МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ИНСТИТУТ РАДИОТЕХНИКИ, ЭЛЕКТРОНИКИ И АВТОМАТИКИ (ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

Факультет \_\_\_ *Электроники. \_\_\_\_\_*

Форма обучения \_\_\_*вечерняя\_\_\_\_\_*

Кафедра \_*Сверхвысокочастотные*

*приборы и устройства.\_\_\_\_\_\_\_\_\_*

“ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ”

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_.

*“ ” 2002 г .*

**ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ**

Т е м а : \_***Реверсная магнитная фокусирующая система мощного многолучевого клистрона.*\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_**

Исполнитель \_*Скоробогатова Наталия Викторовна*\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Группа \_*ВФТ-3-96\_*, шифр \_*961073\_.*

Руководитель проекта \_*проф. Невский П.В.\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ . .2002 г.*

Консультант по теме \_*проф. Невский П.В.\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ . .2002 г.*

Консультант по организационно-экономической

части \_*к.э.н., доц. Батищева И.М.\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ . .2002 г.*

Консультант по экологии и безопасности

жизнедеятельности \_*доц. Самгин Э.Б.\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ . .2002 г.*

Консультант по \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_*\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_.*

Рецензент *\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ . .2002 г.*

М О С К В А – 2002.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ИНСТИТУТ РАДИОТЕХНИКИ, ЭЛЕКТРОНИКИ И АВТОМАТИКИ (ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

Кафедра *Электронные приборы .*

“У Т В Е Р Ж Д А Ю ”

Зав. кафедрой  *.*

“”  20\_\_\_ г.

**З А Д А Н И Е**

на дипломное проектирование

Дипломник *Скоробогатова Наталия Викторовна* Шифр  *961073 .*

Факультет  *электроники* , Форма обучения *вечерняя* .

Специальность  *071500* , Группа  *ВФТ-3-96 .*

1. Тема дипломного проекта *Реверсная магнитная фокусирующая система мощного многолучевого клистрона.\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_*

*\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_.*

2. Исходные данные к проекту *Анодное напряжение – 52 кВ; Количество электронных лучей – 40; Расположение электронных лучей: диаметр 84 – 21 луч, диаметр 64 - 19 лучей; Диаметр пролетного канала 6,5 – 8 мм; Суммарный первеанс ≈ 20 × 10-6 А/В3/2; Диаметр катода – 8,6 мм.\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_.*

3. Перечень вопросов, подлежащих разработке в специальной части проекта *1. Оптимизация размеров электронной пушки; 2. Исследование влияния амплитуды магнитного поля на конфигурацию электронного луча; 3. Исследование влияния амплитуды поля в отдельных реверсах на конфигурацию электронного луча; 4. Оптимизация всей электронно-оптической системы.\_\_\_*

4. Задание по организационно-экономической части проекта *1. Блок-схема работы по теме. 2. Организация процесса разработки. 3. Себестоимость и цена оптимизированной системы. 3. Экономические результаты проведенной оптимизации.*\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

5. Задание по экологии и безопасности жизнедеятельности: *Разработать технические мероприятия обеспечивающие безопасность труда при настройке устройства.*\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

6. Задание по \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

*.*

7. Перечень графических материалов

Устройство исходного варианта электронно-оптической системы и результаты расчета конфигурации электронного луча в нем - 1лист;\_\_\_\_\_\_\_\_\_

*Оптимизация электронной пушки – 2 листа;\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_*

*Конфигурация электронного луча при различной амплитуде магнитного поля – 1 лист;\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_*

*Конфигурация электронного луча при различной амплитуде магнитного поля в различных реверсах – 1 лист;\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_*

*Оптимизированная электоронно-оптическая система прибора – 1 лист.\_\_\_\_\_\_*

8. Руководитель и консультанты проекта

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Руководитель и консультанты** | **Должность в МИРЭА** | **ФИО** | **Подпись** |
| Руководитель проекта | Профессор | *Невский П.В.* |  |
| Консультант по теме | Профессор | *Невский П.В.* |  |
| Консультант по организационно-экономической части | *К.э.н., доцент* | *Батищева И.М.* |  |
| Консультант по экологии и безопасности жизнедеятельности | *Доцент* | *Самгин Э.Б* |  |
| Консультант по |  |  |  |

9. Календарный график работы над дипломным проектом

|  |  |
| --- | --- |
| **Степень готовности проекта** | **К какой дате** |
| 25% | 15.01.2002 г. |
| 50% | 28.02.2002 г. |
| 75% | 15.04.2002 г. |
| 100% | 31.05.2002 г. |

***Задание принял к исполнению*** “” 20\_\_\_ г.

***Дипломник***  (подпись)

***Руководитель*** (подпись)

**Реферат.**

В последние годы широкое распространение получили многолучевые конструкции пролетных клистронов. Их основное преимущество заключается в том, что первеанс электронного потока в них может быть увеличен в 10 и более раз. Это позволяет в 2 – 3 и более раз уменьшить анодное напряжение прибора при сохранении его выходной мощности.

Для уменьшения веса магнитных фокусирующих систем многолучевых клистронов часто используется реверсная магнитная фокусировка. Проектирование многолучевой фокусирующей системы с реверсным магнитным полем представляет собой сложную задачу электронной оптики. Разработка современных программ расчета ЭОС на компьютерах значительно облегчило решение задачи о расчете и оптимизации таких фокусирующих систем.

Основной целью данной работы является исследование и оптимизация реверсной магнитной фокусирующей системы для многолучевого клистрона КИУ – 147.

Основные параметры исследуемой ЭОС:

Анодное напряжение – 52 кВ;

Количество электронных лучей – 40;

Диаметр пролетного канала 6,5 – 8 мм;

Суммарный первеанс ≈ 20 × 10-6 А/В3/2;

Количество реверсов – 2;

Диаметр катода – 8,6 мм.

СОДЕРЖАНИЕ

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Реферат | …………………..……………………………………………. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 4 |
| Содержание | | | | …………………………………………………………… | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 5 |
| Условные обозначения | | | | | | | | ………………………………………………. | | | | | | | | | | | | | | | | 7 |
| Введение | | ……………………………………………………………….. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 8 |
| 1. Современные ЭОС мощных клистронов и методы их расчета | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  |
| (Обзор литературы) | | | | | | | ………………………………………………... | | | | | | | | | | | | | | | | | 10 |
| 1.1. Многолучевые ЭОС, как один из этапов развития мощных | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  |
| клистронов | | | …………………………………………………………….. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 10 |
| 1.2. Современные методы фокусировки электронных потоков в | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  |
| мощных клистронах | | | | | | …………………………………………………. | | | | | | | | | | | | | | | | | | 12 |
| 1.2.1. Электронная пушка мощного клистрона | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ………………. | | | | | 12 |
| 1.2.2. Реверсная фокусировка электронных потоков | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ………... | | | | 13 |
| 1.3. Современные методы расчета ЭОС мощных клистронов | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | …... | | 17 |
| 1.3.1. Расчеты ЭОС методом синтеза | | | | | | | | | | | | | | …………………………. | | | | | | | | | | 17 |
| 1.3.2. Расчеты ЭОС методом анализа | | | | | | | | | | | | | | …………………………. | | | | | | | | | | 19 |
| 1.4. Способы измерения реальных магнитных полей в мощных | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  |
| клистронах | | | …………………………………………………………….. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 23 |
| 1.5. Постановка задачи | | | | | | | | | ……………………………………………. | | | | | | | | | | | | | | | 25 |
| 2. Современные программы проектирования ЭОС и их использование для расчета и оптимизации реверсной магнитной | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  |
| фокусирующей системы мощного клистрона | | | | | | | | | | | | | | | ………………………. | | | | | | | | | 27 |
| 2.1. Программа «Синтез», созданная на основе использования | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  |
| теории В.Т. Овчарова | | | | | | | ………………………………………………... | | | | | | | | | | | | | | | | | 27 |
| 2.2. Программа «Алмаз» по расчету ЭОС методом анализа | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ……. | | | 39 |
| 2.3. Расчет существующего варианта ЭОС прибора КИУ-147 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | …. | 44 |
| 2.4. Расчет и оптимизация электронной пушки | | | | | | | | | | | | | | | | | …………………. | | | | | | | 47 |
| 2.5. Расчет и оптимизация распределения магнитного поля в | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  |
| системе. Оптимальный вариант построения ЭОС | | | | | | | | | | | | | | | | | …………………. | | | | | | | 53 |
| 3. Организационно – экономическая часть проекта | | | | | | | | | | | | | | | | | | ……………….. | | | | | | 67 |
| 3.1. Блок-схема работы по теме | | | | | | | | | | | | ………………………………….. | | | | | | | | | | | | 67 |
| 3.2. Организация процесса разработки | | | | | | | | | | | | | …………………………... | | | | | | | | | | | 69 |
| 3.3. Себестоимость и цена оптимизированной системы | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ………... | | | | 72 |
| 3.4. Экономические результаты проведенной оптимизации | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ……. | | | 75 |
| 4. Технические мероприятия, обеспечивающие безопасность труда | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  |
| при настройке устройства | | | | | | | | | ……………………………………………. | | | | | | | | | | | | | | | 77 |
| 4.1. Анализ условий труда на рабочем месте | | | | | | | | | | | | | | | | ……………………. | | | | | | | | 77 |
| 4.2. Освещение рабочего места | | | | | | | | | | | ……………………………………. | | | | | | | | | | | | | 78 |
| 4.3. Опасность поражения электрическим током | | | | | | | | | | | | | | | | | | ………………... | | | | | | 81 |
| 4.4. Меры защиты от СВЧ – излучения | | | | | | | | | | | | | …………………………... | | | | | | | | | | | 83 |
| 4.5. Температура, влажность, давление | | | | | | | | | | | | | …………………………... | | | | | | | | | | | 87 |
| 4.6. Требования к уровням шума и вибрации | | | | | | | | | | | | | | | | ………………….… | | | | | | | | 87 |
| 4.7. Пожарная безопасность | | | | | | | | | | ………………………………………. | | | | | | | | | | | | | | 88 |
| Заключение | | | ……………………………………………………….……. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 91 |
| Список литературы | | | | | …………………………………………………... | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 93 |

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

**ЭОС** – электронно-оптическая система;

**РФС** – реверсная фокусирующая система;

**РЛС** – радиолокационная станция;

**ЛБВ** – лампа бегущей волны;

**В** – индукция магнитного поля;

**U** – потенциал;

**ρ** – плотность пространственного заряда;

**ξ0** – диэлектрическая постоянная;

**R** – константа Холла;

**Rкр** – радиус кривизны катода;

**Рμ** – микропервеанс электронного потока;

**S** – линейная сходимость электронного потока;

**b** – коэффициент заполнения пролетного канала электронным потоком.

**Введение.**

В последние годы широкое распространение получили многолучевые конструкции пролетных клистронов. Их основное преимущество заключается в том, что первеанс электронного потока в них может быть увеличен в 10 и более раз. Это позволяет в 2 – 3 и более раз уменьшить анодное напряжение прибора при сохранении его выходной мощности.

