения параметров рабочего тела

Существует несколько режимов работы термоэмиссионного преобразователя, такие как вакуумный, квазивакуумный, диффузионный и дуговой режимы [9]. В настоящее время все, кроме дугового режима, довольно хорошо изучены, и теоретическое описание их увязывается с экспериментом. В дуговом режиме много неясных вопросов и пока отсутствует теоретическая модель, достаточно хорошо согласующаяся с экспериментом. Поэтому в данной работе будет рассматриваться дуговой и диффузионные режимы ТЭП на примере распределения параметров плотности плазмы и плотности ионного тока. А также выявление диффузионного режима и построение фазового портрета плотность – ионный ток для дугового режима ТЭП.

На рис. 2-3 представлены характерные распределения параметров низкотемпературной плазмы (плотность плазмы и плотность ионного тока) в термоэмиссионном преобразователе. Эти данные взяты как экспериментальные значения для дальнейшего исследования.

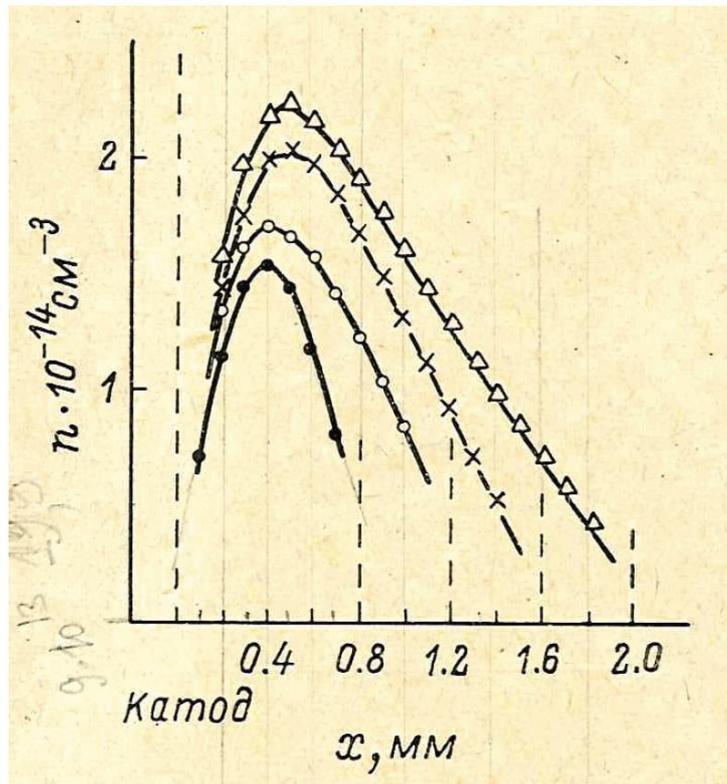


Рис. 2. Распределение плотности плазмы при разном межэлектродном расстоянии. ● – $d=0,08$ см, ○ – $0,12$ см, × – $0,16$ см, Δ – $0,20$ см.
 $T_E=1680$ К, $p_{CS}=1.0$ мм рт. ст.

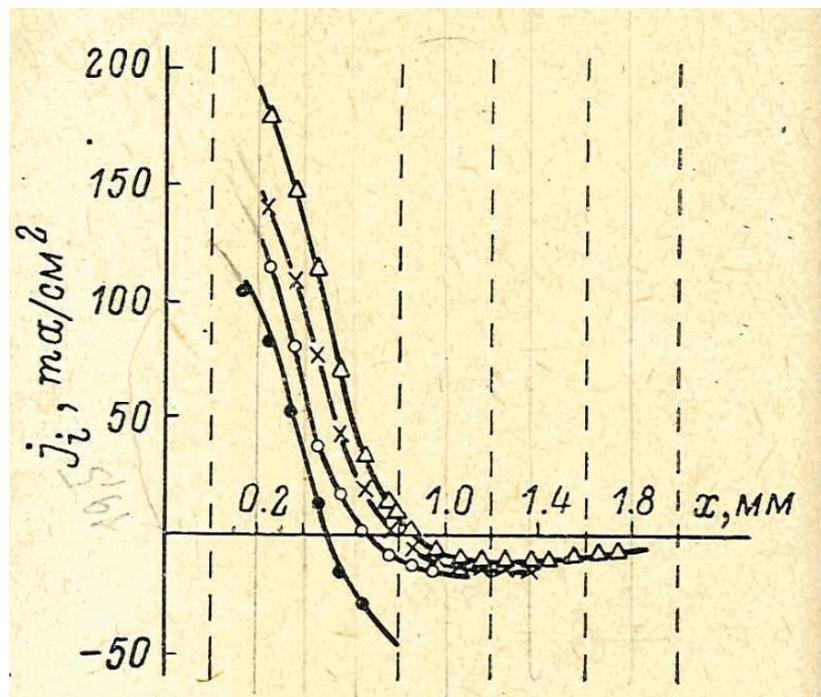


Рис. 3. Распределение плотности ионного тока при разном межэлектродном расстоянии. ● – $d=0,08$ см, ○ – $0,12$ см, × – $0,16$ см, Δ – $0,20$ см.
 $T_E=1680$ К, $p_{CS}=1.0$ мм рт. ст.

Плотность плазмы имеет характерное распределение с максимум в межэлектродном зазоре (МЭЗ). При увеличении зазора максимальная плотность плазмы растет и появляется у коллектора значительный участок в МЭЗ, где плотность плазмы описывается линейной функцией. Также, можно заметить, что при увеличении межэлектродного расстояния плотность ионного тока значительно уменьшается.

3. Аппроксимация и интерполяция данных

Взятые экспериментальные данные представлены в виде таблицы, то есть наши данные для исследования – табличная функция. Для табличных функций проводятся исследования, например, часто необходимо проинтегрировать или продифференцировать табличную функцию и т.д. При такой постановке задачи функцию, заданную таблично, заменяют аналитическим представлением. Для этой цели используются методы аппроксимации и интерполяции.

Аппроксимация – это замена исходной функции $f(x)$ функцией $\varphi(x)$ так, чтобы отклонение $f(x)$ от $\varphi(x)$ в заданной области было наименьшим. Функция $\varphi(x)$ называется аппроксимирующей [7]. Такая задача возникает, когда в исходных данных существует погрешность или желательно упростить сложную математическую зависимость. Пример такой функции можно видеть на рис. 4.

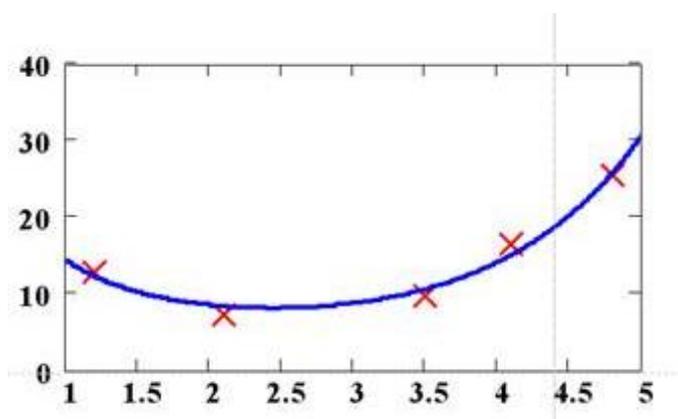


Рис. 4. Схематичное представление процесса аппроксимации таблично заданной функции

Интерполяция – это замена исходной функции $f(x)$ функцией $\varphi(x)$ так, чтобы $\varphi(x)$ точно проходила через точки исходной функции $f(x)$. Интерполяция еще называется точечной аппроксимацией [7]. Пример интерполяции представлен на рис. 5.

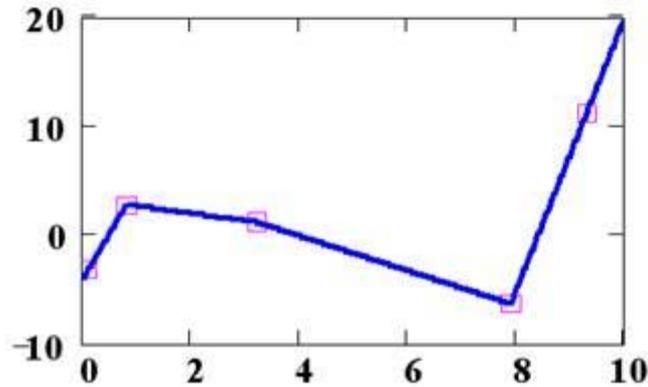


Рис. 5. Схематичное представление процесса интерполяции таблично заданной функции

Найдя интерполяционную функцию, мы можем вычислить ее значения между узлами интерполяции, а также определить значение функции за пределами заданного интервала (провести экстраполяцию).

Экстраполяцией называется аппроксимация вне заданной области определения исходной функции [7]. Для наглядности экстраполяция схематично представлена на рис. 6.

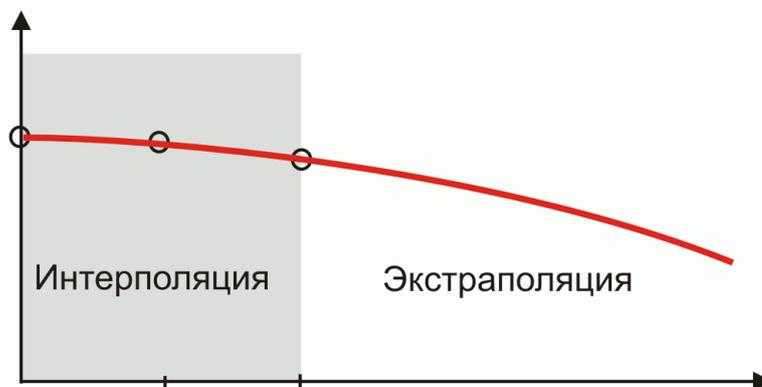


Рис. 6. Схематичное представление процесса экстраполяции таблично заданной функции

Основной мерой отклонения функции аппроксимации от исходной функции $f(x)$ является величина, равная сумме квадратов разностей между значениями аппроксимирующей и исходной функций.

4. Постановка краевых задач и задач Коши

При исследовании процессов в низкотемпературной плазме возникла необходимость в постановке краевых задач для обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ), которая отличается от задач Коши тем, что граничные условия для них ставятся не в одной (начальной) точке, а на обеих границах интервала, т.е. в ТЭП на эмиттере и коллекторе.

Краевые задачи часто называют задачами с нелокальными условиями. Если имеется система из N обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка, то часть из N условий может быть поставлена на одной границе интервала, а оставшиеся условия — на противоположной границе. Рассмотрим классификацию краевых задач.

Краевая задача (двухточечная):

$$y''(x) = f(x, y, y'), \quad x \in (a, b).$$

- Граничные условия 1-го рода (задача Дирихле):

$$y(a) = y_a, \quad y(b) = y_b.$$

- Граничные условия 2-го рода (задача Неймана):

$$y'(a) = y_a, \quad y'(b) = y_b.$$

- Граничные условия 3-го рода:

$$y'(a) + \alpha y(a) = y_a, \quad y'(b) + \beta y(b) = y_b.$$

- Периодические граничные условия:

$$y(a) = y(b), \quad y'(a) = y'(b).$$

5. Концептуальная постановка задачи

Исследование возможных решений краевой задачи на фазовой плоскости плазма – ионный ток. Анализ фазовых портретов распределений параметров плазмы позволяет получить дополнительную информацию и сделать выводы о физических процессах в низкотемпературной плазме. С этой целью для исследования распределений параметров низкотемпературной плазмы в ТЭП необходимо рассмотреть следующие задачи:

- Решение системы обыкновенных дифференциальных уравнений, описывающей поведение плотности плазмы и плотности ионного тока в межэлектродном зазоре ТЭП
- Аппроксимация экспериментальных данных плотности плазмы и плотности ионного тока
- Построение фазового портрета на плоскости (n, J_i) для дугового режима ТЭП по экспериментальным данным и по полученному решению системы обыкновенных дифференциальных уравнений
- Сравнение полученных фазовых портретов и анализ результатов

6. Математическая постановка задачи

Поведение плотности плазмы и плотности ионного тока в термоэмиссионном преобразователе можно попробовать описать с помощью системы обыкновенных дифференциальных уравнений и, сравнив полученное решение данной системы с экспериментом, вычислив погрешность, можно сделать вывод о правдивости данной модели.

Задаются параметры термоэмиссионного преобразователя: температуры эмиттера T_E и коллектора T_C , давление паров цезия P_{Cs} , величина межэлектродного зазора d , работа выхода эмиттера F_E и коллектора F_C . А также плотность ионного тока ТЭП J . Для упрощения предполагается, что плотность ионов низкотемпературной плазмы равна плотности электронов, то есть будем считать, что плазма слабоионизирована. Температуры ионов и

электронов постоянны по всему межэлектродному зазору. Тогда, при таких положениях изменения нормированных параметров, плотности плазмы \bar{n} и плотности ионного тока \bar{J} в межэлектродном зазоре описываются системой обыкновенных дифференциальных уравнений [3]:

$$\begin{cases} \frac{d\bar{n}}{d\xi} = -k_1 - k_2\bar{J}, \\ \frac{d\bar{J}}{d\xi} = k_3\bar{n}, \end{cases} \quad (1),$$

$$\text{где } k_1 = \frac{d\bar{J}e\bar{v}_e(T_E)}{4k(\bar{T}_e + \bar{T}_i)T_E\mu_{ea}}, \quad k_2 = \frac{d(\mu_{ea} + \mu_{ia})e\bar{v}_i(T_E)}{4k(\bar{T}_e + \bar{T}_i)T_E\mu_{ea}\mu_{ia}}, \quad k_3 = \frac{4d}{v_i(T_E)}n_a S(n, T_E),$$

$$\bar{v}_e(T_E) = \left(\frac{8kT_E}{\pi m}\right)^{1/2}, \quad \bar{v}_i(T_E) = \left(\frac{8kT_E}{\pi M}\right)^{1/2}, \quad n_a = \frac{p_{Cs}}{kT_i},$$

$$S(n, T_e) = 10^{-5} S_0(n, T_e) \exp\left(-\frac{E_b(n, T_e)}{kT_e}\right),$$

$$\bar{n} = \frac{n}{n_E}, \quad \bar{J}_i = \frac{4J_i}{en_E\bar{v}_i(T_E)}, \quad n_E = \frac{4J_{Ee}}{e\bar{v}_e(T_E)}, \quad \bar{J} = \frac{J}{J_{Ee}},$$

$$\bar{J}_e = \frac{J_e}{J_{Ee}}, \quad \bar{T}_e = \frac{T_e}{T_E}, \quad \bar{T}_i = \frac{T_i}{T_E}, \quad \xi = \frac{x}{d},$$

$$J_{Ee} = AT_E^2 \exp\left(-\frac{F_E}{kT_e}\right),$$

e - заряд электрона, m - масса электрона; M - масса иона цезия; k - постоянная Больцмана; $\bar{v}_i(T_E)$, $\bar{v}_e(T_E)$ - хаотические скорости ионов и электронов в плазме с температурой частиц равной температуре эмиттера; n_a - плотность атомов цезия в зазоре; x , ξ - размерная и безразмерная координаты, которые определяют расстояние в межэлектродном зазоре от эмиттера; J_{Ee} - плотность тока Ричардсона - Дэшмана с эмиттера; $A = 120 \text{ A}/(\text{K}^2 \text{ см}^2)$ - теоретическая эмиссионная постоянная; T_e , T_i - температуры электронов и

ионов. Коэффициенты k_1 и k_2 системы уравнений (1) постоянные и положительные, так как рассматриваются точки $\bar{J} > 0$; k_3 - положительная величина, зависящая от плотности плазмы.