Основным способом фокусировки электронных лучей в многолучевых приборах является использование однородного магнитного поля. Недостатком такого метода фокусировки является большой вес магнитной фокусирующей системы. Часто вес фокусирующей системы в несколько раз превосходит собственный вес клистрона. Одним из способов уменьшения веса магнитной фокусирующей системы является использование реверсной магнитной фокусировки.

Однако проектирование фокусирующей системы с реверсным магнитным полем представляет собою сложную задачу даже для случая однолучевой ЭОС. Однореверсная фокусирующая система обычно содержит два магнита (магнитных блока) направление намагниченности которых противоположно. Поэтому поля рассеивания каждых магнитов складываются с рабочим полем в зазоре. На заданной длине канала размещаются два магнита, каждый из них вдвое меньше по габаритам, чем однонаправленное поле. Поэтому масса РФС будет примерно в четыре раза меньше, чем у системы с однонаправленным полем.

Можно показать, что использование реверсной магнитной системы позволяет в (n + 1)2 раз уменьшить вес системы по сравнению со случаем использования однородного магнитного поля (n – число реверсов). Протяженность зоны реверса в практических конструкциях приблизительно равно диаметру отверстия в полюсном наконечнике, она соизмерима с длиной волны пульсации электронного пучка в пролетном канале. При прохождении зоны реверса пучок оказывается под воздействием магнитного поля много меньшего, чем необходимо для существования равновесного пучка. Баланс сил нарушается и пучок начинает расширяться. Но это расширение кратковременно, так как поле опять быстро нарастает до заданного значения. Пучок не успевает сильно расширится, но электроны успевают приобрести радиальную составляющую скорость. Следовательно, после прохождения зоны реверса пучок начинает сильно пульсировать. Уменьшить амплитуду этих пульсаций можно, если пучок заставить пульсировать до зоны реверса, а фазу пульсации подобрать такой, чтобы при подходе к зоне реверса пучок был бы сходящимся. При многореверсной фокусировке такую фазу пульсаций необходимо обеспечить вблизи каждой зоны реверса. Это обстоятельство приводит к тому, что проектирование ЭОС представляет собой решение сложной электронно - оптической задачи.

При проектировании многолучевой ЭОС с реверсной магнитной фокусировкой задача усложняется тем, что необходимо обеспечить отсутствие насыщения магнитомягкого полюсных наконечников в перемычках между соседними пролетными каналами. Это необходимо для того, чтобы не допустить нарушение аксиальной симметрии магнитного поля в каждом отверстии полюсного наконечника многолучевой системы.

Проектирование реверсной магнитной фокусирующей системы для многолучевого клистрона (количество электронных лучей - 40) и является основной целью данной работы. В дипломной работе проводится расчет электронной пушки, исследуется влияние амплитуды магнитного поля в отдельных реверсах на конфигурацию электронного луча и проводится оптимизация всей ЭОС.

**1. Современные ЭОС мощных клистронов и методы их расчета (обзор литературы).**

**1.1. Многолучевые ЭОС, как один из этапов развития мощных клистронов.**

Основное предназначение СВЧ приборов – радиолокация, т. е. обнаружение самолетов противника. Радиолокация свое бурное развитие получила во время войны 1941 – 1945 г.г. Стояла задача обнаружить самолеты противника на возможно большем расстоянии от защищаемых городов, а это требовало создание приборов с большой мощностью. В СВЧ приборах энергия электронного потока преобразуется в энергию СВЧ излучения. Поэтому задача создания все более мощных СВЧ приборов требовала соответствующего совершенствования ЭОС этих приборов. ЭОС клистрона или ЛБВ состоит из электронной пушки, пространства дрейфа пучка и коллектора. Пушка формирует пучок с требуемым током и требуемого диаметра. В пространстве дрейфа пучок имеет примерно постоянный диаметр и проходит через пролетную трубу не осаждаясь на ней. Электронный пучок осаждается на коллекторе, который интенсивно охлаждается водой или воздухом. Известно три основных этапа развития электронно-оптических систем:

**I этап.** В первых клистронах, которые появились в 1933 – 1940 г.г., диаметр катода брался равным диаметру формируемого пучка и вся система помещалась в сильное магнитное поле, направленное по оси прибора. Траектория электронов двигалась по силовым линиям магнитного поля и достигала коллектора. Это были ЭОС, в которых траектории электронов были близки к прямым линиям, т.е. были одномерными системами. Недостатком таких систем является то, что в них плотность тока в пучке равна плотности тока не катоде. Поэтому на основе таких систем нельзя создавать приборы СВЧ большой мощности. Кроме того, такие системы требовали для работы интенсивных магнитных полей.

**II этап.** Пирс изобрел пушку Пирса. Бриллюэн предложил Бриллюэновский электронный поток. Использование пушки Пирса позволило снизить плотность тока на катоде в 10 и более раз. Использование Бриллюэновской фокусировки уменьшило величину требуемого магнитного поля. Расчет таких ЭОС представляет собою решение двумерной задачи электронной оптики. Таким образом, второй этап развития электронной оптики связан с переходом от одномерных к двумерным ЭОС.

Клистроны с пушками Пирса и с потоком Бриллюэна разрабатывались и выпускались на протяжении почти 30 лет и отвечали основным требованиям. Развитие шло в направлении увеличения мощности за счет увеличения напряжения. Были созданы приборы с выходной мощностью 1мВт и более, работающие при напряжении 300 – 400 кВ.

**III этап.** В шестидесятых годах сильное развитие получили авиация и космическая техника. Появились радиоуправляемые ракеты и стационарные станции стали легко уничтожаемыми. Появилась необходимость создания мобильных РЛС, когда сам клистрон или ЛБВ и все его источник питания помещаются в фургонах нескольких автомобилей, в железнодорожных вагонах, на вертолете или на самолете. Необходимо было снизить вес источника питания и самого клистрона (вес источника пропорционален ~ кубу напряжения). Для этого был сделан переход к многолучевым конструкциям. Для уменьшения веса фокусирующих систем применяется реверсная фокусировка и постоянные магниты. В таких системах ось симметрии магнитной системы не совпадает с осью симметрии пролетных каналов (кроме центрального канала). Поэтому расчет многолучевой системы в общем случае есть решение трехмерной задачи электронной оптики. Таким образом, переход к многолучевым ЭОС есть переход от двумерных к трехмерным оптическим системам. Следовательно, в своем развитии ЭОС прошли путь от одномерных к двумерным, а затем и к трехмерным системам.

**1.2. Современные методы фокусировки электронных потоков в мощных однолучевых клистронах [1].**

**1.2.1. Электронная пушка мощного клистрона.**

В большинстве современных электронных приборов радиотехнического назначения используются различные по пространственной конфигурации интенсивные (высокопервеансные) электронные пучки.

Формирование и фокусировка интенсивных электронных пучков одна из основных задач, решаемых при разработке современных электронных приборов.

Методы формирования и фокусировки электронных пучков, как правило, связаны с принципом управления ими, особенно в тех приборах, где элементы электронно-оптических устройств входят непосредственно в конструкции колебательных или замедляющих систем. Тем не менее, существует ряд общих требований, для четкого уяснения которых рассмотрим кратко основные типы ЭОС, применяемых в электронных приборах радиотехнического назначения. Начнем это рассмотрение с систем исходного формирования электронных пучков – электронных пушек.

Основная задача электронной пушки, заключается в формировании интенсивного электронного пучка определенной конфигурации с заданными значениями тока и скорости и, по возможности, с ламинарным движением электронов.

В клистронах и ЛБВ типа О в целях получения большой высокочастотной мощности без существенного сокращения срока службы катода очень часто используются аксиально-симметричные электронные пучки с плотностью тока, превышающей допустимую плотность тока катода. Получить такие пучки можно, например, при помощи пушки Пирса, конструкция которой состоит из вогнутого сферического эквипотенциального катода с подогревателем, прикатодного фокусирующего электрода и анода с центральным отверстием. Обычно прикатодный электрод имеет потенциал, одинаковый с катодом, и располагается так, что его поверхность является как бы продолжением поверхности катода. Это дае основание называть такую пушку диодной. Путем соответствующего расчета формы электродов, производимого аналитическим методом или с помощью математического моделирования, в пушке создается такая конфигурация электрического поля, при которой электроны со всей поверхности катода равномерно сходятся в узкий электронный пучок, проходящий сквозь отверстие анода.

Степень сходимости электронов характеризуется так называемым коэффициентом сходимости (сжатия или компрессии). По мере увеличения коэффициента сходимости в пучке возрастают электростатические силы поперечного расталкивания, препятствующие сжатию пучка.

**1.2.2. Реверсная фокусировка электронных потоков.**

Применение фокусирующих систем с реверсом магнитного поля, отличаются тем, что на длине фокусирующей системы магнитное поле однократно или многократно меняет направление (реверсируется). На рис.1.1 и рис.1.2 приведены распределения магнитной индукции (*В*–кривые) для идеальной и реальной фокусирующих систем с

**Осевое распределение магнитной индукции (В–кривая) для идеального реверсивного поля**

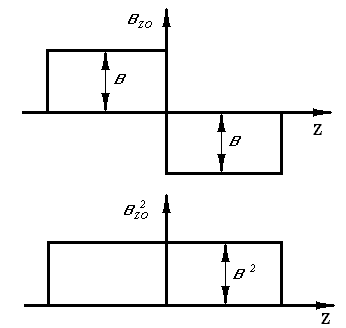


Рис.1.1.

**Осевое распределение магнитной индукции (В–кривая) для реальной реверсивной системы на постоянных магнитах.**

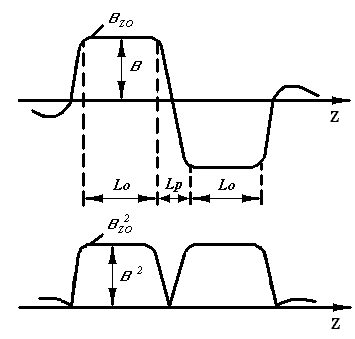


Рис.1.2.

однократным реверсом. Характерной особенностью *В*–кривых реверсивных систем является наличие двух областей: области однородного поля *L0* и области реверса *Lр*. *В* – кривые рис.1.1 соответствуют идеальному реверсивному полю, когда поле мгновенно меняет знак и протяженность области реверса равна нулю. Если бы такое поле удалось реализовать, то радиальное движение заряженных частиц в этом поле происходило бы так же, как в однородном поле той же напряженности. В практических реверсивных системах область реверса магнитного поля имеет конечную протяженность (рис.1.2). Так как магнитная индукция в области реверса меньше, чем в области однородного поля *(Вz02 < В2),* то, проходя эту область, фокусируемый пучок испытывает возмущение. В частности, первоначально равновесный пучок после прохождения зоны реверса будет пульсировать. Этот эффект может быть в значительной степени уменьшен в реверсивной системе с компенсирующими выбросами. Физически компенсирующее действие выбросов объясняется тем, что, проходя зону выбросов, частицы пучка получают некоторый избыточный радиальный импульс, который в определенной степени компенсирует уменьшение магнитной фокусирующей силы в зоне реверса. В первом приближении компенсирующие выбросы подбираются, с таким расчетом, чтобы среднеквадратичная индукция магнитного поля в области реверса с выбросами была равна индукции однородного поля:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Bр2 = | 1 | ⌠  ⌡ | Вz02 dz = B2. | (1.1) |
| Lp |
|  |  | Lp |  |  |

Применение реверсов магнитного поля позволяет существенно увеличить коэффициент использования магнитного поля. Более эффективное использование магнитного поля в реверсивных системах позволяет, в конечном итоге, существенно, примерно в 1 / (N + 1)2 раз, уменьшить массу и габариты фокусирующей системы (N – число реверсов).

**1.3. Современные методы расчета электронно-оптических систем мощных клистронов.**

**1.3.1. Расчеты ЭОС методом синтеза [2].**

Решение задачи формирования электронных потоков можно проводить двумя методами:

1. Заданы форма и потенциалы электродов и магнитное поле системы формирования. Требуется определить траектории электронов с учетом или без учета собственного пространственного заряда пучка.

2. Заданы требуемые траектории электронов. Определяются форма и потенциалы внешних электродов (а также распределение магнитного поля, если оно требуется), обеспечивающие создание заданных траекторий.

Первый метод получил название метода анализа, второй – метода синтеза систем формирования.

Классическим примером метода синтеза является расчет электродов пушек Пирса с прямолинейными траекториями. На этом примере, кстати, хорошо видно, что задача синтеза естественно распадается на две части – так называемые *внутреннюю* и *внешнюю* задачу теории формирования. Действительно, мы задаем траектории электронов, находим распределение потенциала внутри пучка (в методе Пирса – внутри соответствующего диода), а затем рассчитываем (или подбираем на ванне) форму фокусирующего электрода и анода вне пучка, обеспечивающие требуемое распределение потенциала.

Однако решение задачи по Пирсу предполагает, что анод не имеет отверстия. Поэтому, как только вводится в рассмотрение отверстие в аноде, положение резко изменяется: вблизи анода распределение потенциала и ход электронных траекторий становятся совсем не теми, которые заложены в расчет. Появляется так называемая анодная линза, которая изменяет распределение потенциала в пушке.

Имеет большой теоретический и практический интерес разработка последовательных методов синтеза систем формирования электронных потоков, на основании которых можно было бы быстро рассчитывать устройства, обеспечивающие пучки с заданным ходом траекторий.

Впервые метод синтеза в достаточно полной и последовательной форме был разработан Г. А. Гринбергом. Он записывает уравнения движения заряженной частицы в натуральной системе координат, т. е. в такой ортогональной системе, оси которой совпадают с направлениями касательной, главной нормали и бинормали к траектории в каждой ее точке. Такая запись позволяет решать как обратную, так и прямую задачу электронной оптики, т. е. либо по заданным электрическому и магнитному потенциалам внешних фокусирующих полей найти траектории пучка, либо по заданным траекториям найти внешние фокусирующие поля.

Уравнения Гринберга обладают большой общностью, обычно употребляемые уравнения параксиальной электронной оптики получаются из них как частный случай. Они позволяют провести подробный теоретический анализ систем фокусировки с криволинейной осью и решить ряд практических задач. В теории Гринберга рассматриваются только узкие пучки заряженных частиц и не учитывается его собственный объемный заряд.

Важный шаг в развитии метода синтеза был сделан В.Т. Овчаровым, который для нахождения решения внутренней и внешней задачи теории формирования предложил использовать криволинейную ортогональную систему координат. Выбор этой системы производится таким образом, чтобы одна из ее координатных линий совпадала с заданными траекториями, либо чтобы электронные траектории лежали на одной из координатных поверхностей. Введение такой надлежащим образом выбранной криволинейной системы координат позволяет свести задачу о нахождении потенциала внутри пучка электронов к решению обыкновенного дифференциального уравнения второго порядка. При таком подходе вся система формирования рассматривается как единое целое.

Как и всякая теория, теория синтеза систем формирования имеет определенные ограничения, связанные с необходимостью введения упрощающих предположений, и имеет свои трудности как в расчетном отношении, так и в отношении решения внешней задачи, то есть форм электродов и магнитных полей.

Основным недостатком ЭОС рассчитанных методом Синтеза является сложность формы вычисленных фокусирующих электродов и их не технологичность. Упростить сложную синтезную форму фокусирующих электродов можно используя расчет ЭОС методом Анализа, который описывается ниже.

**1.3.2. Расчеты ЭОС методом анализа.**

При расчете ЭОС методом Анализа известными считаются геометрия электродов, образующих электронно-оптическую систему, их потенциалы и распределение плотности объемного заряда в области, ограниченной контуром электродов. Для решения задачи о распределении потенциала в системе, применяются различные методы, основным из которых является метод конечных разностей.

Суть метода состоит в замене дифференциального уравнения соответствующим ему уравнением в конечных разностях, которое получается заменой производных их приближенными выражениями через конечные разности. Пусть рассчитываемое поле удовлетворяет двумерному уравнению Пуассона:

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | ∂2*U* | + | ∂2*U* | = - | *ρ* | . | (2.2) |
|  | ∂*y*2 | ∂*z*2 | *ε*0 |

Вторые производные потенциала в некоторой точке О рассматриваемой области могут быть следующим образом представлены через значения первых производных в соседних с ней точках *а, b,* *с*, *d*:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ∂2*U* | ≈ | 1 | [( | ∂*U* | )*a* - ( | ∂*U* | )*c*], | ⎫  ⎬  ⎭ | (2.3) |
| ∂*z*2 | *h* | ∂*z* | ∂*z* |
| ∂2*U* | ≈ | 1 | [( | ∂*U* | )*b* - ( | ∂*U* | )*d*]. |
| ∂*y*2 | *h* | ∂*y* | ∂*y* |

Входящие сюда первые производные могут быть также выражены через конечные разности:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ( | ∂*U* | )*a* ≈ | 1 | (*U*1 – *U*0), | ( | ∂*U* | )*c* ≈ | 1 | (*U*0 – *U*3), | ⎫  ⎬ (2.4)  ⎭ |
| ∂*z* | *h* | ∂*z* | *h* |
| ( | ∂*U* | )*b* ≈ | 1 | (*U*2 – *U*0), | ( | ∂*U* | )*d* ≈ | 1 | (*U*0 – *U*4). |
| ∂*y* | *h* | ∂*y* | *h* |

Здесь *U*1, *U*2*, U*3*, U*4 – значения потенциалов в точках *1, 2, 3, 4,* окружающих точку О.

Подставляя (2.4) в (2.3), находим:

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ∂2*U* | ≈ | 1 | [(*U*1–*U*0) - (*U*0–*U*3)], | ∂2*U* | ≈ | 1 | [(*U*2 – *U*0) - (*U*0 – *U*4)], |
| ∂*z*2 | *h*2 | ∂*y*2 | *h*2 |

и

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | ∂2*U* | + | ∂2*U* | ≈ | 1 | (*U*1 + *U*2+ *U*3+ *U*4 – 4*U*0). |
|  | ∂*y*2 | ∂*z*2 | *h*2 |

Отсюда получаем следующий конечно-разностный аналог уравнения Пуассона:

*U*1 + *U*2+ *U*3+ *U*4 – 4*U*0 = - *h*2*ρ* / *ε*0 .

#### Для двумерного уравнения Лапласа соответственно имеем

*U*1 + *U*2+ *U*3+ *U*4 – 4*U*0 = 0

Аналогично может быть получен конечно-разностный аналог уравнения Пуассона в цилиндрических координатах:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | ∂2*U* | + | 1 | × | ∂*U* | + | ∂2*U* | = - | *ρ* | ; |
|  | ∂*r*2 | *r* | ∂*r* | ∂*z*2 | *ε*0 |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *U*1 + *U*2+ *U*3+ *U*4 – 4*U*0 + | *h* | (*U*2 – *U*4) = - | *h*2*ρ* | , | (2.5) |
| 2*r*0 | *ε*0 |

где *r*0 – расстояние от оси симметрии до рассматриваемой точки.

Для точек, лежащих на оси симметрии, вместо (2.5) будем иметь:

*U*1 + *U*3+ 4*U*2 – 6*U*0 = - *h*2*ρ* / *ε*0 .