Краевые условия для плотности плазмы и плотности ионного тока в общем случае имеют сложный вид и зависят от полярности приэлектродных барьеров [2–4]. В дуговом режиме ТЭП, когда приэлектродные барьеры задерживают электроны плазмы и можно пренебречь ионными эмиссионными токами с электродов, ионные токи на эмиттер J_{i0} и коллектор J_{id} равны (по абсолютной величине) удвоенным хаотическим ионным токам из плазмы:

$$J_{i0} = -\frac{en_0 \bar{v}_i(T_{i0})}{2}, \quad J_{id} = -\frac{en_d \bar{v}_i(T_{id})}{2},$$

где n_0, n_d - плотности плазмы у эмиттера и коллектора. Для нормированных переменных краевые условия принимают вид:

$$\bar{J}_{i0} = -m_1 \bar{n}_0, \quad \bar{J}_{id} = -m_2 \bar{n}_1,$$

$$m_1 = 2 \frac{\bar{v}_i(T_{i0})}{v_i(T_E)}, \quad m_2 = 2 \frac{\bar{v}_i(T_{id})}{v_i(T_E)}$$

Аналитическое решение краевой задачи для системы обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ), которое описывает поведение плотности плазмы n и плотности ионного тока J_i в межэлектродном зазоре термоэмиссионного диода, при заданных граничных условиях, выглядит следующим образом:

Для J_i :

$$\frac{1}{2} \frac{e^{-t\sqrt{-k_2 k_3}} e^{x_0 \sqrt{-k_2 k_3}} e^{x_1 \sqrt{-k_2 k_3}} \left(2 k_1 e^{x_0 \sqrt{-k_2 k_3}} - 2 k_1 e^{x_1 \sqrt{-k_2 k_3}} - 2 J_0 k_2 e^{x_1 \sqrt{-k_2 k_3}} + 2 J_1 k_2 e^{x_0 \sqrt{-k_2 k_3}} \right)}{k_2 \left(e^{2x_0 \sqrt{-k_2 k_3}} - e^{2x_1 \sqrt{-k_2 k_3}} \right)}$$

$$- e^{t\sqrt{-k_2 k_3}} \left(\frac{1}{2} \frac{k_1 e^{-t\sqrt{-k_2 k_3}}}{k_2} + \frac{1}{2} \frac{e^{x_0 \sqrt{-k_2 k_3}} e^{x_1 \sqrt{-k_2 k_3}} \left(2 k_1 e^{-x_0 \sqrt{-k_2 k_3}} - 2 k_1 e^{-x_1 \sqrt{-k_2 k_3}} - 2 J_0 k_2 e^{-x_1 \sqrt{-k_2 k_3}} + 2 J_1 k_2 e^{-x_0 \sqrt{-k_2 k_3}} \right)}{k_2 \left(e^{2x_0 \sqrt{-k_2 k_3}} - e^{2x_1 \sqrt{-k_2 k_3}} \right)} \right)$$

$$- \frac{1}{2} \frac{k_1}{k_2}$$

Для n :

$$\frac{e^{-t\sqrt{-k_2k_3}} \sqrt{-k_2k_3} (J_0 e^{2t\sqrt{-k_2k_3}} e^{x_0\sqrt{-k_2k_3}} - J_1 e^{2t\sqrt{-k_2k_3}} e^{x_1\sqrt{-k_2k_3}} + J_0 e^{x_0\sqrt{-k_2k_3}} e^{2x_1\sqrt{-k_2k_3}} - J_1 e^{x_1\sqrt{-k_2k_3}} e^{2x_0\sqrt{-k_2k_3}})}{k_3 (e^{2x_0\sqrt{-k_2k_3}} - e^{2x_1\sqrt{-k_2k_3}})}$$

$$+ \frac{e^{-t\sqrt{-k_2k_3}} \sqrt{-k_2k_3} (k_1 e^{2t\sqrt{-k_2k_3}} e^{x_0\sqrt{-k_2k_3}} - k_1 e^{2t\sqrt{-k_2k_3}} e^{x_1\sqrt{-k_2k_3}} + k_1 e^{x_0\sqrt{-k_2k_3}} e^{2x_1\sqrt{-k_2k_3}} - k_1 e^{x_1\sqrt{-k_2k_3}} e^{2x_0\sqrt{-k_2k_3}})}{k_2 k_3 (e^{2x_0\sqrt{-k_2k_3}} - e^{2x_1\sqrt{-k_2k_3}})}$$

Алгоритм решения реализован в пакете MatLab. Скрипт программы представлен в Приложении А.

В случае отличие от нуля объемного источника ионов – фазовый портрет системы схематично представляет собой совокупность концентрических (вложенных) эллипсов. Линиями показаны граничные условия $\bar{J}_{i0} = -m_1 \bar{n}_0$, и $\bar{J}_{id} = -m_2 \bar{n}_1$. На рис. 7 схематично изображена фазовая траектория (n, J_i).

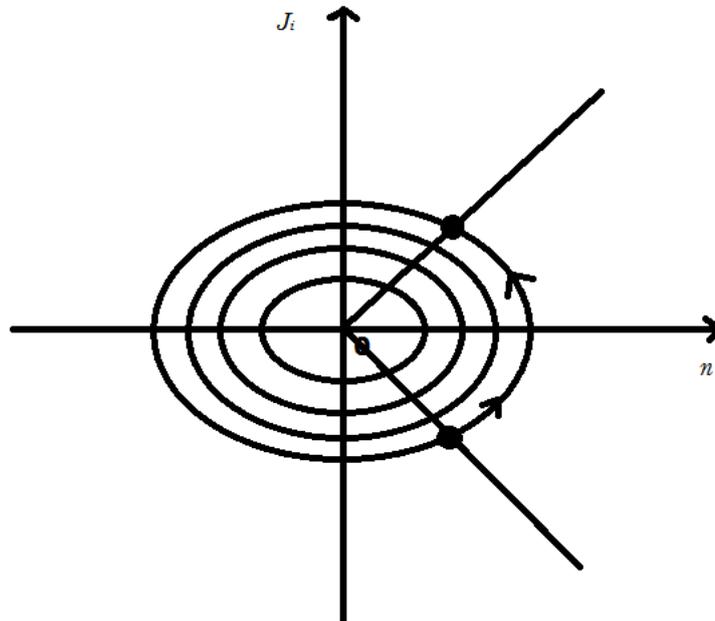


Рис. 7. Схематичное изображение фазовой траектории (n, J_i).

При варьировании параметров ТЭП меняются только параметры вложенных эллипсов, которые представляют фазовые траектории системы (1).

Нормированная система была решена посредством среды MatLab для дугового режима преобразователя. В нашем случае, дуговой режим соответствует межэлектродному зазору $d = 0,08\text{см}$.

Построен график решения системы (1), полученного в пакете MatLab.

На рис. 8 изображено решение системы (1) для плотности плазмы:

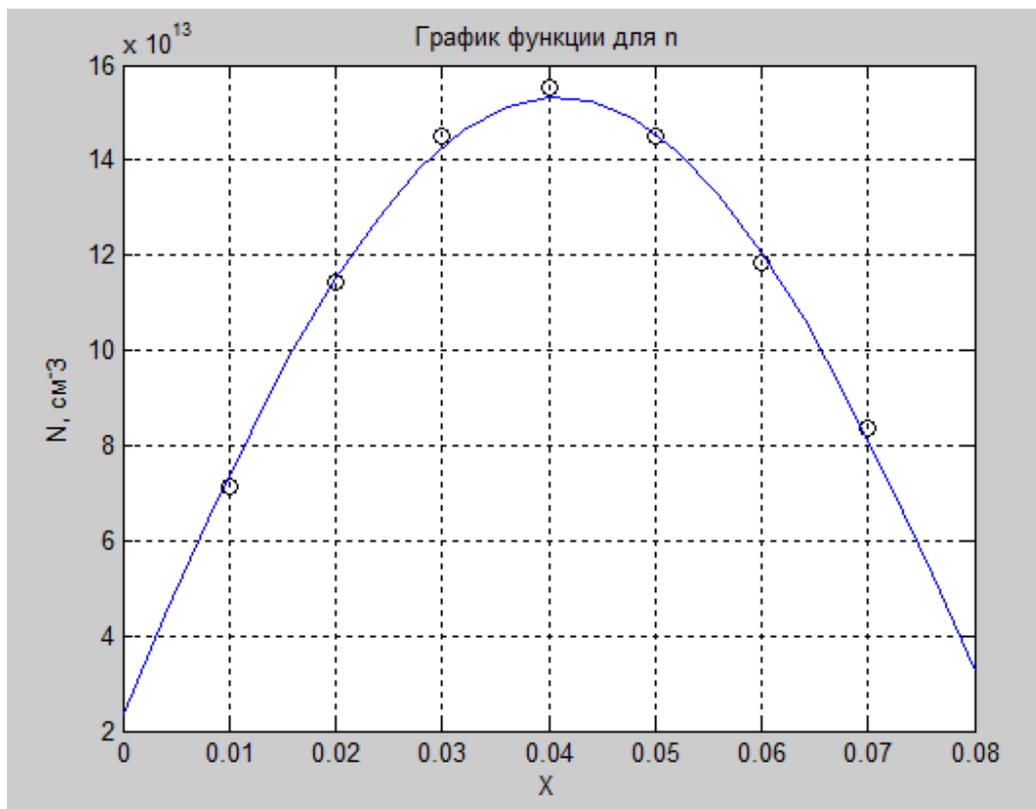


Рис. 8. График решения системы (1) для плотности плазмы

На рис. 9 изображено решение системы (1) для плотности ионного тока:

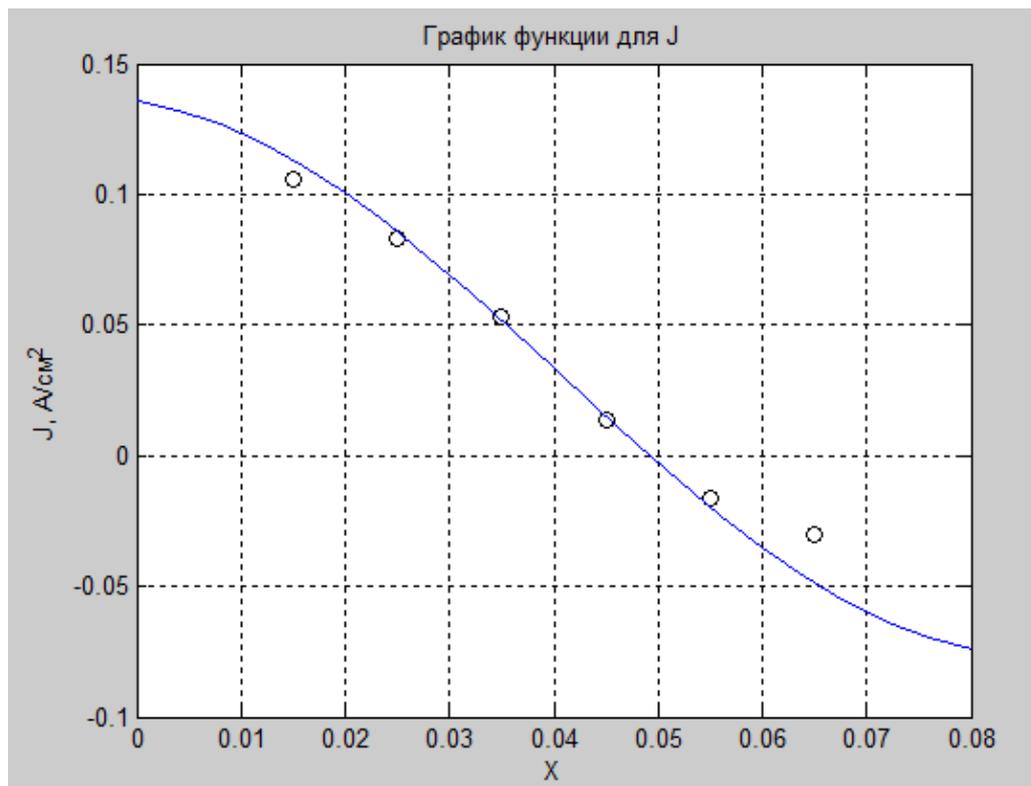


Рис. 9. График решения системы (1) для плотности ионного тока

Решения представлены на графиках вместе с экспериментальными данными, чтобы наглядно показать достоверность полученного решения.

Также рассчитана погрешности для полученного решения, которая равна $\Delta = 0,1128$.

Из вышесказанного можно сделать вывод, что модель системы обыкновенных дифференциальных уравнение довольно точно описывает поведение плотности плазмы и плотности ионного тока для данных параметров ТЭП.

Далее был построен фазовый портрет решения на плоскости (n, J_i) . На рис. 10 изображена фазовая траектория (n, J_i) для дугового режима ТЭП.

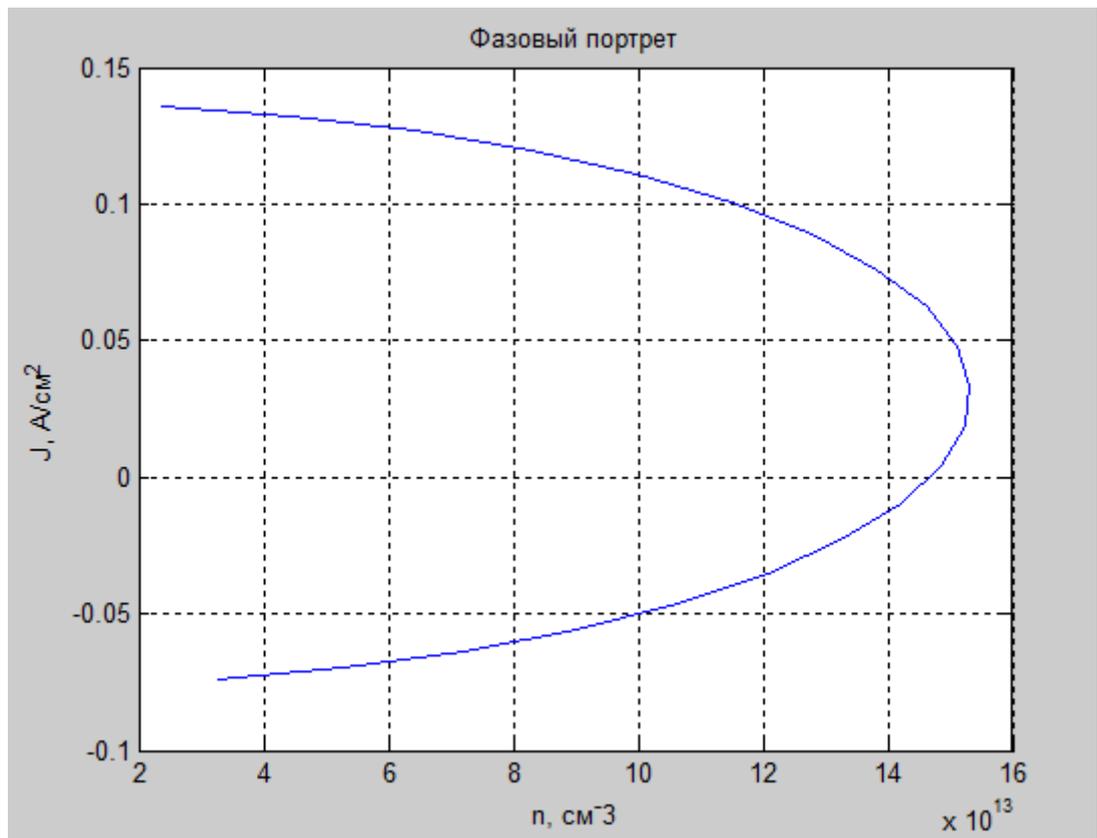


Рис. 10. Фазовый портрет решения на плоскости (n, J_i)

Фазовый портрет представляет собой часть эллипса. Построив фазовый портрет по решению системы ОДУ и сравнив его с модельным можно сделать вывод о единообразности фазовых портретов. Необходимо заметить, что при варьировании параметров ТЭП параметры эллипса могут меняться. Фазовый портрет был построен только для одного межэлектродного зазора, так как в нем все место занимает дуговой режим ТЭП. Но если построить фазовые портреты для остальных 4х зазоров, получим совокупность концентрических (вложенных) эллипсов.

Также был рассмотрен частный случай, когда

$$\frac{dJ_i}{d\xi} = 0,$$

Из этого следует, что

$$dJ_i = const,$$

И решение данной краевой задачи имеет вид:

$$n(\xi) - n(0) = -k_1\xi - k_2 \cdot J_i \cdot \xi$$

Решение данной краевой задачи на фазовой плоскости показано на рис. 11:

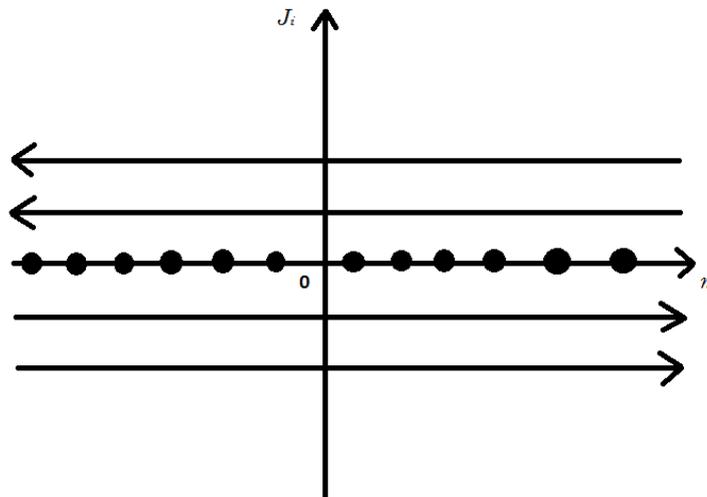


Рис. 11. Схематичное изображение фазовой траектории (n, J_i) при $dJ_i = const$.

Если объемный источник ионов равен нулю, то на фазовой плоскости (n, J_i) получили прямые линии, параллельные оси On . При $J_i = 0$ получаем точки равновесия, при $J_i > 0$ прямые имеют противоположенное направление относительно оси On , при $J_i < 0$ прямые имеют то же направление, что и ось On .

7. Выбор программной среды и реализация

Для решения системы ОДУ, описывающей исследуемые параметры низкотемпературной плазмы, а также для аппроксимации экспериментальных данных была выбрана программная среда MatLab.

MATLAB (MATrix LABoratory) – это высокопроизводительный собственный язык программирования для технических расчетов, который включает в себя вычисления, матричные манипуляции, визуализацию данных и графиков, создание интерфейсов и реализацию алгоритмов в удобной среде [8].

Приложение MATLAB построено на языке сценариев MATLAB. Обычное использование приложения MATLAB включает использование командного окна в качестве интерактивной математической оболочки или выполнение текстовых файлов, содержащих код MATLAB.

Система MATLAB состоит из пяти основных частей [5].

1) Язык MATLAB. Это язык матриц и массивов высокого уровня с управлением потоками, функциями, структурами данных, вводом–выводом и особенностями объектно–ориентированного программирования.

2) Среда MATLAB. Это набор инструментов и приспособлений, с которыми работает пользователь или программист MATLAB. Она включает в себя средства для управления переменными в рабочем пространстве MATLAB, вводом и выводом данных, а также создания, контроля и отладки M–файлов и приложений MATLAB.

3) Управляемая графика. Это графическая система MATLAB, которая включает в себя команды высокого уровня для визуализации двух– и трехмерных данных, обработки изображений, анимации и иллюстрированной графики. Она также включает в себя команды низкого уровня, позволяющие полностью редактировать внешний вид графики, также как при создании Графического Пользовательского Интерфейса (GUI) для MATLAB приложений.

4) Библиотека математических функций. Это обширная коллекция вычислительных алгоритмов от элементарных функций, таких как сумма, синус, косинус, комплексная арифметика, до более сложных, таких как обращение матриц, нахождение собственных значений, функции Бесселя, быстрое преобразование Фурье.

5) Программный интерфейс.

Одно из достоинств системы MATLAB – обилие средств графики, начиная от команд построения простых графиков функций одной переменной в декартовой системе координат и кончая комбинированными и презентационными графиками с элементами анимации, а также средствами проектирования графического пользовательского интерфейса (GUI). Особое внимание в системе уделено трехмерной графике с функциональной окраской отображаемых фигур и имитацией различных световых эффектов.

Высокоуровневая графика (high-level graphics) позволяет пользователю получать результаты в графическом виде, прикладывая минимум усилий с использованием функций из командной строки [22].

Графика MATLAB

- Построение графиков точками и отрезками прямых.
- Графики в логарифмическом и полулогарифмическом масштабе.
- Гистограммы и диаграммы.
- Графики специальных типов.
- Создание массивов данных для трехмерной графики.
- Построение графиков трехмерных поверхностей, сечений и контуров.
- Средства управления подсветкой и обзором фигур.
- Средства оформления графиков.
- Одновременный вывод нескольких графиков.
- Управление цветовой палитрой.
- Окраска трехмерных поверхностей.

- Двумерные и трехмерные графические объекты.

Средства визуализации MATLAB являются одной из самых сильных его сторон. Во-первых, графическая галерея пакета предлагает огромный набор различных двумерных и трехмерных графиков, достаточный для визуализации самых разнообразных данных. С их помощью можно рисовать линии, поверхности, столбиковые и круговые диаграммы, диаграммы рассеяния и пр. При этом допускается выбирать цвет, заливку, толщину и способ отображения линий, поверхностей, сеток и векторных полей, масштаб (линейный или логарифмический) по любой из осей, систему координат и множество других параметров, необходимых для тонкой настройки графиков. Изображения можно дополнительно снабжать пояснительными надписями, графическими примитивами (рамки, стрелки и пр.) и даже сложными математическими формулами (типографского качества) за счет поддержки полного набора команд LaTeX, а после сохранять во внутреннем формате приложения (с расширением *.fig) либо в популярных графических форматах.

Таким образом, MATLAB является высокоэффективным средством для решения широкого спектра вычислительных задач и моделирования сложных процессов. В то же время пакет достаточно прост, поскольку выполнение большого числа операций осуществляется в дружественной среде, требующей зачастую лишь знания соответствующей предметной области. Поэтому MATLAB идеально подходит как для разработчиков, способных вникнуть в тонкости программирования, так и для инженеров, которым необходимо эффективное средство для решения прикладных задач, что в сочетании с мощностью и универсальностью пакета делает его уникальным продуктом в своем классе [6].

7.1 Аппроксимация экспериментальных данных

В ходе работы оцифрованные экспериментальные значения: распределения плотности плазмы, распределения плотности ионного тока, полученные для разных межэлектродных расстояний, были визуализированы в пакете MatLab.

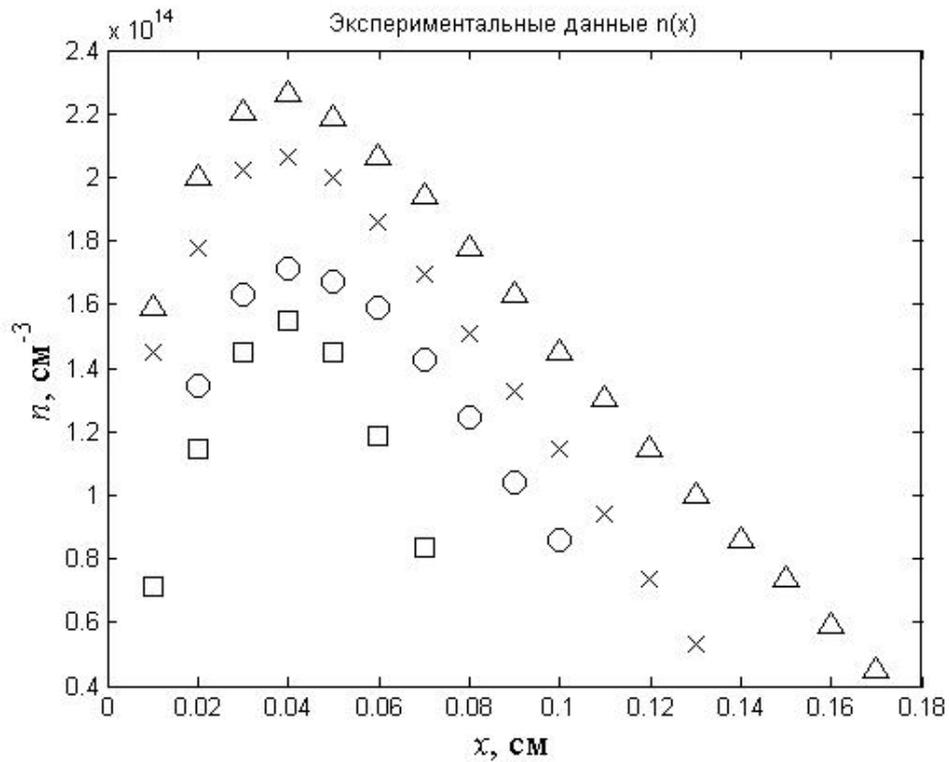


Рис.12 . Распределение плотности плазмы при разном межэлектродном расстоянии. \square – $d=0,08 \text{ cm}$, \circ – $0,12 \text{ cm}$, \times – $0,16 \text{ cm}$, \triangle – $0,20 \text{ cm}$.

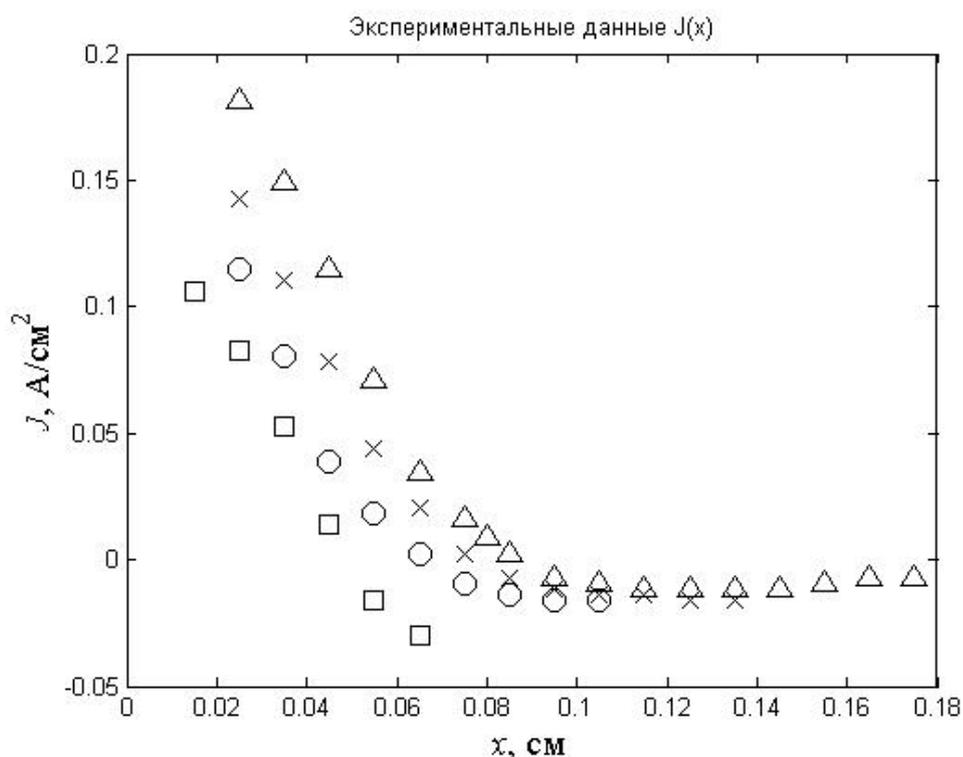


Рис.13 Распределение плотности ионного тока при разном межэлектродном расстоянии. \square – $d=0,08$ см, \circ – $0,12$ см, \times – $0,16$ см, \triangle – $0,20$ см.

В ходе работы были аппроксимированы экспериментальные данные плотности плазмы и плотности ионного тока.

На первом этапе исследования оцифрованы экспериментальные измерения плотности плазмы $n=n(x)$ для 4-х значений d . Далее эти данные были аппроксимированы с помощью разных функций (экспоненциальная, функция Гаусса, степенная функция, полиномы 2, 3 степени). Для того, чтобы определить, какой функцией можно наиболее точно описать поведение плотности плазмы, производилась оценка погрешности. Оценка погрешности осуществлялась на основе нахождения суммы квадратов ошибок (SSE). Близость этого критерия к нулю говорит о хорошем качестве приближения данных параметрической моделью. Исходя из вышесказанного, выявлено, что наиболее точно распределение плотности плазмы описывает полином 3ей степени.

В таблице 1 представлены значения среднеквадратического отклонения для 4х значений d .

Таблица 1. Среднеквадратические отклонения аппроксимирующих функций для плотности плазмы для 4х значений d.

	Exp	Gauss	Power2	Poly2	Poly3
d1 =	6.0977e+27	7.5492e+25	3.3654e+27	0.0173	0.0476
d2 =	5.6149e+27	1.5331e+26	1.5857e+27	0.0103	0.0376
d3 =	2.1386e+28	3.2516e+26	5.2701e+27	0.1506	0.0803
d4 =	2.6856e+28	7.5222e+26	6.6252e+27	0.1509	0.0435

Для аппроксимации экспериментальных данных плотности плазмы был выбран *полином третьей степени*, с помощью которого аппроксимировались экспериментальные данные плотности плазмы и использовалась специальная функция `fit(x', n_1', 'poly3')`, результаты которой были визуализированы на одном графике вместе с экспериментальными данными. Аппроксимация и визуализация экспериментальных данных плотности плазмы реализована в пакете MatLab. Скрипт программы представлен в Приложении Б.

Результат представлен на рис. 14.

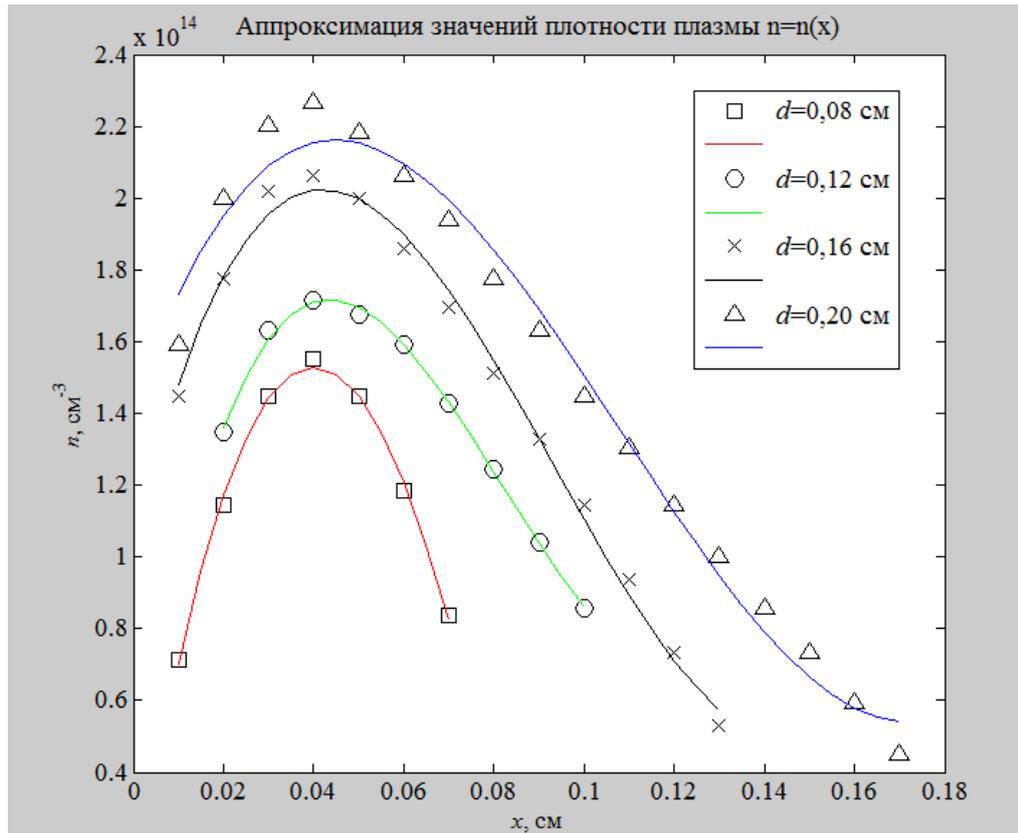


Рис. 14. Аппроксимация экспериментальных данных плотности плазмы при разном межэлектродном расстоянии. \square – $d=0,08$ см, \circ – $0,12$ см, \times – $0,16$ см, \triangle – $0,20$ см.

Также были взяты оцифрованные экспериментальные измерения плотности ионного тока $J_i = J_i(x)$ для 4-х значений d . Затем экспериментальные данные плотности ионного тока J_i были аппроксимированы с помощью разных функций (экспоненциальная, функция Гаусса, степенная функция, полиномы 2 и 3 степени). Для оценки погрешности находились суммы квадратов ошибок, как и для плотности плазмы. В ходе чего выявлено, что наиболее точно распределение плотности ионного тока описывает полином третьей степени. В табл. 2 представлены значения суммы квадратов ошибок (sse) различных аппроксимирующих функций для 4х значений d .

Таблица 2. Среднеквадратические отклонения аппроксимирующих функций для плотности ионного тока для 4х значений d.

	Exp	Gauss	Power2	Poly2	Poly3
d1 =	0.0028	0.0013	1.7534e-04	1.6077e-04	7.1302e-06
d2 =	0.0026	0.0016	2.8913e-04	7.6814e-05	3.6612e-05
d3 =	0.0047	0.0025	9.0460e-04	2.0431e-04	2.0630e-04
d4 =	0.0062	0.0023	0.0034	0.0023	5.5786e-04

Для аппроксимации экспериментальных данных плотности ионного тока был выбран *полином третьей степени*, с помощью которого аппроксимировались экспериментальные данные и использовалась специальная функция `fit(x', J_1', 'poly3')`, результаты которой были визуализированы на одном графике вместе с экспериментальными данными. Скрипт программы представлен в Приложении В.