Записанные выше разностные уравнения связывают значения потенциала в отдельных дискретных точках, поэтому для расчета поля область, в которой ищется решение, покрывается квадратной сеткой с шагом *h.* Для каждого узла, лежащего внутри рассматриваемой области, составляется разностное уравнение, связывающее потенциал данного узла и четырех прилежащих к нему других узлов сетки. При этом узлам, совпадающим с границей области, приписываются фиксированные значения потенциала, равные потенциалам соответствующих точек границы.

Конечно - разностные уравнения, написанные для узловых точек сетки, образуют систему линейных алгебраических уравнений, число которых равно числу неизвестных. Таким образом, решение краевой задачи сводится к решению системы алгебраических уравнений. При этом граничные условия участвуют в решении через значения потенциалов граничных узлов и опорных точек.

Для уменьшения погрешности, связанной с заменой дифференциального уравнения разностным, необходимо уменьшать шаг сетки, что означает увеличение числа узлов и, соответственно, увеличение порядка системы уравнений. В расчетах количество узлов может достигать нескольких тысяч, вследствие чего непосредственное решение системы уравнений методом исключения оказывается невозможным и для решения используется метод последовательных приближений, иначе называемый методом итерации. В настоящее время этот метод, имеющий ряд разновидностей, получил широкое применение при расчетах полей на ЭВМ.

При расчете траектории электронов в ЭОС, широкое применение получил метод последовательных приближений, заключающийся в следующем. В качестве полей первого приближения берутся поля без учета собственных полей потока частиц. Эти поля используются для расчета траекторий первого приближения. Поля и траектории второго приближения рассчитываются с учетом (приближенным) собственных полей пучка. Процесс последовательных приближений продолжается до тех пор, пока результаты последующего *п* – го приближения не будут достаточно близки к результатам предыдущего (*n* – l) – гo приближения. В качестве критерия сходимости процесса могут, например, служить координаты и углы наклона траекторий частиц в некоторой выбранной плоскости анализируемой системы. В тех случаях, когда процесс последовательных приближений сходится, для получения конечного результата с необходимой для практики точностью обычно требуется 5 – 10 приближений.

При решении самосогласованных задач методом последовательных приближений используется дискретная модель потока частиц в виде траекторий – трубок тока. Для этого на входе в анализируемую систему поток частиц разбивается в поперечном направлении на *N* элементарных слоев – трубок тока. Парциальный ток каждой трубки Δ*Ik* рассчитывается исходя из площади поперечного сечения трубки и распределения плотности тока по сечению пучка (последнее предполагается известным). Этот ток приписывается одной «центральной» траектории трубки, ход которой и рассчитывается в дальнейшем. В таком случае решение самосогласованной задачи сводится к совместному решению уравнений поля, движения и непрерывности тока. Последнее применительно к данной модели пучка имеет вид Δ*Ik* = const. По известному распределению заряда производится расчет поля следующего приближения и т. д.

**1.4. Способы измерения реальных магнитных полей в мощных клистронах [3].**

В последнее время стали применяться полупроводниковые измерители магнитных полей, так называемые датчики э.д.с. Холла. Датчиками э.д.с. Холла можно измерять как постоянные, так и переменные магнитные поля.

Эффект Холла состоит в том, что на боковых гранях образца. Через который пропускается постоянный ток, при наличии внешнего магнитного поля возникает поперечная разность потенциалов. Для образца, сделанного из полупроводника в форме параллелепипеда, это разность потенциалов определяется уравнением

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| *Uy* = *R* | *ix Нz* | 10 – 8 *в*, | (2.6) |
| *d* |

Где *ix* – сила тока в образце, *Нz* – напряженность магнитного поля, *d* – толщина образца, *R* – константа Холла.

Таким образом, согласно формуле (2.6) при пропускании постоянного тока через образец в нем возникает разность потенциалов, которая будет пропорциональна напряженности магнитного поля. У датчиков э.д.с. Холла пропорциональность между *U* и *Н* соблюдается с точностью до нескольких процентов для полей порядка 2 × 104 *э*.

В настоящее время для изготовления датчиков используются полупроводники, обладающие большими подвижностями носителей тока. К ним относятся элементы Те, Вi, Ge, а также некоторые бинарные соединения со структурой цинковой обманки: НgSe¸ НgТе, InAs¸ InSb¸ Pbse, PbTe и AgTe.

Датчики э.д.с. Холла используются в виде тонких пластинок, которые вырезаются с помощью алмазных дисковых пил из монокристалла или поликристалла. Отрезанные пластинки шлифуются и подвергаются специальной обработке. Пленочные датчики выполнятся из НgSe и НgТе в виде тонких пленок (до 10 мк). Они получаются методом напыления полупроводника на стеклянный или слюдяной базис, через определенные трафареты. Поверхность базиса предварительно тщательно очищается. После чего наносятся металлические электроды нужной формы. Электроды изготовляются путем испарения меди в вакууме или методом вжигания серебряной пасты. Только после этого на базис, нагретый до 1000, наносится слой полупроводника. Полученные пленочные датчики подвергаются отжигу при температуре 100 – 1100, чтобы обеспечить лучшую стабильность их параметров.

Чувствительность отожженных датчиков в течение одного года изменяется только на 2 – 3%. Для предохранения датчиков от различных механических повреждений пленки полупроводника покрываются тонким слоем клея БФ-2. При изготовлении датчиков э.д.с. Холла большое внимание уделяется получению хорошего электрического контакта с полупроводником.

Контакты выполняются таким образом, чтобы они не вызывали ни ослабления, ни искажения сигнала, а при работе на переменном токе они не должны обладать выпрямительными свойствами. Для этого или шлифуется поверхность полупроводника, или наносится в некоторой ее области слой очень высокой проводимости, сделанный из того же полпроводника, что и основной слой датчика, но с большей концентрацией носителя тока.

**1.5. Постановка задачи.**

Как следует из проделанного обзора литературы расчет фокусирующей системы мощного клистрона с реверсной магнитной фокусировкой представляет собой решение сложной задачи электронной оптики. Из обзора также следует, что в последние годы разработаны аналитические и численные методы расчета ЭОС, использование которых позволяет сравнительно быстро провести проектирование ЭОС в том числе и с реверсной фокусировкой.

Основной целью данной работы является использование современных компьютерных программ расчета для анализа и оптимизации клистрона КИУ-147, разработанного около 15 лет тому назад. Этот клистрон используется в ускорительной технике и имеет следующие параметры:

Импульсная мощность, мВт – 5;

Средняя мощность, кВт – 25;

Частота, мГц – 2450;

КПД, % - 44;

Коэффициент усиления, дБ – 50.

В клистроне применяется двух реверсная магнитная фокусирующая система на радиально намагниченных магнитах которая формирует сорока лучевой электронный поток с суммарным первеансом 20 × 10-6 А/В3/2.

Основной задачей дипломной работы является расчет конфигурации электронных лучей от катода до конца пролетного канала и последующая оптимизация ЭОС на основе современных компьютерных программ расчета.

Исходные данные:

1. Анодное напряжение – 52 кВ;

2. Количество электронных лучей – 40;

3. Расположение электронных лучей:

а) диаметр 84 – 21 луч,

б) диаметр 64 – 19 лучей;

4. Диаметр пролетного канала 6,5 – 8 мм;

5. Суммарный первеанс ≈ 20 × 10-6 А/В3/2;

6. Диаметр катода – 8,6 мм.

**2. Современные программы проектирования ЭОС и их использование для расчета и оптимизации реверсной магнитной фокусирующей системы мощного клистрона.**

**2.1. Программа «Синтез», созданная на основе использования теории В.Т. Овчарова [4].**

Для расчета ЭОС методом Синтеза изложенном в параграфе 1.3.1 использована теория Овчарова. В этой теории все внутренние траектории вычисляются из крайней с помощью выражения

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | r | = q2ϕ | Z | , | (2.1) |
|  | Ф0 | *l* |

где *ϕ -* функция, описывающая крайнюю траекторию электронного пучка в цилиндрической системе координат; *r -* радиальная координата цилиндрической системы координат; *Z -* продольная координата цилиндрической системы координат; *Ф0* - единица измерения радиальных размеров пучка; *l -* единица измерения продольных размеров пучка; *q2* – криволинейная ортогональная координата.

Для крайней траектории пучка *q2* = 1, для осевой *q2* = 0, а для остальных 0< *q2* <1.

Решение внутренней задачи формирования аксиально-симметричного электронного пучка сводится к решению следующего дифференциального уравнения:

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *ϕ2u” + 2ϕϕ’u’ + 4uϕϕ″ + 2* | *ϕ4h2 - ϕκ4hκ2* | = | *i* | . | (2.2) |
| *ϕ2* | *√ u* |

В этом уравнении *ϕ(x)* - функция, описывающая крайнюю траекторию электронного пучка и по виду совпадающая c функцией *ϕ(Z/l)* выражения (2.1); *и(x) -* функция, описывающая распределение потенциала на оси пучка; *h(x) -* функция, описывающая распределение магнитного поля на оси пучка; *hκ = h(0) -* значение функции *h(x)* на катоде; *ϕκ* = *ϕ(0)* - значение функции *ϕ(x)*  на катоде.

Поскольку на оси пучка криволинейная система координат совпадает с цилиндрической, функции *и(х)* и *h(x)* тождественны функциям, описывающим соответственно распределение потенциала и магнитного поля на оси пучка в цилиндрической системе координат.

Штрихами в уравнении (2.2) обозначено дифференцирование по переменной *х*. Входящая в (2.2) постоянная вычисляется по формуле



|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| *= 0,297* | *H0 l* | *,* | (2.3) |
| *√ V0* |

где *Н0 -* единица измерения магнитного поля, Э; *l -* единица измерения продольных размеров пучка, см; V0 - единица измерения потенциала, В.

Входящая в (2.2) постоянная *i* характеризует ток пучка. Она связана с микропервеансом пучка (по потенциалу *V0*) следующим соотношением:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| *i =* | *0,0605 Pμ* | *,* | (2.4) |
| *μ2* |

где *μ = (Ф0 / l)*; *Pμ -* микропервеанс пучка, мкА/В3/2.