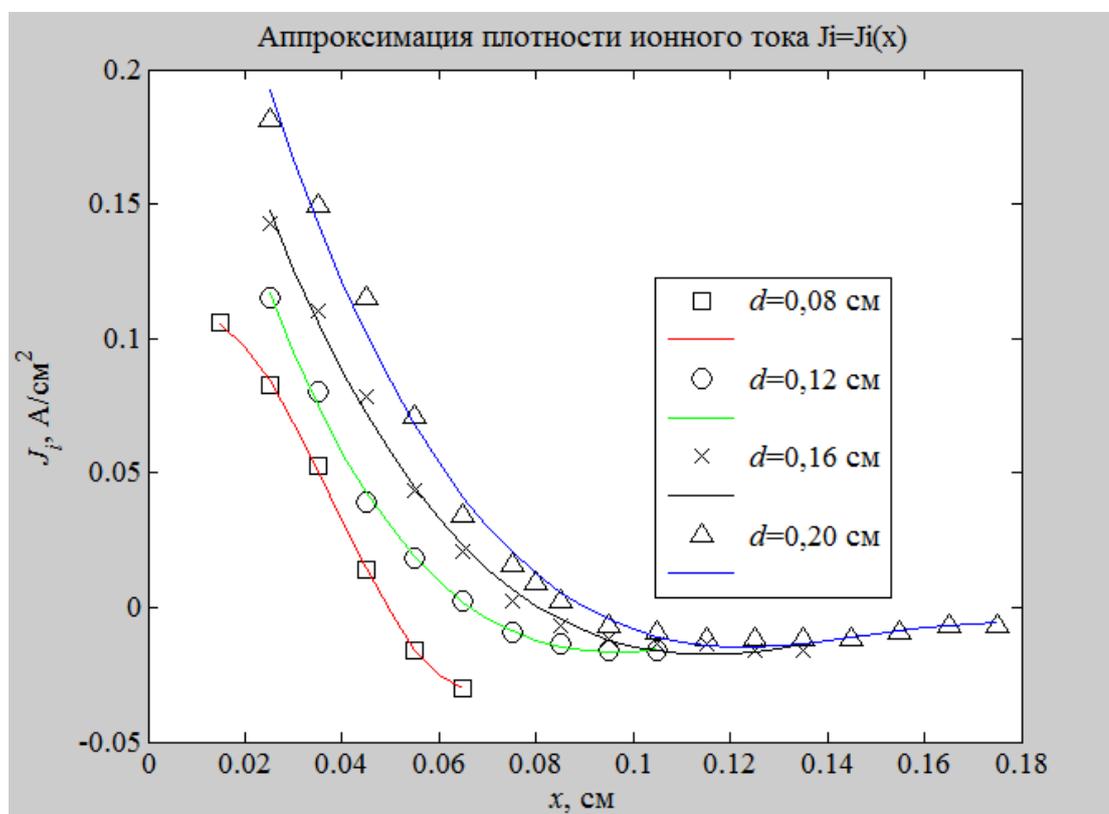


Рис. 15. Аппроксимация экспериментальных данных плотности ионного тока при разном межэлектродном расстоянии. □ – d=0,08 см, ○ – 0,12 см, × – 0,16 см, △ – 0,20 см.

Действительно на графиках видно, что выбранными полиномами можно довольно точно описать поведение плотности плазмы и плотности ионного тока в межэлектродном зазоре термоэмиссионного диода.

Анализируя графики аппроксимации экспериментальных данных, несложно заметить, что для всех значений межэлектродных зазоров (кроме одного, наименьшего $d=0,08$) существуют два режима: дуговой и диффузионный. Дуговой режим связан с существенным изменением плотности ионного тока на фазовой траектории, а в диффузионном режиме плотность ионного тока фактически не меняется. Для маленького межэлектродного зазора ($d=0,08$ см) область диффузионного режима отсутствует, всю область зазора занимает дуговая плазма, т.е. плазма с преимущественной генерацией ионов в объеме.

Рассмотрим подробнее распределение на примере плотности плазмы.

Экспериментальные значения в дуговом режиме ТЭП описываются квадратичным полиномом на отрезке $[0.01;0.08]$, а далее в диффузионном режиме они лучше описываются линейной функцией.

Для более точной аппроксимации, разобьем наши данные на два интервала и аппроксимируем каждый из них подходящей функцией.

Для аппроксимации области дугового режима возьмем квадратичный полином, а области диффузионного режима – линейную функцию.

Аппроксимацию квадратичным полиномом реализуем с помощью функции `fit(x', n', 'poly2')`, а аппроксимацию линейной функцией - `fit(x', n', 'linearinterp')`.

Результат аппроксимации представлен на рис. 16. Красными линиями изображена аппроксимация квадратичным полиномом, что соответствует дуговому режиму, а синими – линейная функция, которая показывает диффузионный режим ТЭП. Скрипт программы представлен в Приложении Г.

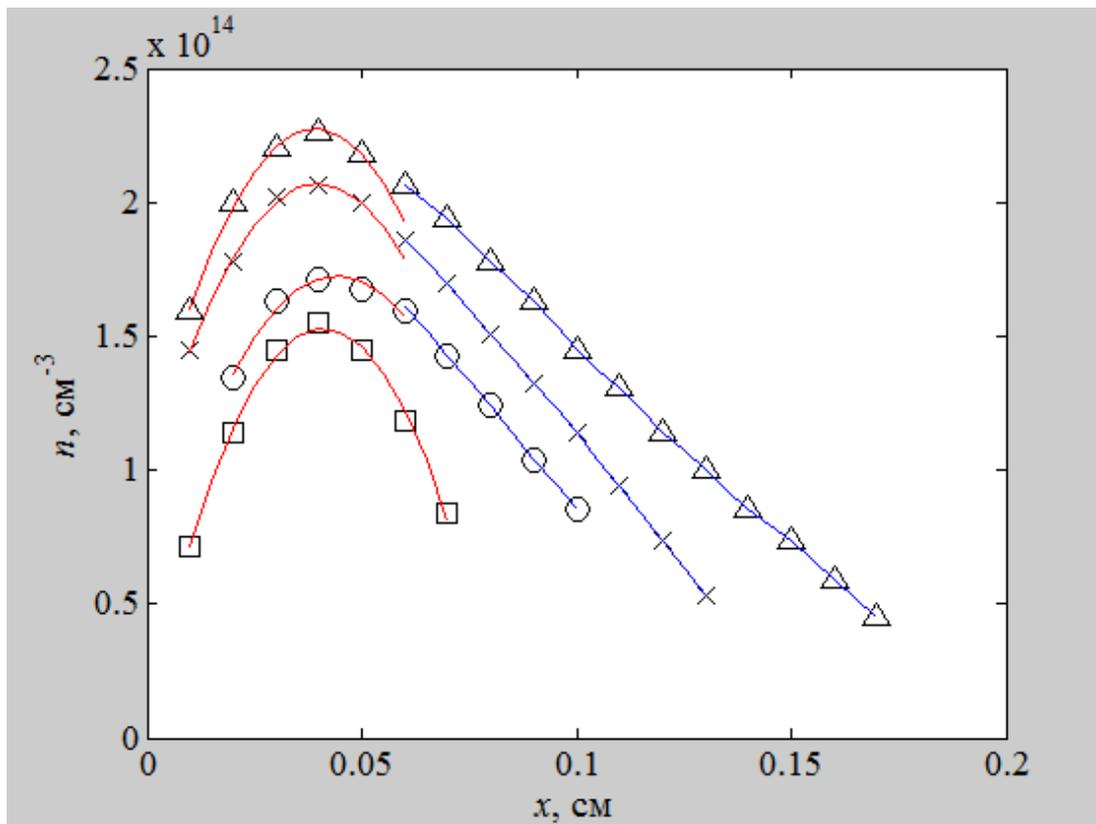


Рис.16 Аппроксимация различными функциями экспериментальных данных плотности плазмы при разном межэлектродном расстоянии. \square – $d=0,08$ см, \circ – $0,12$ см, \times – $0,16$ см, \triangle – $0,20$ см.

7.2 Поиск коэффициентов аппроксимации

Далее были найдены коэффициенты аппроксимации для плотности плазмы и плотности ионного тока с помощью команды `coef_type_fit=coeffvalues(fresult_t_fit)`

Коэффициенты для J_i

```
c_J_1 = 1.0e+03 *  
1.5751 -0.1808 0.0032 0.0001
```

```
c_J_2 =  
-187.7008 67.0540 -7.6950 0.2703
```

```
c_J_3 =  
-105.0886 47.1017 -6.6657 0.2862
```

```
c_J_4 =  
-122.8911 54.8912 -7.9210 0.3579
```

Коэффициенты для n

```
c_n_1 =  
1.0e+17 *  
2.2676 -1.1224 0.0789 0.0000
```

```
c_n_2 =  
1.0e+17 *  
4.7069 -1.1483 0.0732 0.0003
```

```
c_n_3 =  
1.0e+17 *  
2.8662 -0.8002 0.0520 0.0010
```

```
c_n_4 =  
1.0e+17 *  
1.5901 -0.5157 0.0366 0.0014
```

Используя данные коэффициенты, были найдены и записаны полиномы, описывающие поведение плотности плазмы для 4-х значений d :

```

%% n(x) 1
x_n_1 = 0:0.005:0.08;
y_n_1 =
c_n_1(1)*x_n_1.^3+c_n_1(2)*x_n_1.^2+c_n_1(3)*x_n_1+c_n_1(4);
%% n(x) 2
x_n_2 = 0:0.005:0.12;
y_n_2 =
c_n_2(1)*x_n_2.^3+c_n_2(2)*x_n_2.^2+c_n_2(3)*x_n_2+c_n_2(4);
%% n(x) 3
x_n_3 = 0:0.005:0.16;
y_n_3 =
c_n_3(1)*x_n_3.^3+c_n_3(2)*x_n_3.^2+c_n_3(3)*x_n_3+c_n_3(4);
%% n(x) 4
x_n_4 = 0:0.005:0.20;
y_n_4 =
c_n_4(1)*x_n_4.^3+c_n_4(2)*x_n_4.^2+c_n_4(3)*x_n_4+c_n_4(4);

```

Данные полиномы выведены на график:

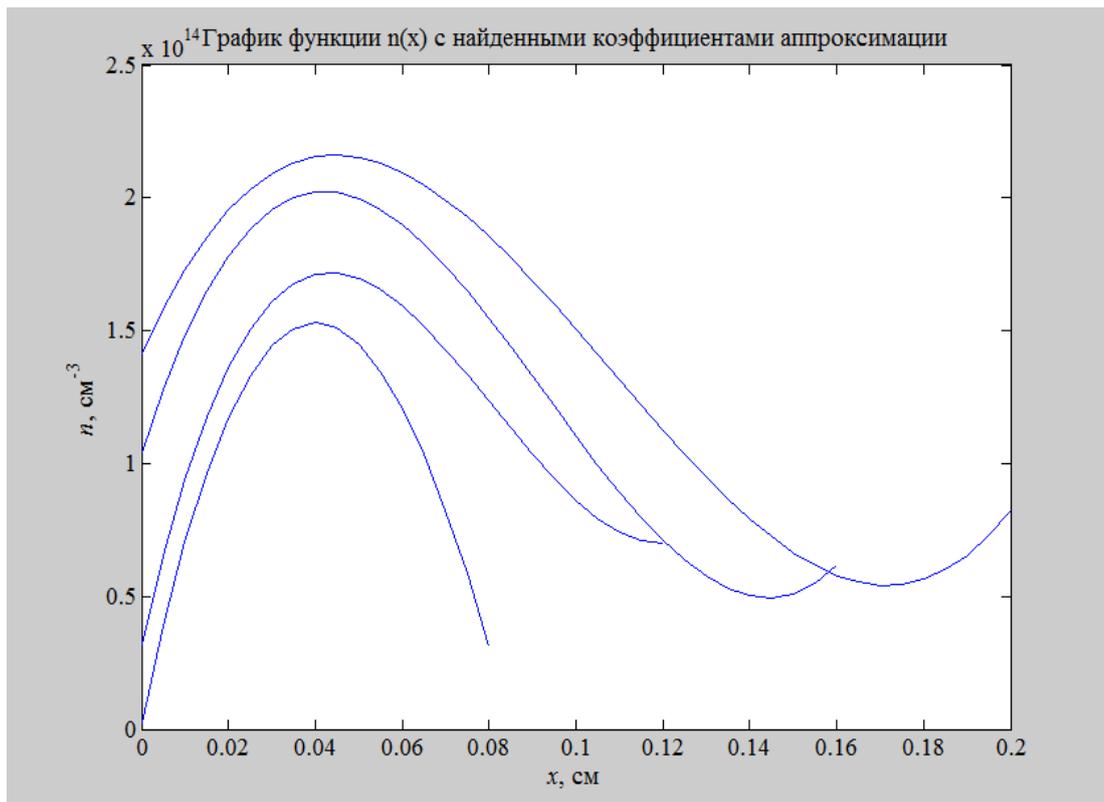


Рис.17 Полиномы третьей степени, с найденными коэффициентами аппроксимации, описывающие поведение плотности плазмы.

Также были найдены коэффициенты аппроксимации для плотности ионного тока. Используя данные коэффициенты, были найдены и записаны

полиномы, описывающие поведение плотности ионного тока для 4-х значений d :

```

%% J(x) 1
x_J_1 = 0:0.005:0.08;
y_J_1 =
c_J_1(1)*x_J_1.^3+c_J_1(2)*x_J_1.^2+c_J_1(3)*x_J_1+c_J_1(4);
%% J(x) 2
x_J_2 = 0:0.005:0.12;
y_J_2 =
c_J_2(1)*x_J_2.^3+c_J_2(2)*x_J_2.^2+c_J_2(3)*x_J_2+c_J_2(4);
%% J(x) 3
x_J_3 = 0:0.005:0.16;
y_J_3 =
c_J_3(1)*x_J_3.^3+c_J_3(2)*x_J_3.^2+c_J_3(3)*x_J_3+c_J_3(4);
%% J(x) 4
x_J_4 = 0:0.005:0.20;
y_J_4 =
c_J_4(1)*x_J_4.^3+c_J_4(2)*x_J_4.^2+c_J_4(3)*x_J_4+c_J_4(4);

```

Данные полиномы выведены на график:

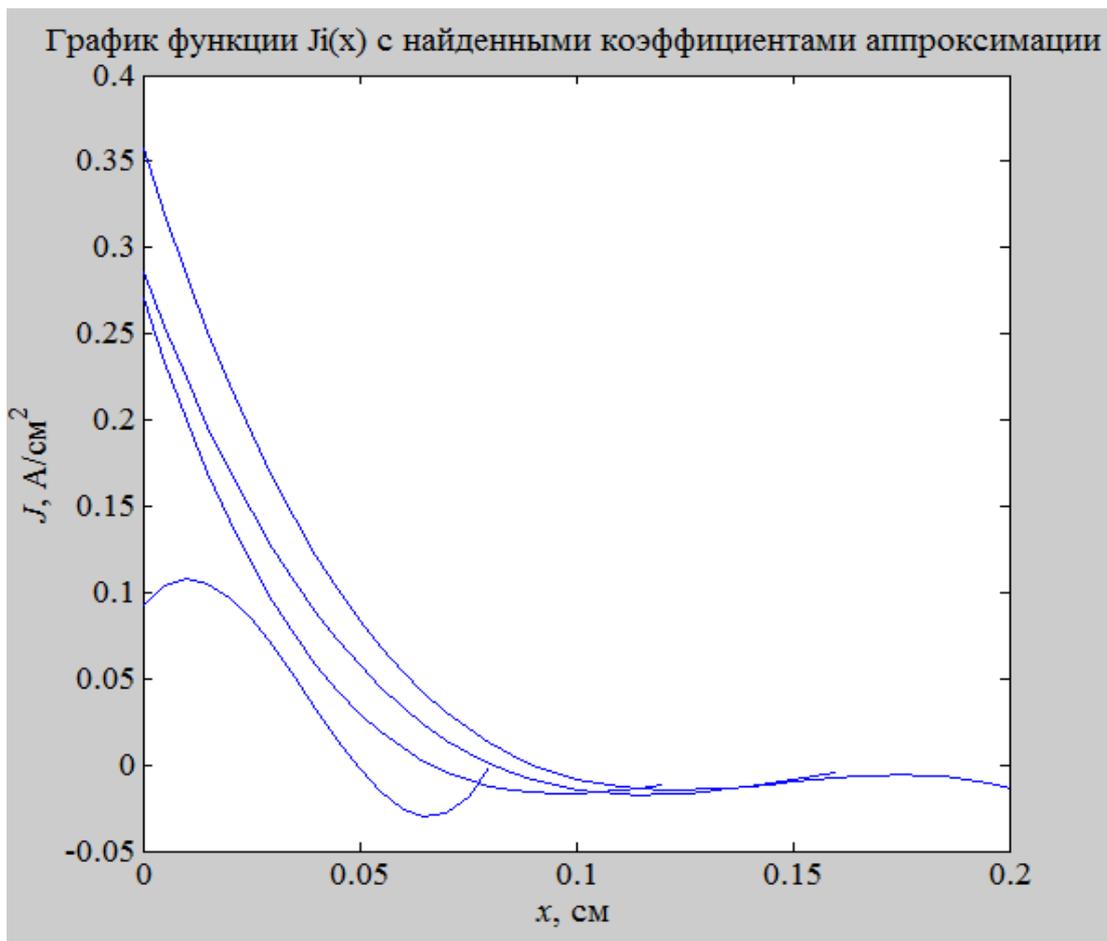


Рис.18 Полиномы третьей степени, с найденными коэффициентами аппроксимации, описывающие поведение плотности ионного тока.

Построив данные полиномы, мы получили значения $J_i(x)$ и $n(x)$ в одних и тех же точках. В следствии чего можно рассмотреть поведение $J_i(x)$ и $n(x)$ на фазовой плоскости (n, J_i) для дугового режима преобразователя ($d=0,08$ см)

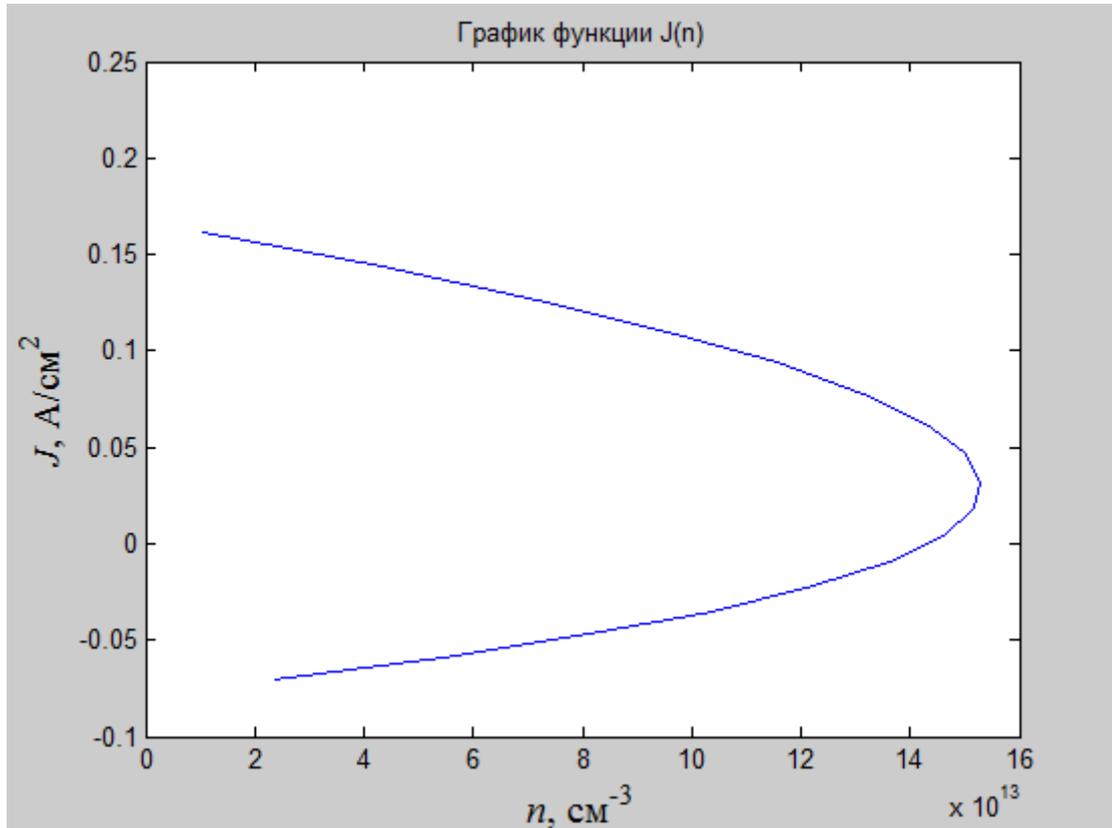


Рис.19 Поведение J_i и n на фазовой плоскости (n, J_i) .

Анализируя фазовый портрет, построенный на основе экспериментальных распределений параметров низкотемпературной плазмы, и фазовый портрет, который мы получили в ходе решения системы дифференциальных уравнений, описывающей поведение плотности плазмы и плотности ионного тока в межэлектродном зазоре ТЭП, можно сделать выводы, что они находятся в одной и той же области представления и имеют эллипсоидную форму представления. Также данный портрет имеет те же характеристики, что и теоритический фазовый портрет, представляющий собой совокупность вложенных эллипсов. Т.е. полученный портрет является одной из частей эллипса, а при варьировании параметров ТЭП, мы можем получать

другие части фазового портрета, полученные из модельных данных. Из этого можно сделать вывод, что решение системы, описывающей поведение плотности плазмы и плотности ионного тока, а также аппроксимация экспериментальных данных, получены верно.

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

Студенту:

Группа	ФИО
8Б51	Исакова Екатерина Александровна

Школа	ИШИТР	Отделение (НОЦ)	Информационных технологий
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	Прикладная математика и информатика

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<p>В данном проекте следует просчитать стоимость всех ресурсов научного исследования.</p> <p>Общий бюджет затрат не должен превышать 110000 рублей (с учетом материальных, энергетических, накладных затрат и т.д.).</p> <p>Человеческие ресурсы – 2 человека (руководитель и студент-дипломник).</p>
---	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<p>Данная научно-исследовательская работа финансируется за счет средств государственного бюджета и по характеру получаемых результатов относится к поисковым работам. При положительных результатах выводы поисковых работ могут быть использованы в научно-исследовательских работах прикладного характера.</p>
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<p>Согласно расчетам бюджет затрат на проведение НИР составляет 38032,21 р., включая затраты на заработную плату, страховые отчисления, электроэнергию и прочие накладные расходы.</p>
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<p>По результатам НИР были выполнены поставленные задачи. Однако, поскольку данная НИР относится к поисковым работам, то оценивать её эффективность преждевременно. Эффективность может быть определена только после проведения прикладных исследований, результатом которых будет получение конечного продукта.</p>

Перечень графического материала:

<ol style="list-style-type: none"> 1. График проведения и бюджет НИ 2. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ
--

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Подопригора Игнат Валерьевич	К.Э.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Б51	Исакова Екатерина Александровна		

8. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Для эффективного использования научного потенциала научно-исследовательской работы (НИР) необходимо прилагать усилия не только к непосредственно её разработке, но и к проведению её анализа с точки зрения экономических требований.

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» части выпускной квалификационной работы рассмотрены следующие вопросы:

- оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- планирование научно – исследовательской работы;
- расчёт бюджета научно – технического исследования.

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

Потенциальные потребители результатов исследования

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Целевой рынок – сегменты рынка, на котором будет продаваться в будущем разработка. В свою очередь, сегмент рынка – это особым образом выделенная часть рынка, группы потребителей, обладающих определенными общими признаками.

Сегментирование – это разделение покупателей на однородные группы, для каждой из которых может потребоваться определенный товар (услуга) [10]. Можно применять географический, демографический, поведенческий и иные критерии сегментирования рынка потребителей, возможно применение их комбинаций с использованием таких характеристик, как возраст, пол,

национальность, образование, любимые занятия, стиль жизни, социальная принадлежность, профессия, уровень дохода.

В зависимости от категории потребителей (коммерческие организации, физические лица) необходимо использовать соответствующие критерии сегментирования. Например, для коммерческих организаций критериями сегментирования могут быть: месторасположение; отрасль; выпускаемая продукция; размер и др.

Для физических лиц критериями сегментирования могут быть: возраст; пол; национальность; образование; уровень дохода; социальная принадлежность; профессия и др.

Из выявленных критериев целесообразно выбрать два наиболее значимых для рынка. На основании этих критериев строится карта сегментирования рынка.

Таблица 3 – Сегментация

	Выбор управляющего воздействия	Изучение закономерностей	Продолжение исследования
Энергетическая промышленность			
Научное сообщество, заинтересованное в продолжении исследований			

Очевидно, наиболее перспективным направлением является продолжение текущей работы, что позволит повысить качество выбора управляющего воздействия и подтвердить выявленные закономерности.

Планирование научно-исследовательских работ

Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;

- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

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

В данном разделе составлен перечень этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ, приведенный в таблице 4. Для выполнения научного исследования была сформирована рабочая группа, в состав которой входят 1 студент-дипломник и один руководитель.

Таблица 4 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Руководитель, инженер
	3	Выбор направления исследований	Руководитель
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Литературный обзор по теме исследования	Инженер
	6	Исследование полученных исходных данных	Инженер
	7	Выбор обобщенного критерия для оценки аппроксимирующих функций	Руководитель, инженер
	8	Программная реализация	Инженер
	9	Исследование математической модели данных	Инженер
	10	Построение результатов исследования математической модели данных	Инженер
	11	Программирование, отладка	Инженер
Оформление отчета по НИР	12	Составление пояснительной записки	Руководитель, инженер

Определение трудоемкости выполнения работ

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

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

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

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

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

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

Ожидаемая трудоёмкость выполнения первой работы:

$$t_{ожі} = \frac{3 * 5 + 2 * 7}{5} = 6$$

Аналогичным образом просчитываем ожидаемую трудоёмкость выполнения для всех остальных работ. Расчеты $t_{ожі}$ занесены в таблицу 4.

Для выполнения перечисленных в таблице 2 работ требуются специалисты:

- инженер-дипломник (И);
- научный руководитель (Р).

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая

параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

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

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

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

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

Продолжительность первой работы:

$$T_{pi} = \frac{6}{1} = 6$$

Аналогичным образом просчитываем продолжительности выполнения для всех остальных работ. Расчеты t_{pi} занесены в таблицу 3.

Разработка графика проведения научного исследования

Наиболее удобным и наглядным способом отслеживания выполнения проектной работы является диаграмма Ганта.

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

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

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

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

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

$k_{кал}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

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

где $T_{\text{КАЛ}}$ – календарные дни ($T_{\text{КАЛ}} = 365$);

$T_{\text{ВД}}$ – выходные дни ($T_{\text{ВД}} = 52$);

$T_{\text{ПД}}$ – праздничные дни ($T_{\text{ПД}} = 14$).

$$T_{\text{К}} = \frac{365}{365 - 52 - 14} = 1,220$$

Продолжительность выполнения первой работы в календарных днях:

$$T_{\text{кi}} = 6 * 1,220 = 7$$

Аналогичным образом просчитываем продолжительность выполнения для всех остальных работ в календарных днях. Расчеты $T_{\text{кi}}$ занесены в таблицу 3.

Временные показатели проведения научного исследования представлены в таблице 5.

Условные обозначения: научный руководитель (р), инженер-дипломник (и).

Таблица 5 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость						Длительность работ в рабочих днях		Длительность работ в календарных днях	
	t		t		t		р	и	р	и
	min	max	min	max	min	max				
Составление и утверждение технического задания							6	0	7	0
Подбор и изучение материалов по теме	5	15	7	19	6	17	3	8	4	10
Выбор направления исследований	3	0	5	0	4	0	4	0	5	0

Название работы	Трудоемкость						Длительность работ в рабочих днях		Длительность работ в календарных днях	
	t		t		t		р	и	р	и
	min		max		ожд					
Календарное планирование работ по теме	2	3	4	6	3	4	1	2	2	3
Литературный обзор по теме исследования	0	5	0	10	0	7	0	7	0	9
Исследование полученных исходных данных	0	7	0	10	0	8	0	8	0	10
Выбор обобщенного критерия для оценки аппроксимирующих функций	6	6	10	10	8	8	4	4	5	5
Программная реализация	0	10	0	13	0	11	0	11	0	14
Исследование математической модели данных	0	4	0	7	0	5	0	5	0	6
Построение результатов исследования математической модели данных	0	15	0	21	0	17	0	17	0	21
Программирование, отладка	0	7	0	15	0	10	0	10	0	12
Составление пояснительной записки	5	15	7	20	6	17	3	9	4	10

На основе таблицы 5 построен календарный план-график для максимального по длительности исполнения работ в рамках выполняемого проекта. В таблице 6 разбивка по дням за период времени дипломирования.

Таблица 6 – Календарный план работы

Название работы	сполнител	К _т , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ															
			февр.			март			апрель			май			июнь			
Составление и утверждение технического задания			□															
Подбор и изучение материалов по теме		0		□	■													
Выбор направления исследований						□												
Календарное планирование работ по теме							□	■										
Литературный обзор по теме исследования								■										
Исследование полученных исходных данных								■										
Выбор обобщенного критерия для оценки аппроксимирующих функций								□	■									
Программная реализация		4							■	■	■							
Исследование математической модели данных		0									■	■						
Построение результатов исследования математической модели данных		1										■	■	■				
Программирование, отладка		2													■	■		

основных средств и прочее), а также запасные части для ремонта оборудования, износа инструментов, приспособлений, инвентаря, приборов, лабораторного оборудования и других средств труда, не относимых к основным средствам, износ спецодежды и других малоценных и быстроизнашивающихся предметов;

- покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, подвергающиеся в дальнейшем монтажу или дополнительной обработке;

- сырье и материалы, покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, используемые в качестве объектов исследований (испытаний) и для эксплуатации, технического обслуживания и ремонта изделий – объектов испытаний (исследований);

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

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

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

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

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

Π_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./ м^2 и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

$$Z_M = (1 + 0) * \sum_{i=1}^1 4 * 130,9 = 523,6$$

Значения цен на материальные ресурсы могут быть установлены по данным, размещенным на соответствующих сайтах в Интернете предприятиями-изготовителями (либо организациями-поставщиками).

Величина коэффициента (kT), отражающего соотношение затрат по доставке материальных ресурсов и цен на их приобретение, зависит от условий договоров поставки, видов материальных ресурсов, территориальной удаленности поставщиков и т.д. Транспортные расходы принимаются в пределах 15-25% от стоимости материалов.

Материальные затраты представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (Зм), руб.
Электроэнергия	кВт	130,9	4	523,6
Итого				523,6

Общая стоимость материальных затрат данного проекта составила 523,6 рублей.

Основная заработная плата исполнителей темы

Основная заработная плата руководителя рассчитывается на основании отраслевой оплаты труда (оклад, стимулирующие выплаты, районный коэффициент).

Для студента-дипломника основную заработную плату составляет государственная стипендия, а также повышенная академическая стипендия с учетом районного коэффициента.

Для расчета основной заработной платы необходимо привести действительный годовой фонд рабочего времени руководителя и студента.

Таблица 8 – Баланс времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент-дипломник
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней (выходные дни и праздничные дни)	52 и 14	104 и 14

Потери рабочего времени (отпуск, больничные)	48	24
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	223

Таблица 9 – Расчет основной заработной платы

Исполнитель	Тарифная заработная плата	Районный коэффициент	Месячный должностной оклад работника	Среднедневная заработная плата	Продолжительность работ	Заработная плата основная
Руководитель	17000	1,3	22100	737	18	13260
Студент	7661	1,3	-	-	-	9960
Итого:						23220

Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.). Расчёт дополнительной заработной платы приведён в таблице 8.

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}}, \quad (7)$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15). Примем коэффициент равный 0,15.

$$Z_{\text{доп}} = 23220 * 0,15 = 3483$$

Таблица 10 – Расчёт дополнительной заработной платы

Исполнитель	$Z_{\text{осн}}$, руб	$k_{\text{доп}}$	$Z_{\text{доп}}$, руб
Руководитель	23220	0,15	3483
Итого			26703

Общая сумма дополнительной заработной платы участников проекта составила 3483 рубля.

Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (8)$$

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

Для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2019 году водится пониженная ставка 28% (в соответствии с п. 6 ч. 1 ст. 58 Закона 212-ФЗ).

Результаты расчета отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 11.

Таблица 11 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата
Руководитель проекта	13960	3483
Студент-дипломник	9600	-
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,28	
Итого:	3908,8	975,24

Накладные расходы

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

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 4) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (9)$$

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

Величину коэффициента накладных расходов будем брать в размере 16%.

$$Z_{\text{накл}} = (523,6 + 27588,61 + 2884,51 + 6013,11) \cdot 0,16 = 5921,57$$

Общая сумма накладных расходов проекта составила 5921,57 рублей.

Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

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

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект приведен в таблице 12.