Внешняя задача в параксиальной теории формирования решается в криволинейной системе координат. При этом используется трансцендентное уравнение

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| *V = u + μ2q22 (u ϕ ϕ″ +* | *2* | × | *ϕ4 h2 - ϕκ4 hκ2* | *) +* |
| *4* | *ϕ2* |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| *+* | *μ²i* | *(1 – q22 + ln q22),* | (2.5) |
| *4√ u* |

где *V* = U /U0 - потенциал иcкомой эквипотенциали.

Уравнение (2.5) решается относительно функции *q2 (x)* для каждого значения *x.*

В результате решения вычисляется функция *q2\*(x)*, определяющая форму искомой эквипотенциали в криволинейной ортогональной системе координат.

Далее делается переход от криволинейной системы координат к цилиндрической с помощью уравнения

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | *dξ* | = - | *μ2 ϕ(ξ) ϕ′(ξ)* | *q2* , | (2.6) |
| *d q2* | 1 + *[μ q2 ϕ′(ξ)]2* |

которое решается при следующих начальных условиях:

|  |  |
| --- | --- |
| *q2 = 0; ξ = x.* | (2.7) |

Интегрирование производится до *q2 = q2\**, где *q2\** - решение уравнения (2.5) для данного *x*.

Соответствующее *q2\** значение переменной ξ есть ξ\*, которая используется дня вычисления цилиндрических координат *r* и *z*:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| ⎧  ⏐  ⎨  ⏐  ⎩ | *r* | = *μ q2\* ϕ(ξ)\** ; | (2.8) |
| *l* |
|  |  |
| *Z* | = ξ\* . |
| *l* |

В большинстве практических случаев уравнения (2.5) и (2.6), определяющие внешнюю задачу, могут быть решены лишь численно с помощью электронных вычислительных машин.

Распределение потенциала внутри пучка в первом приближении параксиальной теории формировании в криволинейной системе координат определяется уравнением

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *V1 = u + μ2q22* (*u ϕ ϕ″ +* | *2* |  | *ϕ4 h2 - ϕκ4 hκ2* | ), | (2.9) |
| *4* | *ϕ2* |

где *V1* - потенциал искомой эквипотенциали. Распределение плотности тока внутри пучка в криволинейной системе координат является однородным.

**Расчет электростатических электронных пушек.**

Выберем за единицу измерения радиальных размеров системы формирования *Ф0* начальный радиус пучка, а за единицу продольных размеров пушки *l -* расстояние от катода до точки пролетного канала, в которой потенциал на оси пучка достигает своего постоянного значения *U0* (рис. 2.1). Величину *U0* примем за единицу измерения потенциала.

При решении внутренней задачи для электростатической ЭОС имеются лишь две возможности: либо задаются траектории электронов в системе, а осевое распределение потенциала вычисляется из уравнения (2.2), либо, наоборот, задается распределение потенциала на оси системы, а из уравнения (2.2) вычисляются траектории электронов.

Как распределение потенциала [Функция *и(х)*]*,* так и траектория электронов [функция *f(x)*] в электронной пушке должны подчинятьcя определенным условиям. Условия для функции *и(х):*

|  |  |
| --- | --- |
| *х* =0, *и(х)* =0, *и’(х)* =0; | (2.10) |
| *x* ≥ 1, *u* = 1, *u’* = *u”* = 0. | (2.11) |

Условия (2.10) обеспечивают работу катода в режиме пространственного заряда, а условия (2.11) - отсутствие электрического поля на оси в заданном пространстве пушки.

Условие для функции *ϕ(x)* при *х=*0:

|  |  |
| --- | --- |
| *ϕ”(х)* = 0. | (2.12) |

Условие (2.12), как показано в теории формирования**,** обеспечивает сферичность эмитирующей поверхности катода.

Рассмотрим расчет пушки по принципу, когда задается функция *и(х)*,а вычисляется функция *ϕ(x).* В этом случае функцию *и(х)* можно задать так, чтобы условия (2.10), (2.11) выполнялись, но дополнительно нужно еще отыскать такой способ задания функции *и(х)* в области малых значений *х*, при котором функция *ϕ(x)*, вычисленная из уравнения (2.2), отвечала бы условию (2.12).

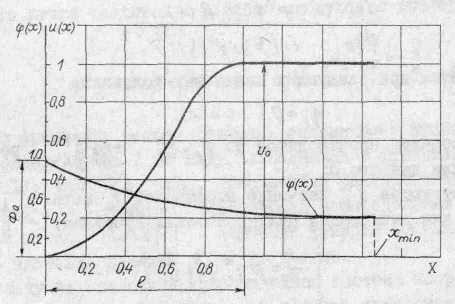
Если такой способ задания функции *и(х)* найден, то, проведя расчет нескольких вариантов решения внутренней задачи, можно выработать рекомендации по расчету электронных пушек, формирующих пучки с заданными параметрами.

Для решения уравнения (2.2) необходимо задать начальные условия. Решение внутренней задачи для электронной пушки удобнее проводить от катода, задавая значение функций *и(х)* и *и'(х)* при *х* = 0. Однако в этом случае на катоде *и(х)* = 0 и правая часть уравнения (2.2) обращается в бесконечность. Эту трудность можно обойти следующим образом. При заданной функции *и(х)* найдем приближенное аналитическое решение уравнения (2.2), справедливое в области малых *х*. При решении уравнения (2.2) с помощью полученного таким образом аналитического выражения сделаем первый шаг с катода в точку, в которой функция *и(х)* уже не равна нулю. Далее можно проводить решение уравнения (2.2) с помощью ЭВМ. Будем при расчете электростатической электронной пушки задавать функцию *и(х)* следующим выражением:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| *u* = *kx4/3*ƒ*2*, | | | (2.13) |
|  | 5 |  | |
| где | ƒ = 1 + Σ *an xn*, | (2.14) | |
|  | n = 1 |  | |

*k*, *an* (*n* = 1,2,…..5) – некоторые постоянные коэффициенты.

**К расчету электронной пушки.**



Риc. 2.1.

Очевидно, что функция *и(х),* заданная выражением (2.13), всегда положительна (при положительных *х*) и удовлетворяет условию (2.10). В области малых *х* функция *и(х)* совпадает о функцией *kx4/3*, описывающей распределение потенциала в плоском диоде.

Коэффициенты *а1*, *а2*, полинома (2.13) выберем таким образом, чтобы удовлетворялось условие (2.12), а с помощью коэффициентов *а3*, *а4*, *a5* удовлетворим условию (2.11).

С целью отыскания соответствующих коэффициентов *а1*, *а2*, найдемдля функции *и(х)*, заданной выражением (2.13), приближенное решение уравнения (2.2), справедливое в области малых *х*.

При этом решение для функции *ϕ(х)* будем искать в виде

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | 5 |  |
|  | *ϕ(х)* = 1 + Σ *вn xn*, | (2.15) |
|  | n = 1 |  |

Из этого выражения следует, что значение *ϕ"(x)* при *х* = 0 определяется значением *в2*. Поэтому для выполнения условия (2.12) необходимо найти такие значения коэффициентов *an*, при которых *в2* обращается в нуль. С этой целью подставим выражения (2.13), (2.15) в уравнение (2.2) и, приравнивая нулю коэффициенты при одинаковых степенях *х,* выразим *вn* через *an*. Расчет показывает, что *вn* выражается через коэффициенты *а1*, *а2* и для выполнения условия *в2*= 0 эти коэффициенты должны вычисляться по следующим формулам:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| *а1* = - | 8 | *в1* ; | (2.16) |
| 15 |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| *а2* = | 361 | *в12* . | (2.17) |
| 900 |

Как следует и (2.15), коэффициент *в1* определяет значение первой производной от функции *ϕ(x)* в точке *x* = 0, т.е. на катоде. Поэтому введем обозначение *в1* = ϕ′κ, с учетом которого формулы (2.16) и (2.17) запишутся:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| *а1* = - | 8 | ϕ′κ ; | (2.18) |
| 15 |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| *а2* = | 361 | *(*ϕ′κ*)2* . | (2.19) |
| 900 |

Этот расчет также показывает, что в области малых *х* коэффициенты *к, в3*, *в4* связаны с постоянными коэффициентами *i, а3*, *а4* следующими соотношениями:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| *κ* = ( | 9 | *i*)2/3; | (2.20) |
| 4 |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *в3* = - | 33 | ( | 74377 | *(*ϕ′κ*)3 + а3*); | (2.21) |
| 37 | 222750 |

|  |  |
| --- | --- |
| *в4* = 0,228771 *(*ϕ′κ*)4* + 1,154518 ϕ′κ *в3* – 0,783582 *а4* | (2.22) |

С помощью этих соотношений можно вычислить приближенное решение уравнения (2.2), справедливое в области малых *х*, если значения коэффициентов *а3*, *а4* известны.

Теперь вычислим такие значения коэффициентов *а3*, *а4*, *а5*, при которых удовлетворяются условия (2.11). Для этого возьмем первую и вторую производные от функции *и(х)* и в точке *х* = 1 положим *u(*1*)* = 1, *u'(*1*)* = 0, *u"(*1*)* = 0. Подучим систему трех уравнений, решая которую относительно *а3*, *а4*, *а5*, найдем:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *а3* = | 119 | ( | 9 | *i*)-1/3 – 10 + | 48 | *ϕ′κ* – | 361 | (*ϕ′κ*)2 ; | (2.23) |
| 9 | 4 | 15 | 300 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *а4* = – | 187 | ( | 9 | *i*)-1/3 – 10 + | 64 | *ϕ′κ* + | 361 | (*ϕ′κ*)2 ; | (2.24) |
| 9 | 4 | 15 | 900 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *а5* = | 77 | ( | 9 | *i*)-1/3 + | 24 | *ϕ′κ* – | 361 | (*ϕ′κ*)2 – 6 . | (2.25) |
| 9 | 4 | 15 | 900 |

Уравнения (2.13), (2.18), (2.19), (2.23) – (2.25) определяют способ задания функции *и(х)*, при котором выполняются как условия (2.10), (2.11), налагаемые на функцию *и(х)*, так и условие (2.12), налагаемое на функцию *ϕ (х).*

После того как определена функция *и(х)*, можно приступать к решению внутренней задачи для электростатической электронной пуша, т.е. к решению уравнения (2.2).