Таблица 12 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
1. Материальные затраты	523,6
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	23220
3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	3483
4. Отчисления во внебюджетные фонды	4884,04
5. Накладные расходы	5921,57
6. Бюджет затрат НИИ	38032,21

Общая сумма бюджета затрат проекта составила 38032,21 рублей.

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

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

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат научного исследования (см. табл. 9). Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}} = \frac{\Phi_p}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (10)$$

где $I_{\text{финр}}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_p – стоимость i -го варианта исполнения;

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

Максимальная стоимость составляет 60000 рублей, следовательно:

$$I_{\text{финр}} = \frac{38032,21}{60000} = 0,63$$

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки составила 0,63, что отражает соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах.

Интегральный показатель ресурсоэффективности исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_p = \sum a * b, \quad (11)$$

где I_p – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a – весовой коэффициент;

b – балльная оценка, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в таблице 13.

Таблица 23 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Оценка выполнения
1. Улучшение производительности труда заказчика	0,3	5
2. Функциональная мощность	0,15	4
3. Удобство в эксплуатации	0,20	5
4. Потребность в ресурсах памяти	0,15	5
5. Надежность	0,20	4
ИТОГО	1	

$$I_p = 5*0,3+4*0,15+5*0,2+5*0,15+4*0,20 = 4,65;$$

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

$$I_{\text{исп}} = \frac{I_p}{I_{\text{финр}}} \quad (12)$$

$$I_{\text{исп}} = \frac{4,65}{0,63} = 7,38$$

Полученное значение интегрального показателя эффективности исполнения разработки превысил максимальный балл в системе оценивания. Это говорит о том, что результат работы можно считать положительным, так как оценка интегрального показателя ресурсоэффективности близка к максимальной.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
8Б51	Исакова Екатерина Александровна

Школа	ИШИТР	Отделение (НОЦ)	Информационных технологий
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	Прикладная математика и информатика

Тема ВКР:

Исследование на фазовых плоскостях экспериментальных распределений параметров плазмы в областях самоорганизации	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p>Исследование на фазовых плоскостях экспериментальных распределений параметров низкотемпературной плазмы. Низкотемпературная плазма используется:</p> <ul style="list-style-type: none"> - В качестве теплоносителя при создании плазмотрона; - При создании источников связи; - В плазмохимических процессах; - При преобразовании тепловой энергии в химическую; - При газоочистительных процессах; <p>Для обработки поверхностей с целью стерилизации.</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<ul style="list-style-type: none"> - Рабочее место при выполнении работ сидя регулируется ГОСТом 12.2.032 – 78 - Организация рабочих мест с электронно-вычислительными машинами регулируется СанПиНом 2.2.2/2.4.1340 – 03
<p>2. Производственная безопасность:</p> <p>2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов</p>	<p>Анализ выявленных вредных факторов:</p>

<p>2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p>	<p>Отклонение показателей микроклимата</p> <ul style="list-style-type: none"> - Недостаточная освещенность рабочей зоны - Повышенный уровень шума на рабочем месте <p>Анализ выявленных опасных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Электрический ток
<p>3. Экологическая безопасность:</p> <ul style="list-style-type: none"> - защита селитебной зоны - анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); - анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); - анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); <p>разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Анализ негативного воздействия на окружающую природную среду: утилизация люминесцентных ламп, компьютеров и другой оргтехники, потребление электроэнергии, вырабатываемой на электростанциях, сопровождаемых выбросами различных вредных веществ в окружающую среду.
<p>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> - перечень возможных ЧС на объекте; - выбор наиболее типичной ЧС; - разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; - разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; <p>разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий</p>	<p>Возможные ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения: пожар, морозы. Наиболее типичная ЧС: пожар в результате замыкания.</p>

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент ООТД	Мезенцева И.Л.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Б51	Исакова Екатерина Александровна		

9. Социальная ответственность

Введение

В данном разделе проанализированы проблемы, связанные с организацией рабочего места инженера – программиста в соответствии с нормами производственной санитарии, техники безопасности, охраны труда и окружающей среды. Все вышеупомянутые аспекты регламентируются рядом соответствующих документов.

Рабочая зона программиста – офисное помещение, рабочее место – компьютерный стол с персональным компьютером.

Объект исследования – параметры низкотемпературной плазмы в термоэмиссионном преобразователе (ТЭП).

Научно-исследовательская работа заключалась в исследовании поведения плотности плазмы и плотности ионного тока в ТЭП. Работа выполнялась с использованием ЭВМ. Экспериментальные данные взяты из открытого источника – научного журнала [1].

В разделе будут рассмотрены опасные и вредные факторы, оказывающие влияние на производственную деятельность технологического персонала, работающего с автоматизированной системой управления технологическим процессом, рассмотрены воздействия разрабатываемой системы на окружающую среду, правовые и организационные вопросы, а также мероприятия в чрезвычайных ситуациях.

9.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Специальные правовые нормы трудового законодательства

Нормы трудового права – это правила трудовых отношений, установленные или санкционированные государством посредством законодательных актов.

Рабочее место должно быть организовано в соответствии ГОСТ 12.2.032-78 «Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования» и СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы». При проектировании рабочих мест должны быть учтены ряд факторов: освещенность, шум, температура, влажность, наличие электромагнитных полей и другие санитарно-гигиенические требования.

Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Эргономическими аспектами проектирования видеотерминальных рабочих мест, в частности, являются: высота рабочей поверхности, размеры пространства для ног, требования к расположению документов на рабочем месте, характеристики рабочего кресла, требования к поверхности рабочего стола, регулируемость элементов рабочего места.

Главными элементами рабочего места программиста или оператора являются стол и кресло. Основным рабочим положением является положение сидя.

Моторное поле - пространство рабочего места, в котором могут осуществляться двигательные действия человека.

Максимальная зона досягаемости рук - это часть моторного поля рабочего места, ограниченного дугами, описываемыми максимально вытянутыми руками при движении их в плечевом суставе.

Оптимальная зона - часть моторного поля рабочего места, ограниченного дугами, описываемыми предплечьями при движении в локтевых суставах с опорой в точке локтя и с относительно неподвижным плечом.

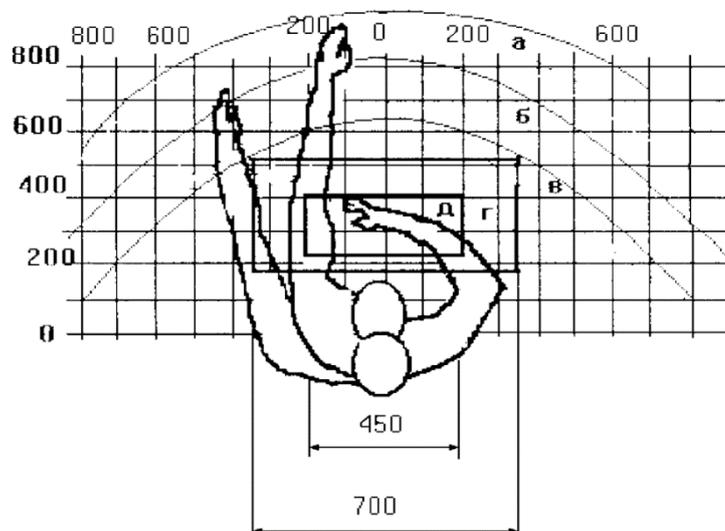


Рисунок 20 - Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости

- а - зона максимальной досягаемости;
- б - зона досягаемости пальцев при вытянутой руке;
- в - зона легкой досягаемости ладони;
- г - оптимальное пространство для грубой ручной работы;
- д - оптимальное пространство для тонкой ручной работы.

Оптимальное размещение предметов труда и документации в зонах досягаемости:

- дисплей размещается в зоне "а" (в центре);
- системный блок размещается в предусмотренной нише стола;
- клавиатура - в зоне "г"/"д";
- манипулятор "мышь" - в зоне "в" справа;
- документация: необходимая при работе - в зоне легкой досягаемости ладони – "в", а в выдвижных ящиках стола - литература, неиспользуемая постоянно.

Для комфортной работы стол должен удовлетворять следующим условиям:

- высота стола должна быть выбрана с учетом возможности сидеть свободно, в удобной позе, при необходимости опираясь на подлокотники;
- нижняя часть стола должна быть сконструирована так, чтобы программист не был вынужден поджимать ноги;
- поверхность стола должна обладать свойствами, исключающими появление бликов в поле зрения программиста;
- конструкция стола должна предусматривать наличие выдвижных ящиков (не менее 3 для хранения документации, листингов, канцелярских принадлежностей).
- высота рабочей поверхности рекомендуется в пределах 680-760 мм. Высота поверхности, на которую устанавливается клавиатура, должна быть около 650 мм.

Большое значение придается характеристикам рабочего стула (кресла).

Рабочий стул (кресло) должен быть подъемно-поворотным и регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а также регулируемым по расстоянию спинки от переднего края сиденья.

Кресло следует устанавливать на такой высоте, чтобы не чувствовалось давления на копчик (это может быть при низком расположении кресла) или на бедра (при слишком высоком).

Работающий за ПЭВМ должен сидеть прямо, опираясь в области нижнего края лопаток на спинку кресла, не сутулясь, с небольшим наклоном головы вперед (до 5-7°). Предплечья должны опираться на поверхность стола, снимая тем самым статическое напряжение плечевого пояса и рук.

Положение экрана определяется:

- расстоянием считывания (0,6...0,7 м);
- углом считывания, направлением взгляда на 20° ниже горизонтали к центру экрана, причем экран перпендикулярен этому направлению.

Большое значение также придается правильной рабочей позе пользователя. При неудобной рабочей позе могут появиться боли в мышцах, суставах и сухожилиях.

Требования к рабочей позе пользователя видеотерминала следующие:

- голова не должна быть наклонена более чем на 20°;
- плечи должны быть расслаблены;
- локти - под углом 80°...100°;
- предплечья и кисти рук - в горизонтальном положении.

Создание благоприятных условий труда и правильное эстетическое оформление рабочих мест на производстве имеет большое значение как для облегчения труда, так и для повышения его привлекательности, положительно влияющей на производительность труда.

9.2 Производственная безопасность

Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования

Согласно ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» неблагоприятные производственные факторы по результирующему воздействию на организм работающего человека подразделяют на:

- вредные производственные факторы, то есть факторы, приводящие к заболеванию, в том числе усугубляющие уже имеющиеся заболевания;
- опасные производственные факторы, то есть факторы, приводящие к травме, в том числе смертельной.

Перечень опасных и вредных факторов, влияющих на персонал в заданных условиях деятельности, представлен в таблице 14.

Таблица 14 – Перечень опасных и вредных факторов технологии производства

Источник	Факторы	Нормативные
-----------------	----------------	--------------------

фактора, наименование видов работ	Вредные	Опасные	документы
<ul style="list-style-type: none"> • Работа с ПЭВМ; • Система отопления; • Система вентиляции; • Источник освещения. 	<p>Отклонение показателей микроклимата; Недостаточная освещенность рабочей зоны; Повышенный уровень шума</p>	<p>Электрический ток.</p>	<p>СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений СП 52.13330.2016 <i>Естественное и искусственное освещение.</i> Актуализированная редакция СНиП 23-05-95* СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки; Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы, СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03; Защитное заземление, зануление, ГОСТ 12.1.030–81 ССБТ.</p>

Анализ вредных и опасных факторов

Отклонение показателей микроклимата. Значимым физическим фактором является микроклимат рабочей зоны (температура, влажность и скорость движения воздуха).

Температура, относительная влажность и скорость движения воздуха влияют на теплообмен и необходимо учитывать их комплексное воздействие. Нарушение теплообмена вызывает тепловую гипертермию, или перегрев.

В соответствии с СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений работа программиста соответствует категории работ *Ia* (работы с интенсивностью энерготрат до 120 ккал/ч (до 139 Вт), производимые сидя и сопровождающиеся незначительным физическим напряжением)[16].

Оптимальные параметры микроклимата приведены в таблице 15

Таблица 15 – Оптимальные параметры микроклимата

Сезон	Температура воздуха, t [°C]	Температура поверхностей, t [°C]	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, [м/с]
Холодный и переходный (средне суточная температура меньше 10°C)	22-24	21 - 25	40-60	0,1
Теплый (среднесуточная температура воздуха 10°C и выше)	23-25	22-26	40-60	0,1

Таблица 16 - Допустимые величины показателей микроклимата по СанПиН

2.2.2.548-96

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С		Температура поверхности, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	
		диапазон ниже оптимальных величин	диапазон выше оптимальных величин			для диапазона температур воздуха ниже оптимальных величин, не более	для диапазона температур воздуха выше оптимальных величин, не более**
Холодный	Ia (до 139)	20,0-21,9	24,1-25,0	19,0-26,0	15-75*	0,1	0,1
Теплый	Ia (до 139)	21,0-22,9	25,1-28,0	20,0-29,0	15-75*	0,1	0,2

В случае несоответствия показателей микроклимата установленным нормам необходимо прибегнуть к мерам по их оптимизации [17]:

- установка кондиционеров и обогревателей в рабочих помещениях;
- усовершенствование, ремонт вентиляционной и отопительной систем.

Недостаточная освещенность рабочей зоны. Освещение рабочего места – важнейший фактор создания нормальных условий труда. Освещению следует уделять особое внимание, так как при работе наибольшее напряжение получают глаза. Освещённость на рабочем месте должна соответствовать характеру зрительной работы, который определяется наименьшим размером объекта различения, контрастом объекта с фоном и характеристикой фона.

Актуализированная редакция СНиП 23-05-95* освещенность при разработке алгоритма должна составлять 300-500 лк. Освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана. Освещенность поверхности экрана не должна превышать 300 лк. Коэффициент пульсации не должен превышать 5%.

Для искусственного освещения помещений с персональными компьютерами следует применять светильники типа ЛПО36 с зеркализированными решетками, укомплектованные высокочастотными пускорегулирующими аппаратами. Допускается применять светильники прямого света, преимущественно отраженного света типа ЛПО13, ЛПО5, ЛСО4, ЛПО34, ЛПО31 с люминисцентными лампами типа ЛБ. Допускается применение светильников местного освещения с лампами накаливания. Светильники должны располагаться в виде сплошных или прерывистых линий сбоку от рабочих мест параллельно линии зрения пользователя при разном расположении компьютеров.

Превышение уровня шума. При работе с ПЭВМ основными источниками шума являются:

- вентиляторы и кулеры системных блоков, находящихся в комнате;
- жесткие диски и системные блоки.

Также могут иметься иные источники шума, находящиеся за пределами рабочего помещения (строительные работы, массовые мероприятия и т.д.).

В соответствии с СН 2.2.4/2.1.8.562–96. «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки» при выполнении основной работы на ПЭВМ уровень шума на рабочем месте не должен превышать 50 дБА [14]. Допустимые значения уровней звукового давления, создаваемого ПЭВМ приведены в таблице 17.

Таблица 17 – Допустимые значения уровней звукового давления

Уровни звукового давления в октавных полосах со среднегеометрическими частотами									Уровни звука в дБА
31,5 Гц	63 Гц	125 Гц	250 Гц	500 Гц	1000 Гц	2000 Гц	4000 Гц	8000 Гц	
86 дБ	71 дБ	61 дБ	54 дБ	49 дБ	45 дБ	42 дБ	40 дБ	38 дБ	50

В случае несоответствия показателей шума установленным нормам, необходимо прибегнуть к мерам по их оптимизации:

- замена компонент ЭВМ на менее шумные аналоги;
- установка звуконепроницаемых окон и дверей.

Электрический ток. Поражение электрическим током организма человека носит название электро-травмы. Проходя через организм человека, электрический ток оказывает термическое, электролитическое и биологическое действие[11]. Степень опасного воздействия на человека электрического тока зависит от [21]:

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

Выпускная квалификационная работа (ВКР) выполнялась в аудитории КЦ–105 НИ ТПУ, так как там имелось все необходимое техническое оборудование для разработки и реализации программ и алгоритмов, представленных в ВКР. Согласно ПУЭ аудиторию КЦ–105 НИ ТПУ, степени опасности поражения электрическим током можно отнести к классу помещений без повышенной опасности.

Электромагнитное поле, создаваемое ПК, имеет сложный спектральный состав в диапазоне частот от 0 Гц до 1000 МГц, и в том числе мощность экспозиционной дозы мягкого рентгеновского излучения в любой точке на расстоянии 0,05 м от экрана при любых положениях ПК не должна превышать 100 мкР/час[19].

Основными мероприятиями по защите от электропоражения являются [22]:

- обеспечение недоступности токоведущих частей путем использования изоляции в корпусах оборудования;
- применение средств коллективной защиты от поражения электрическим током;

- защитного заземления, зануления (ГОСТ 12.1.030–81 ССБТ.);
- защитного отключения;
- использование устройств бесперебойного питания.

9.3. Экологическая безопасность

Рассмотрим загрязнения литосферы в результате исследовательской деятельности бытовым мусором, на примере люминесцентных ламп. Их эксплуатация требует осторожности и четкого выполнения инструкции по обращению с данным отходом (код отхода 35330100 13 01 1, класс опасности – 1). В данной лампе содержится опасное вещество ртуть в газообразном состоянии. При не правильной утилизации, лампа может разбиться и пары ртути могут попасть в окружающую среду. Вдыхание паров ртути может привести к тяжелому повреждению здоровья. Отработанные люминесцентные лампы сдаются только на полигон токсичных отходов для захоронения. Запрещается сваливать отработанные люминесцентные лампы с мусором.

Также при эксплуатации ЭВМ и ее комплектующих потребляется электрическая энергия, выработка которой осуществляется на электростанциях и сопровождается выбросами различных вредных веществ в окружающую среду. Чем больше электропотребление – тем крупнее выбросы. Однако с точки зрения потребления ресурсов компьютер потребляет сравнительно небольшое количество электроэнергии, что положительным образом сказывается на общей экономии потребления электроэнергии.

9.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Перечень возможных ЧС на объекте исследования может быть достаточно широк. Ограничиваясь местоположением объекта и условиями его эксплуатации, его можно представить следующим (ориентировочным) вариантом:

- морозы;

- удар молнии;
- пожар;
- взрыв.

В этом разделе наиболее актуальным будет рассмотрение вида ЧС – пожар. Причиной возникновения пожара при разработке программного приложения может служить:

- неисправность проводки или электрического оборудования;
- короткое замыкание в одной из составляющих ЭВМ;
- несоблюдение правил пожарной безопасности.

Обязательные меры по предотвращению возникновения возгорания:

- разработка, внедрение и контроль над соблюдением пожарных норм и правил;
- проведение противопожарного инструктажа;
- содержание в готовности противопожарных средств;
- регулярное проведение пожарно-технических обследований;
- использование электрических приборов и ЭВМ в только соответствии с инструкцией по эксплуатации.

При возникновении пожара человек, обнаруживший пожар, обязан [20]:

1. Немедленно сообщить в пожарную охрану по телефону 01.
2. Сообщить о случившемся дежурному персоналу.

Помещение (КЦ НИ ТПУ) оборудовано пожарными извещателями, которые позволяют оповестить дежурный персонал о пожаре. В качестве пожарных извещателей в помещении устанавливаются дымовые фотоэлектрические извещатели типа ИДФ-1 или ДИП-1.

Ответственность за нарушение Правил пожарной безопасности, согласно действующему федеральному законодательству, несет руководитель объекта.

Выводы по разделу «Социальная ответственность»

В данном разделе были рассмотрены опасные и вредные факторы на рабочем месте инженера-программиста. При соблюдении условий, определяющих оптимальную организацию рабочего места программиста, можно сохранить хорошую работоспособность в течение всего рабочего дня, повысить производительность труда, а также не нанести какого-либо ущерба здоровью.

Работа с ЭВМ можно отнести к экологически безопасным видам деятельности, если должным образом утилизировать отходы данной деятельности.

В отношении чрезвычайных ситуаций данный вид деятельности в данной территориальной местности не опасен, так как нет высокой вероятности большинства природных катаклизмов (наводнения, землетрясения, засухи, ураганы и т. д.) Наиболее возможной ЧС являются пожары. При соблюдении обязательных мер безопасности, их можно избежать.

Таким образом, чтобы избежать вредного воздействия при работе с ЭВМ необходимо соблюдать соответствующие меры безопасности, правильно планировать рабочее место и режим работы.

Заключение

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы были проанализированы решения краевой задачи для системы обыкновенных дифференциальных уравнений, описывающей поведение плотности плазмы и плотности ионного тока в межэлектродном зазоре термоэмиссионного преобразователя. Были оцифрованы и аппроксимированы экспериментальные распределение плотности плазмы и плотности ионного тока. Далее отображены на фазовой плоскости (n, J_i) экспериментальные распределения параметров плазмы и решение краевой задачи, описывающей поведение параметров плазмы. Выявлены дуговой и диффузионный режимы термоэмиссионного преобразователя.

В результате был реализован подход построения фазовых портретов экспериментальных распределений параметров плазмы, который позволяет осуществить анализ механизмов физических процессов в низкотемпературной плазме.

Актуальность работы не вызывает сомнений, поскольку состоит в постановке и исследовании проблемы самоорганизации плазмы в термоэмиссионных преобразователях энергии.

В настоящее время имеется достаточно примеров самоорганизации процессов в различных средах. Явления самоорганизации происходят часто в таких средах, в которых имеются различные фазовые состояния. Более того, фазовые переходы (смена фазовых состояний) можно трактовать как пример самоорганизации в равновесных или квазиравновесных системах. Фазовые переходы и явления самоорганизации достаточно полно описаны и изучены в твердых телах и жидкости (конденсированных средах). До сих пор считалось, что в газовых средах (в том числе и в плазме) фазовые состояния невозможны, т.к. они (среды с различными газами) легко перемешиваются. Встает вопрос: возможны ли фазовые состояния и явления самоорганизации в такой среде как плазма за счет ранее не изученных (или слабо изученных) механизмов? В

настоящее время этот вопрос находится в стадии начального изучения и поэтому представляет, как научный, так и практический интерес.

В ходе проделанной работы было доказано, что взятая модель системы обыкновенных дифференциальных уравнений описывает исследуемые экспериментальные распределения параметров плазмы.

В случае отличия от нуля объемного источника ионов – фазовый портрет системы схематично представляет собой совокупность концентрических (вложенных) эллипсов. А при варьировании параметров термоэмиссионного преобразователя будут меняться только параметры вложенных эллипсов, которые представляют фазовые траектории системы. Также рассмотрен частный случай, когда объемный источник ионов равен нулю. Тогда на фазовой плоскости (n, J_i) получатся прямые линии, параллельные оси O_n . При $J_i = 0$ получаем точки равновесия, при $J_i > 0$ прямые имеют противоположное направление относительно оси O_n , при $J_i < 0$ прямые имеют то же направление, что и ось O_n .

В данной работе показано, что в термоэмиссионном преобразователе энергии для больших зазоров могут сосуществовать два разных состояния плазмы: в одном состоянии реализуются параметры дуговой плазмы (генерация ионов в объеме плазмы), а в другом состоянии реализуются параметры диффузионной плазмы.

При уменьшении межэлектродного зазора имеется некоторая граница ($d=0,08$ см), при которой во всем межэлектродном зазоре преобладает плазма с дуговыми параметрами.

Список использованных источников

1. Низковольтная дуга в термоэмиссионных преобразователях. Сравнение теории с экспериментом / Ф.Г. Бакшт, Г.А. Дюжев, И.Л. Коробова и др. // Журнал технической физики. – 1968. – Т. 38. – Вып. 7. – С. 1075–1094.
2. Термоэмиссионные преобразователи и низкотемпературная плазма / Ф.Г. Бакшт, Г.А. Дюжев, А.М. Марциновский и др.; Под ред. Б.Я. Мойжеса и Г.Е. Пикуса. – М.: Наука, 1973. – 480 с.
3. Физические основы термоэмиссионного преобразования энергии / И.П. Стаханов, В.П. Пащенко, А.С. Степанов, Ю.К. Гуськов; Под ред. И.П. Стаханова. – М.: Атомиздат, 1973. – 374 с.
4. Зимин В.П. Алгоритм расчета вольтамперных характеристик термоэмиссионного преобразователя с постоянной температурой электронов / Ред. журн. «Известия вузов. Физика». – Томск, 1984. – № 7. – 36 с. – Деп. в ВИНТИ 21.03.1984, № 157184.
5. Дьяконов В.А. MATLAB 6. Учебный курс / В.А. Дьяконов – СПб. : Питер, 2001. – 592 с.
6. Ануфриев, И.Е. Самоучитель MATLAB 5.3/6.x / И.Е. Ануфриев – СПб.: БХВ-Петербург, 2002. – 736 с.
7. Лоран, П. Ж. Аппроксимация и оптимизация. — М.: Мир, 1975. — С. 496.
8. Джон Г. Мэтьюз, Куртис Д. Финк. Численные методы. Использование MATLAB = Numerical Methods: Using MATLAB. — 3-е изд. — М.: «Вильямс», 2001. — 720 с.
9. Голант В.Е., Жилинский А.П., Сахаров С.А. Основы физики плазмы. — М.: Атомиздат, 1977. — 384 с
10. Основы функционально-стоимостного анализа: Учебное пособие / Под ред. М.Г. Карпунина и Б.И. Майданчика. - М.: Энергия, 1980. - 175 с.
11. СанПиН 2.2.4.548 – 96. Гигиенические требования к микроклимату

12. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий.
13. СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.
14. СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение.
15. ГОСТ 12.1.003–83. Шум. Общие требования безопасности труда.
16. СН 2.2.4/2.1.8.562 – 96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки.
17. Действия ЭМП на организм человека. Сборник лекций. [Электронный ресурс]. Режим доступа: свободный http://studopedia.net/13_166967_deystviya-emp-na-organizm-cheloveka.html.
18. СанПиН 2.2.2/2.4.1340 – 03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.
19. «Утилизация компьютерной техники». «Промышленность России». [Электронный ресурс]. Режим доступа: свободный http://hromax.ru/utilizatsiya_kompyuternoy_tehniki.html.
20. ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования.
21. ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
22. Function fitting neural network - MATLAB fitnet [Электронный ресурс]. URL: https://www.mathworks.com/help/nnet/ref/fitnet.html?s_tid=srchtitle (accessed: 12.06.2017).


```

% disp ('Начальная точка:');
% disp (pntCurr');

valPrev = funcDistDiffEq (pntCurr, xxx, yyy); % левое
значение

% return;

for iii = 1:500 % число повторов

    aboatt = 0; % число неудачных попыток
    for i = 1:circ
        vec = rand (Npar, 1, 'double');
        vec = vec .* steps - 0.5 * steps; % пробный вектор
        смещения

        tmp = pntCurr + vec;

        for ind = 1:3
            if tmp (ind) < 0
                tmp (i) = 0;
            end; %if
        end; % for ind

        % valTest = funcDistDiffEq (pntCurr + vec, xxx, yyy);
        % пробное значение
        valTest = funcDistDiffEq (tmp, xxx, yyy); % пробное
        значение

        if valTest < valPrev
            pntCurr = pntCurr + vec;
            valPrev = valTest;
            break; % i
        else
            aboatt = aboatt + 1;
        end;
    end; % ПОПЫТКИ

    if aboatt >= circ
        steps = coeff * steps;
    end; % if

    if valPrev < 1e-6 % точности достаточно
        break;
    end;

% figure;
% plot (xxx, yyy, 'ko', xN, yN);
% title('График приближённой функции');
% axis ([-10 10 -10 10]);

```

```

end; % for iii

%% Графики
N=21;
xN = zeros (N, 1);
yN = zeros (N, 1);
yJ = zeros (N, 1);
a = pntCurr;
for i =1:N
%     xN (i) = xxx (1) + (i-1)*(xxx(Npar) - xxx(1)) / (N-1);

    xN (i) = x00 + (i-1)*(x11 - x00) / (N-1);
    yN (i) = SolveN ( a, x00, x11, xN(i));
    yJ (i) = SolveJ ( a, x00, x11, xN(i));
end;

% [N2 ~] = size (xxx);
% N2 = N2 + 2;
% xN2 = zeros (N2, 1);
% yN2 = zeros (N2, 1);
% for i =1:N2
% %     xN (i) = xxx (1) + (i-1)*(xxx(Npar) - xxx(1)) / (N-1);
% %
%     xN2 (i) = x00 + (i-1)*(x11 - x00) / (N2-1);
%     yN2 (i) = SolveN ( a, x00, x11, xN2(i));
% end;

% disp ('a:'); disp (a');
% disp ('xN yN:');
% disp ([xN yN]);

plot (xxx, yyy, 'ko', real(xN), real(yN));
title('График приближённой функции для n');

xlabel('X'); ylabel('N');
grid on;
% disp (vecI);

%% Экспериментальные данные для J
xxJ = [0.015 0.025 0.035 0.045 0.055 0.065]; % A интервал
0.8 ???
yyJ = [4.6 3.6 2.3 0.6 -0.7 -1.3]'; % значения J для
отображения экспериментальных данных
xxJ = xxJ / coefX;
%% Графики (продолжение)
figure
% plot (xxx, yyy, 'ko', real(xN), real(yJ));
% %%%yJ = yJ * 0.3 + 1.5;
yJ = -yJ;
yJ = (1 + 1/2^4) * yJ + 0.9;
% % % plot (real(xN), real(yJ));
% % % hold; % заморозить предыдущий график

```

```

plot (xxJ, yyJ, 'ko', real(xN), real(yJ));
title('График приближённой функции для J');

xlabel('X'); ylabel('J');
grid on;

%% %% дополнительный тестовый график
% figure
% plot (xxx, yyy, 'ko', real(xN2), real(yN2));
% xlabel('X'); ylabel('N');
% grid on;

%% %% Пересчет (масштабирование) J
% yyJ = [4.6 3.6 2.3 0.6 -0.7 -1.3]'; % значения J для
отображения экспериментальных данных
% yyJ = yyJ * 2; % масштабирование

%% Фазовый портрет
figure
plot (real(yN), real(yJ));
title('Фазовый портрет');
xlabel('n'); ylabel('J');
grid on;

%% Графики приведённые к единицам полным
xxx = coefX * xxx;
yyy = kp_n * yyy ;
xN = coefX * xN;
yN = kp_n * yN;

figure % график n
plot (xxx, yyy, 'ko', real(xN), real(yN));
title('График функции для n');
xlabel('X'); ylabel('N, см-3');
grid on;

figure % график J
xxJ = coefX * xxJ;
yyJ = kp_Ji * yyJ;
yJ = kp_Ji * yJ;
plot (xxJ, yyJ, 'ko', real(xN), real(yJ));
title('График функции для J');
xlabel('X'); ylabel('J, А/см2');
grid on;

figure % фазовый портрет
plot (real(yN), real(yJ));
title('Фазовый портрет');
xlabel('n, см-3'); ylabel('J, А/см2');
grid on;

%% Печать результатов

```

```

disp ('Уклонение: '); disp (valPrev);
disp (['Полное уклонение: ' num2str(valPrev * coefN, 5) ...
      ' (' num2str(valPrev / 7.6 * 100, 5) '%)']);
disp ('Шаг: '); disp (steps');
disp ('Коэффициенты и J0 J1:');

%disp ('Коэффициенты и N0 N1:');

str = sprintf('%g      %g      %g      %g      %g', pntCurr(1),
pntCurr(2), pntCurr(3), pntCurr(4), pntCurr(5));
disp(str);

```

Приложение Б. Аппроксимация и визуализация экспериментальных данных плотности плазмы.

```

%% Определение некоторых констант
MarkerSize = 10;
FontName_gca = 'Times New Roman Cyr';
FontSize_gca = 14;
fontsize_label = 12;
Line_width = 2.5;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
n_x_mas_dig_1 = [0.01 0.02 0.03 0.04 0.05 0.06 0.07;...
                3.50 5.60 7.10 7.60 7.10 5.80 4.10];

n_x_mas_dig_2 = [0.02 0.03 0.04 0.05 0.06 0.07 0.08 0.09 0.10;...
                6.60 8.00 8.40 8.20 7.80 7.00 6.10 5.10 4.20];

n_x_mas_dig_3 = [0.01 0.02 0.03 0.04 0.05 0.06 0.07 0.08 0.09
0.10 0.11 0.12 0.13;...
                7.10 8.70 9.90 10.10 9.80 9.10 8.30 7.40 6.50
5.60 4.60 3.60 2.60];

n_x_mas_dig_4 = [0.01 0.02 0.03 0.04 0.05 0.06 0.07 0.08 0.09
0.10 0.11 0.12 0.13 0.14 0.15 0.16 0.17;...
                7.80 9.80 10.80 11.10 10.70 10.10 9.50 8.70 8.00
7.10 6.40 5.60 4.90 4.20 3.60 2.90 2.20];

% Коэффициенты (множители) перевода из см в см (для x) и в см^(-3)
(для n)
kp_xn = 1; % 0.2/9.6;
kp_n = 2.0*10^14/9.8;

% Экспериментальные значения плотности плазмы n=n(x)
% для 4-х значений d
n_x_mas_1(1, :) = n_x_mas_dig_1(1, :) * kp_xn;
n_x_mas_1(2, :) = n_x_mas_dig_1(2, :) * kp_n;

n_x_mas_2(1, :) = n_x_mas_dig_2(1, :) * kp_xn;
n_x_mas_2(2, :) = n_x_mas_dig_2(2, :) * kp_n;

n_x_mas_3(1, :) = n_x_mas_dig_3(1, :) * kp_xn;
n_x_mas_3(2, :) = n_x_mas_dig_3(2, :) * kp_n;

n_x_mas_4(1, :) = n_x_mas_dig_4(1, :) * kp_xn;
n_x_mas_4(2, :) = n_x_mas_dig_4(2, :) * kp_n;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

figure(1)
% Экспериментальные значения плотности плазмы n=n(x)
% для 4-х значений d
%%111
x=n_x_mas_1(1, :);