Будем решать уравнение (2.2) с помощью ЭВМ при следующих начальных условиях: *х* = *х*0; *ϕ* = *ϕ*0; *ϕ*’ = *ϕ*’0

Значение параметра *х*0 выберем малым (0,0001 + 0,01), а значения *ϕ*0 и *ϕ’*0 для точки *х* = *х0* вычислим в соответствии с (2.15) по следующим формулам:

|  |  |
| --- | --- |
| *ϕ0* = 1 + *ϕ′κ* *х0* + *в3* *х03* + *в4* *х04* ; | (2.26) |
| *ϕ’0* = *ϕ′κ* *х0* + 3 *в3* *х02* + 4 *в4* *х03* . | (2.27) |

Значения коэффициентов *в3*, *в4* в области малых *х,* должны вычисляться по формулам (2.21), (2.22), а входящие в них значения *а3*, *а4*, *а5*, определяются соотношениями (2.22) - (2.25).

Решение уравнения (2.2) c помощью ЭВМ будем проводить до точки *xкр*, в которой производная *ϕ’(х)* обращается в нуль, т.е. до кроссовера пучка.

При решении внутренней задачи для электронной пушки необходимо задавать значения параметров *i*, *ϕ′κ*. Параметр *i*, как следует из (2.4), характеризует первеанс рассматриваемой пушки. Параметр *ϕ′κ* определяет радиус кривизны катода пушки (*Rкp*), который вычисляется по формуле:

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | *Rкp* | = - | 1 | . | (2.28) |
|  | *l* | *ϕ′κ* |

Внешняя задача также решается с помощью ЭВМ. При этом с помощью уравнения (2.5) находится решение внешней задачи в криволинейной системе координат, а затем, решая уравнение (2.6), осуществляем переход к цилиндрической системе координат. При решении внешней задачи необходимо задавать параметр V = *U* / *U0*, где *U -* потенциал того электрода, форма которого вычисляется. При расчете геометрии прикатодного фокусирующего электрода значение параметра V полагается равным нулю, а при расчете формы анода пушки значение параметра V следует вычислять по формуле

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| V = 1 + | *μ2i* | (1 – *ln в2*) , | (2.29) |
| 4 |

где *в* = *rn* / *rκ* - коэффициент заполнения канала пучком; *rn*, *rκ* *-* соответственно радиусы пучка и пролетного канала.

Выражение (2.29) характеризует провисание потенциала в трубе дрейфа прибора, заполненной пучком с микропервеансом *Рμ* и коэффициентом заполнения *в*. Оно следует из уравнений (2.2), (2.5) с учетом (2.11).

После решения внутренней и внешней задач по описанной выше методике необходимо с помощью (2.28) вычислить радиус кривизны катода *Rкp*. Радиус катода, характеризующий площадь его эмитирующей поверхности, определяется точкой пересечения дуги радиуса *Rк* с графиком функции *ϕ (х)*.

Обобщим результаты решения внутренней задачи для электростатической пушки и составим методику расчета пушки с заданными значениями параметров.

Вследствие выполнения условия (2.12) функция *ϕ(х)* в области малых значений *х* представляет собой прямую линию, образующую с осью *х* угол *ϕ′κ*. Поэтому радиус катода *rκ* можно вычислить в результате решения задачи о пересечении этой прямой с дугой окружности, радиус которой определяется выражением (2.28). Решив эту задачу, получим:

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | *rκ* | = | 1 | . | (2.30) |
|  | *l* | √ (*ϕ′κ*)2 + (1 / *μ*)2 |

Обозначим радиус пучка в кроcсовере *rкр*. Очевидно, что *rкр* определяется значением функции *ϕ(х)* в кроссовере *ϕκp* и может быть вычислен с помощью выражения:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | *rкр* | = *μ* *ϕκp* . | (2.31) |
|  | *l* |

Введем понятие линейной сходимости пучка, определив ее как отношение радиуса катода *rк* к радиусу пучка в кроссовере *rкр*. Из уравнений (2.31), (2.30) для линейной сходимости электронного пучка получим следующее выражение:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| S = | 1 | . | (2.32) |
| *ϕκp* √ 1 + (*ϕ′κ* *μ*)2 |

Зависимость *ϕκp* от *ϕ′κ*, получена в результате решения внутренней задачи для различных значений параметра *ϕ′κ*, лежащих в интервале 1,2 ≤ *ϕ′κ* ≤ 2,4. При этом значение параметра *i* оставалось неизменным и равным 0,4. Вычисленная зависимость была аппроксимирована выражением

|  |  |
| --- | --- |
| *ϕκp* = 1,05 + 0,709 *ϕ′κ* + 0,125 (*ϕ′κ*)2 . | (2.33) |

Подставляя (2.33) в (2.32), получим:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| S = | *в* | . | (2.34) |
| [1,05 + 0,709 *ϕ′κ* + 0,125 (*ϕ′κ*)2] × √ 1 + (*μϕ′κ*)2 |

Уравнение (2.34) может быть использовано для вычисления значений параметра *ϕ′κ*, при котором пушка формирует пучок с заданным значением сходимости S*.*

При создании методики расчета электростатической пушки будем считать заданными первеанс электронного пучка *Рμ*, линейную сходимость электронного пучка S и коэффициент заполнения канала пучком *в.*

Для решения внутренней задачи необходимо задать значения параметров *i, ϕ′κ*, а для решения внешней задачи - дополнительно значения коэффициента *μ* и потенциалов V1, V2. Потенциал V1 определяет форму прикатодного фокусирующего электрода пушки, а потенциал V2форму анода пушки. Поэтому значение V1 положим равным нулю, а значение V2 вычислим по заданным значениям *Рμ* и *в с* помощью формулы (2.29). Значение параметра *i* выберем равным 0,4. Значение параметра *ϕ′κ* найдем по заданному значению S и вычисленному значению *μ* с помощью уравнения (2.34). Это уравнение трансцендентное и решение его возможно лишь с помощью ЭВМ.

После того как значения параметров *i*, V1, *ϕ′κ*, *μ* определены с помощью ЭВМ, можно провести полный расчет пушки, формирующей пучок с заданными параметрами.

Такой алгоритм расчета реализован в программе «Синтез». Эта программа вычисляет геометрию электронной пушки для клистронов и ламп бегущей волны. Для вычисления необходимо задать три параметра:

Рμ – микропервеанс электронного потока;

S – линейную сходимость электронного потока;

b – коэффициент заполнения пролетного канала электронным потоком.

В результате расчета определяется теоретическая и технологическая геометрия электронной пушки для клистронов и ламп бегущей волны.

**2.2. Программа «Алмаз» по расчету ЭОС методом анализа.**

Для расчета ЭОС методом Анализа изложенном в параграфе 1.3.2 использована программа «Алмаз». Эта программа состоит из двух загрузочных модулей: aupr.exe – расчетный модуль, grafl.exe – графический модуль.

Для выполнения расчетов по программе aupr.exe необходимо предварительно подготовить файл исходных данный «fd». Затем выполнить расчеты с помощью программы aupr.exe. При этом по запросу ЭВМ указать файл вывода результатов расчета «frl». В процессе расчета программа сама создает следующие файлы для построения результатов расчета в графической форме:

geom - для построения геометрии,

traek - для построения траекторий электронов,

tok - для построения распределения плотности тока.

Для получения результатов расчета в графической форме необходимо запустить программу grafl.exe, работающей в режиме диалога, и в соответствии с запросами осуществить вывод результатов расчета в виде графиков.

При этом в программе grafl.exe работают пункты меню в соответствии со следующей таблицей:

1. Геометрия – работает.
2. Траектории – работает.
3. Эквипотенциали эл. поля – не работает.
4. График распределения BZ – не работает.
5. График распределения JZ – не работает.
6. График токооседания – не работает.

При повторном выполнении расчетов необходимо предварительно ввести в файл «fd» новые данные и удалить файлы «frl», «geom», «traek», «tok», старого варианта.

При подготовке исходных данных ввод исходных данных осуществляется с дисплея. Данные вводятся в виде последовательности строк, содержащих наименования массивов и переменных и их числовые значения.

Числовые значения вводятся в виде строки чисел действительного типа форматом 8F8.0, причем последовательность ввода массивов и переменных должна строго выполнятся.

При подготовке исходных данных необходимо придерживаться следующих правил:

1. Сначала вводится строка, содержащая наименования переменных или массива и символы – разграничители «I», определяющие начало и конец поля, в котором располагаются числовые значения в соответствии с указанным форматом (8F8.0).

2. В следующей строке записываются под наименованием переменных или массива соответствующие числовые значения. Числовые значения массива могут располагаться в нескольких строках.

3. Числа могут располагаться в любом месте в пределах отведенного для них поля.

4. Количество символов в числе, включая знак и кодовую точку для чисел действительного типа не должно превышать ширины поля.

5. Знак «+» у чисел можно опускать.

Далее приведены наименования переменных, их назначение, последовательность массивов, которые объединяют эти переменные:

**Массив 1** описывает общие данные о приборе, данные определяющие точность решения:

RU – максимальные размер области для поля по оси R.

RF – максимальный размер области для пространственного заряда по оси R.

ZU– максимальные размер области для поля по оси Z.

TTT – конец прибора по оси Z и последняя плоскость симметрии.

FH – число узлов, приходящихся на область перекрытия. FH = S /H, где S – протяженность участка прибора, общего для соседних областей (область перекрытия) S = 1.5dk, где dk – диаметр канала.

H – шаг разностной сетки, выбираемой из условий:

H>=RU/147,

H>=RF/147,

H>=ZU/297.

VQ – шаг интегрирования. VQ = (2-3)\*H.

U – анодное напряжение в вольтах.

FK – расстояние от катода до плоскости. В которой определяется ток и первеанс прибора. FK = (2-3)\*H.

RK – радиус кривизны катода.

HK – высота катода.

ZO – координата по оси Z центра окружности катода.