```

```

n_1 = n_x_mas_1(2,:);
f_ob=fit(x', n_1', 'poly3');
plot(x, n_1, 'ks', 'MarkerSize', MarkerSize)

y = feval(f_ob, x);
x_appr=0.01:0.005:0.07;
y_appr = feval(f_ob, x_appr);
hold on
plot(x_appr, y_appr, 'r');
f_ob;

%%222
x_2=n_x_mas_2(1,:);
n_2=n_x_mas_2(2,:);
f_ob=fit(x_2', n_2', 'poly3');
plot(x_2, n_2, 'ko', 'MarkerSize', MarkerSize)
y_2 = feval(f_ob, x_2);
x_2_appr=0.02:0.005:0.10;
y_2_appr = feval(f_ob, x_2_appr);
hold on
plot(x_2_appr, y_2_appr, 'g');
f_ob;

%%333
x_3=n_x_mas_3(1,:);
n_3=n_x_mas_3(2,:);
f_ob=fit(x_3', n_3', 'poly3');
plot(x_3, n_3, 'kx', 'MarkerSize', MarkerSize)
y_3 = feval(f_ob, x_3);
x_3_appr=0.01:0.005:0.13;
y_3_appr = feval(f_ob, x_3_appr);
hold on
plot(x_3_appr, y_3_appr, 'k');
f_ob;

%%444
x_4=n_x_mas_4(1,:);
n_4=n_x_mas_4(2,:);
f_ob=fit(x_4', n_4', 'poly3');
plot(x_4, n_4, 'k^', 'MarkerSize', MarkerSize)
y_4 = feval(f_ob, x_4);
x_4_appr=0.01:0.005:0.17;
y_4_appr = feval(f_ob, x_4_appr);
plot(x_4_appr, y_4_appr);

set(gca, 'FontName', FontName_gca)
set(gca, 'FontSize', FontSize_gca)
title('Аппроксимация значений плотности плазмы  $n=n(x)$ ');
xlabel('\fontname{Times New Roman Cyr}\itx\rm, см', 'fontsize',
fontSize_label)
ylabel('\fontname{Times New Roman Cyr}\itn\rm, см^{3}', 'fontsize',
fontSize_label)

```

```
legend('\fontname{Times New Roman Cyr} \itd\rm=0,08 cm',...
      '\fontname{Times New Roman Cyr} \itd\rm=0,12 cm',...
      '\fontname{Times New Roman Cyr} \itd\rm=0,16 cm',...
      '\fontname{Times New Roman Cyr} \itd\rm=0,20 cm',...
      , 0)
```

Приложение В. Аппроксимация и визуализация

экспериментальных данных плотности ионного тока.

```
    %% Определение некоторых констант
MarkerSize = 10;
FontName_gca = 'Times New Roman Cyr';
FontSize_gca = 14;
fontsize_label = 14;
Line_width = 2.5;

% Экспериментальные измерения плотности ионного тока Ji=Ji(x)
% для 4-х значений d
% % Ji_x_mas_dig_1 = [0.6 1.1 1.5 2.0 2.4 2.9;...
Ji_x_mas_dig_1 = [0.015 0.025 0.035 0.045 0.055 0.065;...
                 4.6 3.6 2.3 0.6 -0.7 -1.3];

% % Ji_x_mas_dig_2 = [1.1 1.6 2.0 2.4 2.8 3.4 3.8 4.2 4.7;...
Ji_x_mas_dig_2 = [0.025 0.035 0.045 0.055 0.065 0.075 0.085 0.095
0.105;...
                 5.0 3.5 1.7 0.8 0.1 -0.4 -0.6 -0.7 -
0.7];

% % Ji_x_mas_dig_3 = [1.1 1.6 2.0 2.4 2.9 3.4 3.8 4.2 4.7 5.1
5.6 6.0;...
Ji_x_mas_dig_3 = [0.025 0.035 0.045 0.055 0.065 0.075 0.085 0.095
0.105 0.115 0.125 0.135;...
                 6.2 4.8 3.4 1.9 0.9 0.1 -0.3 -0.5 -
0.6 -0.6 -0.7 -0.7];

% % Ji_x_mas_dig_4 = [1.1 1.6 2.0 2.4 2.9 3.4 3.5 3.8 4.3 4.7
5.1 5.6 6.0 6.4 6.8 7.3 7.2;...
Ji_x_mas_dig_4 = [0.025 0.035 0.045 0.055 0.065 0.075 0.080 0.085
0.095 0.105 0.115 0.125 0.135 0.145 0.155 0.165 0.175;...
                 7.9 6.5 5.0 3.1 1.5 0.7 0.4 0.1 -
0.3 -0.4 -0.5 -0.5 -0.5 -0.5 -0.4 -0.3 -0.3];

% Коэффициенты (множители) перевода из см в см (для x) и в А/см^2
(для Ji)
% % kp_xJi = 0.2/8.8;
kp_xJi = 1;
kp_Ji = 0.2/8.7;

% Экспериментальные значения плотности ионного тока Ji=Ji(x)
% для 4-х значений d
Ji_x_mas_1(1, :) = Ji_x_mas_dig_1(1, :) * kp_xJi;
Ji_x_mas_1(2, :) = Ji_x_mas_dig_1(2, :) * kp_Ji;

Ji_x_mas_2(1, :) = Ji_x_mas_dig_2(1, :) * kp_xJi;
Ji_x_mas_2(2, :) = Ji_x_mas_dig_2(2, :) * kp_Ji;

Ji_x_mas_3(1, :) = Ji_x_mas_dig_3(1, :) * kp_xJi;
```

```

Ji_x_mas_3(2, :) = Ji_x_mas_dig_3(2, :) * kp_Ji;

Ji_x_mas_4(1, :) = Ji_x_mas_dig_4(1, :) * kp_xJi;
Ji_x_mas_4(2, :) = Ji_x_mas_dig_4(2, :) * kp_Ji;

%аппроксимация полиномом 3 степени
figure(1)

%%111
x = Ji_x_mas_1(1, :);
Ji_1 = Ji_x_mas_1(2, :);
f_ob=fit(x', Ji_1', 'poly3');
plot(Ji_x_mas_1(1, 1:end), Ji_x_mas_1(2, 1:end),
'ks', 'MarkerSize', MarkerSize)
hold on
y = feval(f_ob, x);
x_appr=0.015:0.005:0.065;
y_appr = feval(f_ob, x_appr);
hold on
plot(x_appr, y_appr, 'r');

%%222
x_2 = Ji_x_mas_2(1, :);
Ji_2 = Ji_x_mas_2(2, :);
f_ob=fit(x_2', Ji_2', 'poly3');
hold on
plot(Ji_x_mas_2(1, 1:end), Ji_x_mas_2(2, 1:end),
'ko', 'MarkerSize', MarkerSize)
y_2 = feval(f_ob, x_2);
x_2_appr=0.025:0.005:0.105;
y_2_appr = feval(f_ob, x_2_appr);
plot(x_2_appr, y_2_appr, 'g');

%%333
x_3 = Ji_x_mas_3(1, :);
Ji_3 = Ji_x_mas_3(2, :);
f_ob=fit(x_3', Ji_3', 'poly3');
plot(Ji_x_mas_3(1, 1:end), Ji_x_mas_3(2, 1:end),
'kx', 'MarkerSize', MarkerSize)
y_3 = feval(f_ob, x_3);
x_3_appr=0.025:0.005:0.135;
y_3_appr = feval(f_ob, x_3_appr);
plot(x_3_appr, y_3_appr, 'k');

%%444
x_4 = Ji_x_mas_4(1, :);
Ji_4 = Ji_x_mas_4(2, :);
f_ob=fit(x_4', Ji_4', 'poly3');
plot(Ji_x_mas_4(1, 1:end), Ji_x_mas_4(2, 1:end),
'k^', 'MarkerSize', MarkerSize)
y_4 = feval(f_ob, x_4);

```

```

x_4_appr=0.025:0.005:0.175;
y_4_appr = feval(f_ob,x_4_appr);
plot(x_4_appr,y_4_appr);
set(gca, 'FontName', FontName_gca)
set(gca, 'FontSize', FontSize_gca)
title('Аппроксимация плотности ионного тока  $J_i=J_i(x)$ ');
xlabel('\fontname{Times New Roman Cyr}\itx\rm, см', 'fontsize',
fontsize_label)
ylabel('\fontname{Times New Roman Cyr}\itJ_{i}\rm,
A/см^{2}', 'fontsize', fontsize_label)
legend('\fontname{Times New Roman Cyr} \itd\rm=0,08 см',...
'',...
'\fontname{Times New Roman Cyr} \itd\rm=0,12 см',...
'',...
'\fontname{Times New Roman Cyr} \itd\rm=0,16 см',...
'',...
'\fontname{Times New Roman Cyr} \itd\rm=0,20 см',...
'', 0)

```

Приложение Г. Аппроксимация дугового и диффузионного режимов ТЭП на примере плотности плазмы.

```
%% Определение некоторых констант
MarkerSize = 10;
FontName_gca = 'Times New Roman Cyr';
FontSize_gca = 14;
fontsize_label = 14;
Line_width = 2.5;

% Оцифрованные экспериментальные измерения плотности плазмы n=n(x)
% для 4-х значений d

n_x_mas_dig_1 = [0.01 0.02 0.03 0.04 0.05 0.06 0.07;...
                3.50 5.60 7.10 7.60 7.10 5.80 4.10];

n_x_mas_dig_2a = [0.02 0.03 0.04 0.05 0.06;...
                 6.60 8.00 8.40 8.20 7.80];
n_x_mas_dig_2b = [0.07 0.08 0.09 0.10;...
                 7.00 6.10 5.10 4.20];

n_x_mas_dig_3a = [0.01 0.02 0.03 0.04 0.05;...
                 7.10 8.70 9.90 10.10 9.80];
n_x_mas_dig_3b = [0.06 0.07 0.08 0.09 0.10 0.11 0.12 0.13;...
                 9.10 8.30 7.40 6.50 5.60 4.60 3.60 2.60];

n_x_mas_dig_4a = [0.01 0.02 0.03 0.04 0.05;...
                 7.80 9.80 10.80 11.10 10.70];
n_x_mas_dig_4b = [0.06 0.07 0.08 0.09 0.10 0.11 0.12 0.13 0.14
                 0.15 0.16 0.17;...
                 10.10 9.50 8.70 8.00 7.10 6.40 5.60 4.90 4.20
                 3.60 2.90 2.20];

% Коэффициенты (множители) перевода из см в см (для x) и в см(-3)
% (для n)
kp_xn = 1; % 0.2/9.6;
kp_n = 2.0*10^14/9.8;

% Экспериментальные значения плотности плазмы n=n(x)
% для 4-х значений d
n_x_mas_1(1, :) = n_x_mas_dig_1(1, :) * kp_xn;
n_x_mas_1(2, :) = n_x_mas_dig_1(2, :) * kp_n;

n_x_mas_2a(1, :) = n_x_mas_dig_2a(1, :) * kp_xn;
n_x_mas_2a(2, :) = n_x_mas_dig_2a(2, :) * kp_n;
n_x_mas_2b(1, :) = n_x_mas_dig_2b(1, :) * kp_xn;
n_x_mas_2b(2, :) = n_x_mas_dig_2b(2, :) * kp_n;

n_x_mas_3a(1, :) = n_x_mas_dig_3a(1, :) * kp_xn;
n_x_mas_3a(2, :) = n_x_mas_dig_3a(2, :) * kp_n;
```

```

n_x_mas_3b(1, :) = n_x_mas_dig_3b(1, :) * kp_xn;
n_x_mas_3b(2, :) = n_x_mas_dig_3b(2, :) * kp_n;

n_x_mas_4a(1, :) = n_x_mas_dig_4a(1, :) * kp_xn;
n_x_mas_4a(2, :) = n_x_mas_dig_4a(2, :) * kp_n;
n_x_mas_4b(1, :) = n_x_mas_dig_4b(1, :) * kp_xn;
n_x_mas_4b(2, :) = n_x_mas_dig_4b(2, :) * kp_n;

%%
figure(1)
    % Экспериментальные значения плотности плазмы n=n(x)
% для 4-х значений d
%%111
x=n_x_mas_1(1,:);
n_1 = n_x_mas_1(2,:);
f_ob=fit(x', n_1', 'poly2');
plot(x, n_1, 'ks', 'MarkerSize', MarkerSize)

y = feval(f_ob, x);
x_appr=0.01:0.005:0.07;
y_appr = feval(f_ob, x_appr);
hold on
plot(x_appr, y_appr, 'r');
f_ob;

%%
%%222
x_2a=n_x_mas_2a(1,:);
n_2a=n_x_mas_2a(2,:);
x_2b=n_x_mas_2b(1,:);
n_2b=n_x_mas_2b(2,:);
f_ob_3=fit(x_2a', n_2a', 'poly2');
f_ob_4=fit(x_2b', n_2b', 'linearinterp');
%plot(x_2, n_2);
plot(x_2a, n_2a, 'ko', 'MarkerSize', MarkerSize)
hold on
plot(x_2b, n_2b, 'ko', 'MarkerSize', MarkerSize)
% y_2 = feval(f_ob, x_2);
% x_2;
x_2_appr_1=0.02:0.005:0.06;
x_2_appr_2=0.06:0.005:0.1;
y_2_appr_1 = feval(f_ob_3, x_2_appr_1);
y_2_appr_2 = feval(f_ob_4, x_2_appr_2);

hold on
plot(x_2_appr_1, y_2_appr_1, 'r', x_2_appr_2, y_2_appr_2);

%%333

x_3a=n_x_mas_3a(1,:);
n_3a=n_x_mas_3a(2,:);
x_3b=n_x_mas_3b(1,:);

```

```

n_3b=n_x_mas_3b(2,:);
f_ob_5=fit(x_3a', n_3a', 'poly2');
f_ob_6=fit(x_3b', n_3b', 'linearinterp');
%plot(x_3, n_3);
plot(x_3a, n_3a, 'kx','MarkerSize',MarkerSize)
hold on
plot(x_3b, n_3b, 'kx','MarkerSize',MarkerSize)
%y_3 = feval(f_ob,x_3);
x_3;
x_3_appr_1=0.01:0.005:0.06;
x_3_appr_2=0.06:0.005:0.13;
y_3_appr_1 = feval(f_ob_5,x_3_appr_1);
y_3_appr_2 = feval(f_ob_6,x_3_appr_2);

hold on
plot(x_3_appr_1, y_3_appr_1,'r', x_3_appr_2, y_3_appr_2);

%%444

x_4a=n_x_mas_4a(1,:);
n_4a=n_x_mas_4a(2,:);
x_4b=n_x_mas_4b(1,:);
n_4b=n_x_mas_4b(2,:);
f_ob_7=fit(x_4a', n_4a', 'poly2');
f_ob_8=fit(x_4b', n_4b', 'linearinterp');
%plot(x_4, n_4);
plot(x_4a, n_4a, 'k^','MarkerSize',MarkerSize)
hold on
plot(x_4b, n_4b, 'k^','MarkerSize',MarkerSize)
%y_4 = feval(f_ob,x_4);
x_4;
x_4_appr_1=0.01:0.005:0.06;
x_4_appr_2=0.06:0.005:0.17;
y_4_appr_1 = feval(f_ob_7,x_4_appr_1);
y_4_appr_2 = feval(f_ob_8,x_4_appr_2);

hold on
plot(x_4_appr_1, y_4_appr_1,'r', x_4_appr_2, y_4_appr_2);

xlabel('\fontname{Times New Roman Cyr}\itx\rm, cm', 'fontsize',
fontsize_label)
ylabel('\fontname{Times New Roman Cyr}\itn\rm, cm^{\-
3}','fontsize', fontsize_label)

set(gca, 'FontName', FontName_gca)
set(gca, 'FontSize', FontSize_gca)

```