Y1, Z1 Y2, Z2 – координаты конического катода (временно не используются) и полагаются равными Y1 = Z1 = Y2 = Z2 0.

FE – число слоев электронного потока FE<=30.

GE – критерий сходимости потенциала при расчете поля. GE = 0.001 – 0.0001.

RM– критерий неоднородности магнитного поля.

NP – число плоскостей симметрии, которыми прибора разбивается на отдельные области NP<=30.

IWN – число линий второго порядка, описывающих контур прибора.

IWP – число линий первого порядка, описывающих контур прибора.

NPR – максимальное число последовательных приближений при расчете каждой области.

NS – параметр, задающий частоту вывода цифровой информации на печать. При NS = 0 информация выводится на каждом шаге интегрирования.

NPL – число вводимых в массив Х15 плоскостей.

TK – температура катода в градусах Кельвина. Для расчета без учета влияния тепловых скоростей положить TK = 0.

NEG – число энергетических групп для многоскоростного потока NEG = 1-3.

**Массив 2** описывает плоскости, в которых определяется токопрохождение.

Х15 (1) – Z1

Х15 (2) – Z2

Х15 (30) – Z30

Примечание:

1. Первые плоскости должны находиться в местах геометрической симметрии прибора. Число их не должно превышать 30.

2. Х15 (1) равно начальной границе прибора.

3. Х15 (NP) = TTT.

4. При расстановке плоскостей симметрии, на которые разбивается прибор, должно выполняться условие:

max (Х15 (i + 1) - Х15 (i)) <= ZU – FH\*H

**Массив 3** описывает контур прибора и потенциалы на электродах. Геометрические размеры прибора должны быть заданы в (мм).

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Х4 | (1) | ZH – | ⎫  ⎪⎬  ⎪⎭ | координаты начала (ZH, RH) и конца (ZK, RK) линии второго порядка |
|  | (2) | RH – |
|  | (3) | ZK – |
|  | (4) | RK – |
|  | (5) | UH – | нормированный потенциал электрода | |
|  | (6) | ZO – | ⎫  ⎬  ⎭ | координаты центра окружности |
|  | (7) | RO – |
|  | (8) | R – | радиус окружности | |
|  | (К) | ZH – | ⎫  ⎪⎬  ⎪⎭ | координаты начала (ZH, RH) и конца (ZK, RK) линии первого порядка |
|  | (К+1) | RH – |
|  | (К+2) | ZK – |
|  | (К+3) | RK – |
|  | (К+4) | UH – | нормированный потенциал электрода | |

Примечание:

1. Все числа, описывающие данную линию набираются в одной строке.

2. Все линии второго порядка должны быть описаны в начале массива восемью числами (ZH, RH, ZK, RK, UH, ZO, RO, R). Линии первого порядка описываются после линий второго порядка пятью числами (ZH, RH, ZK, RK, UH).

3. Конец прибора должен быть замкнут.

4. Максимальный размер массива Х4 (500).

**Массив 4** описывает данные о магнитном поле.

B – максимальное значение продольной магнитной индукции в гауссах.

R1, R2– значения радиусов, на которых задается распределение магнитной индукции по оси Z, причем R1 = 0.5\* RO (RO – радиус канала), R2 = 2\*R1.

TM – начальная граница магнитного поля, ТМ <= (ZO – RK) – HM.

HM – расстояние между соседними точками по оси Z для значений магнитной индукции.

NM – число табличных значений магнитной индукции по оси вдоль всего прибора при R = 0. NM <= 200.

**Массив 5** описывает распределение магнитной индукции по оси Z.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| XM | (1) | BZH1 – | ⎫  ⎬  ⎭ | табличные нормированные значения магнитной индукции по оси Z. |
|  | (2) | BZH2 – |

Примечание:

1. Распределение магнитной индукции задается при R = 0, R = R1, R = R2.

2. Если магнитное поле однородно по оси R (RM = 1), то распределение магнитной индукции задается только для R = 0 (осевое распределение BZN).

3. Массивы 4, 5 не вводятся при RM = 0, т.е. когда магнитное поле отсутствует.

4. Данные о магнитном поле должны быть по всей длине прибора.

2.3. Расчет существующего варианта ЭОС прибора КИУ-147.

Расчет производился методом анализа по программе «Алмаз» описанной в параграфе 2.2. Для этого создавался файл исходных данных «fd». Расчет проводился при анодном напряжении 52 кВ и при максимальном значении амплитуды магнитного поля 926 Гс. Результат расчета показан на рис.2.2, а соответствующий файл исходных данных представлен в таблице 2.1.

На этом рисунке показано распределение реверсного магнитного поля на оси одного из пролетных каналов наружного ряда отверстий. Здесь же показана траектория электронов формируемого электронного потока. Расчетное значение первеанса одного луча составило Рμ = 0,57 мкА/В3/2, а ток одного луча 6,7 А. Учитывая, что в приборе образовано 40 пролетных каналов суммарный расчетный первеанс используемой ЭОС составил Рμ = 22,8 мкА/В3/2.

Как следует из результатов расчета, максимальное значение радиуса электронного потока достигается в выходной части прибора R = 2,7 мм. Радиус пролетной трубы клистрона составляет 3,25 мм. Поэтому

**Результаты расчета существующего варианта ЭОС.**

Катод

Траектории

Магнитное поле

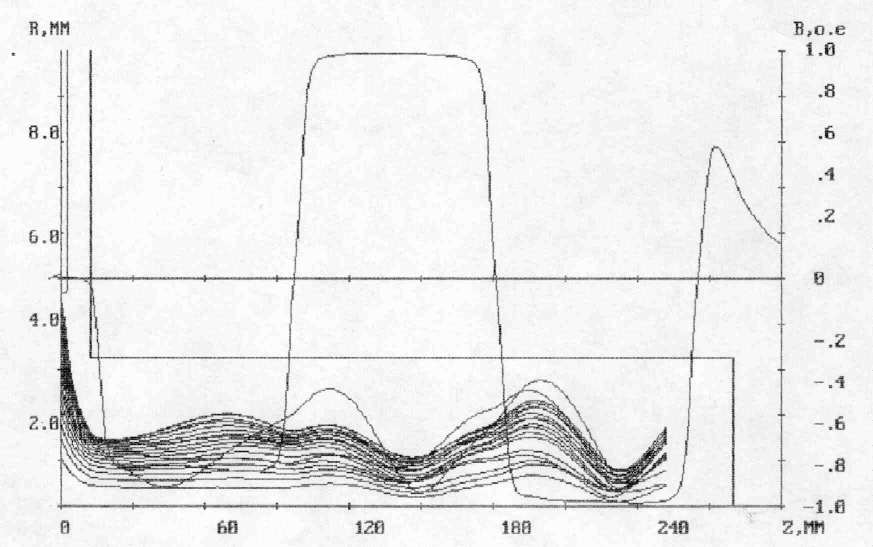


Рис.2.2.

Таблица 2.1

**Файл исходных данных к рисунку 2.2.**

RU I RF I ZU I TTT I FH I H I VQ I U I

22. 5. 45. 240. 40. 0.16 0.32 52000.

FK I RK I HK I ZO I Y1 I Z1 I Y2 I Z2 I

0.32 11. 0.89 11. 0. 0. 0. 0.

FE I GE I RM I NP I IWN I IWP I NPR I NS I

19. 0.001 1. 10. 1.0 7.0 10.0 2.

NPL I TK I NEG I I I I I I

10. 0. 1.

X15 I I I I I I I I

-0.24 40. 70. 100. 130. 160. 190. 220.

250. 280.

X4 I I I I I I I I

0.0 0.0 0.89 4.34 0.0 11. 0.0 11.

-1.0 4.34 0.89 4.34 0.0

-1.0 4.7 2.2 4.7 0.0

2.2 4.7 2.4 4.9 0.0

2.4 4.9 2.4 23. 0.0

11.96 23. 11.96 3.25 1.0

11.96 3.25 270. 3.25 1.0

270. 3.25 270. 0. 1.0

BM I R1 I R2 I TM I HM I NM I I I

1000. 0.3 0.7 -6. 1.5 200.

XM I I I I I I I I

0.014 0.014 0.015 0.015 0.015 0.015 0.015 0.015

0.015 0.014 0.011 0.002 -0.021 -0.092 -0.247 -0.486

-0.674 -0.754 -0.787 -0.798 -0.803 -0.805 -0.805 -0.806

-0.805 -0.805 -0.804 -0.804 -0.803 -0.802 -0.801 -0.801

-0.800 -0.799 -0.799 -0.800 -0.801 -0.801 -0.801 -0.802

-0.804 -0.805 -0.807 -0.808 -0.811 -0.813 -0.814 -0.816

-0.817 -0.819 -0.821 -0.822 -0.823 -0.823 -0.824 -0.823

-0.822 -0.821 -0.820 -0.817 -0.813 -0.802 -0.780 -0.717

-0.578 -0.330 -0.097 0.087 0.320 0.615 0.823 0.906

0.942 0.956 0.964 0.969 0.972 0.976 0.978 0.980

0.982 0.984 0.985 0.986 0.986 0.986 0.986 0.986

0.986 0.986 0.986 0.986 0.986 0.985 0.985 0.985

0.984 0.985 0.985 0.984 0.984 0.984 0.984 0.983

0.982 0.981 0.980 0.979 0.977 0.975 0.973 0.970

0.966 0.962 0.956 0.942 0.914 0.834 0.661 0.368

0.106 -0.091 -0.333 -0.613 -0.800 -0.873 -0.905 -0.917

-0.925 -0.929 -0.932 -0.935 -0.938 -0.940 -0.943 -0.945

-0.946 -0.948 -0.949 -0.950 -0.950 -0.951 -0.951 -0.952

-0.952 -0.953 -0.953 -0.954 -0.954 -0.955 -0.957 -0.958

-0.958 -0.958 -0.959 -0.960 -0.960 -0.961 -0.962 -0.962

-0.961 -0.960 -0.959 -0.958 -0.957 -0.955 -0.951 -0.946

-0.937 -0.917 -0.876 -0.768 -0.578 -0.320 -0.092 0.089

0.278 0.451 0.557 0.586 0.583 0.557 0.524 0.487

0.449 0.413 0.379 0.347 0.319 0.293 0.270 0.249

0.229 0.213 0.199 0.186 0.174 0.164 0.155 0.148

максимальное значение коэффициента заполнения канала пучком (b) по результатам расчета составляет b = 0,875. Такое значение коэффициента заполнения канала пучком является недопустимо высоким и может служить причиной большого токооседания пучка на стенки пролетного канала в динамическом режиме работы прибора. В связи с этим встает задача оптимизации данной ЭОС с целью уменьшения радиуса формируемого пучка при сохранении значения первеанса.

Анализ результатов расчета представленный на рис.2.2 показывает, что имеется две причины, приводящие к увеличению радиуса пучка в выходной части прибора:

- неламинарность электронных траекторий в формируемом электронной пушкой пучке. Крайняя траектория пучка формируемого пушкой пересекает все остальные траектории, близко подходит к оси, а затем, расширяется и приводит к увеличению заполнения канала пучком;

- не оптимальность фазы влета пучка во второй реверс. Как следует из рис.2.2, при подходе ко второму реверсу электронный пучок является расширяющимся. Проходя зону реверса, пучок дополнительно расширяется на участке с малыми значениями магнитного поля и поэтому достигает недопустимо большого значения радиуса в выходной части прибора.

Для устранения указанных причин увеличения радиуса электронного потока необходимо провести расчет оптимизацию электронной пушки прибора, а также расчет и оптимизацию распределения магнитного поля в системе.

2.4. Расчет и оптимизация электронной пушки.

Для оптимизации параметров электронной пушки использовалась совокупность методов синтеза и анализа. При расчете ЭОС методом синтеза использовалась программа «Синтез» описанная в параграфе 2.1, а при расчете ЭОС методом анализа использовалась программа «Алмаз» описанная в параграфе 2.2.

При расчете электронной пушки методом синтеза задавались три основные параметра:

Рμ – микропервеанс электронного потока;

S – линейную сходимость электронного потока;

b – коэффициент заполнения пролетного канала электронным потоком.

При расчете, значения этих параметров были следующие: Рμ = 0,57 мкА/В3/2, S = 3 , b = 0,5. Результаты расчета электронной пушки методом синтеза показаны на рис.2.3. Как следует из рисунка, пушка формирует ламинарный электронный поток, однако форма фокусирующих электродов пушки является не технологичной. Для упрощения формы заменим прикатодный фокусирующий электрод и анод, как показано на рисунке. Электронную пушку с упрощенной формой фокусирующих электродов будем рассчитывать методом анализа по программе «Алмаз». Изменяя высоту фокусирующего электрода, получим заданное значение первеанса и сходимость при ламинарной структуре электронных траекторий. Окончательный оптимизированный вариант электронной пушки рассчитанных по программе «Алмаз» показан на рис.2.4.

Далее новая электронная пушка, результаты расчета которой приведены на рис.2.2, была поставлена в систему, и был выполнен новый расчет ЭОС от катода до конца пролетного канала. Результаты расчета показаны на рис.2.5, а соответствующий файл с исходными данными приведен в таблице 2.2. Сравнивая рис.2.2 и рис.2.5 можно сделать вывод о том, что применение новой электронной пушки улучшило ламинарность электронных траекторий (теперь крайняя

**Результаты расчета электронной пушки методом синтеза.**

Анод

Катод

Траектории

Фокусирующий

электрод

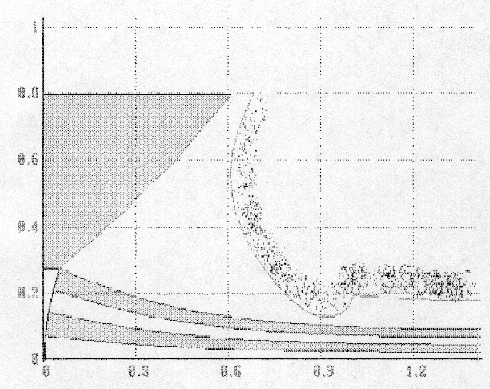


Рис.2.3.

**Результаты расчета электронной пушки методом анализа.**

Траектории

Катод

Анод

Фокусирующий

электрод

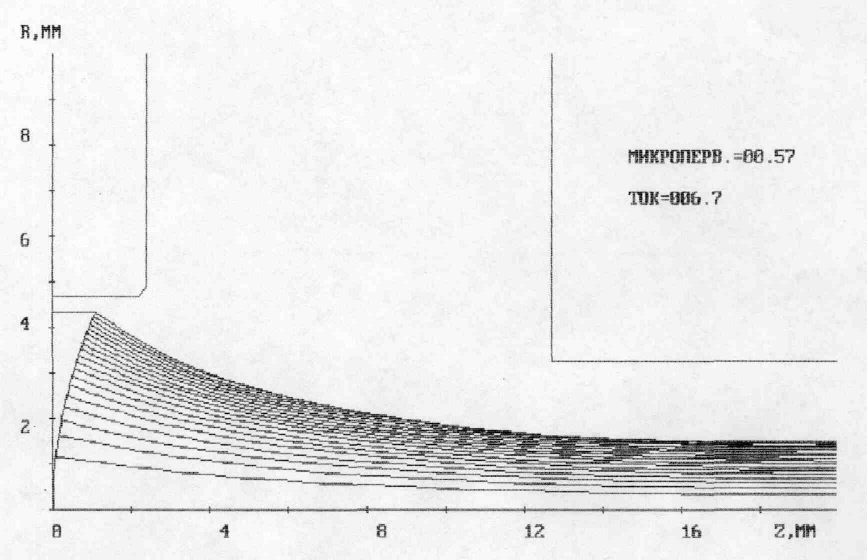


Рис.2.4.

**Результаты расчета ЭОС с оптимизированной электронной пушкой.**

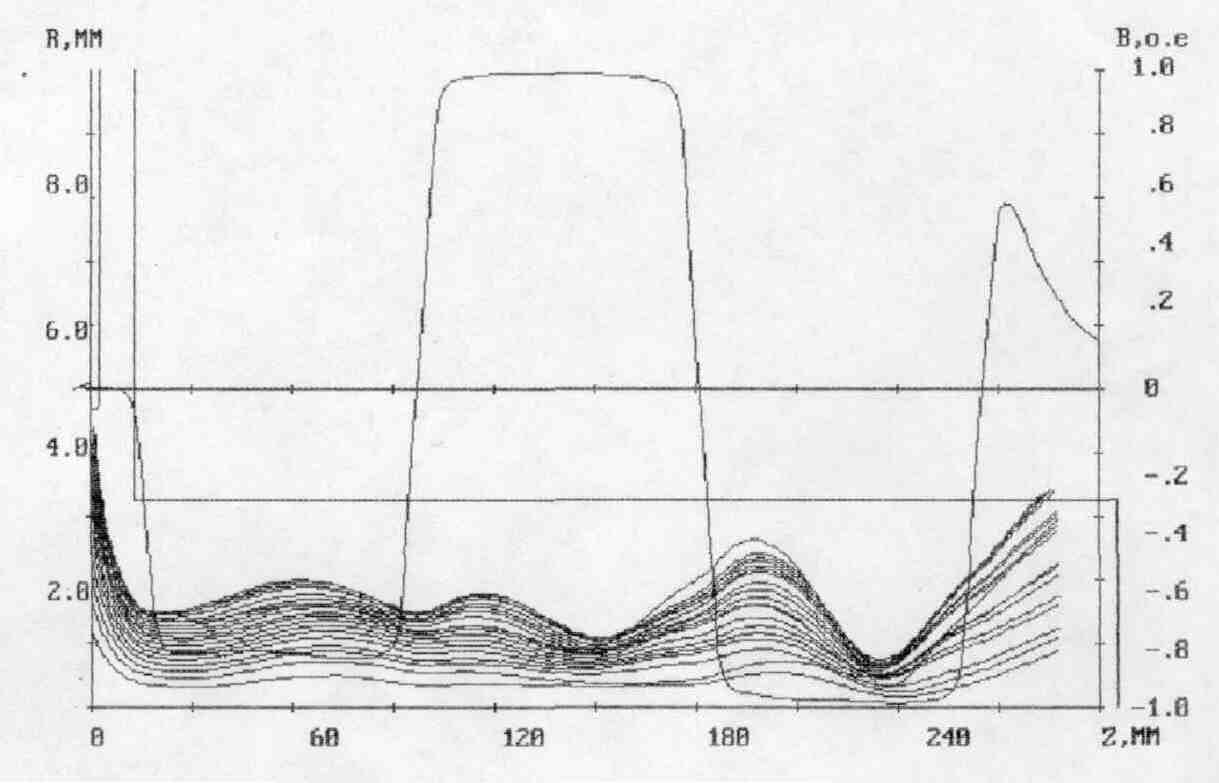


Рис.2.5.

Таблица 2.2.

**Файл исходных данных к рисунку 2.5.**

RU I RF I ZU I TTT I FH I H I VQ I U I

28. 5. 55. 270. 33. 0.2 0.4 52000.

FK I RK I HK I ZO I Y1 I Z1 I Y2 I Z2 I

0.4 9. 1.11 9. 0. 0. 0. 0.

FE I GE I RM I NP I IWN I IWP I NPR I NS I

19. 0.001 1. 10. 1.0 7.0 10.0 2.

NPL I TK I NEG I I I I I I

10. 0. 1.

X15 I I I I I I I I

-0.3 45. 85. 125. 165. 205. 245. 285.

325. 365.

X4 I I I I I I I I

0.0 0.0 1.11 4.34 0.0 9. 0.0 9.

-1.0 4.34 1.11 4.34 0.0

-1.0 4.7 2.2 4.7 0.0

2.2 4.7 2.4 4.9 0.0

2.4 4.9 2.4 29. 0.0

12.7 29. 12.7 3.25 1.0

12.7 3.25 295. 3.25 1.0

295. 3.25 295. 0. 1.0

BM I R1 I R2 I TM I HM I NM I I I

1000. 0.3 0.7 -5.26 1.5 200.

XM I I I I I I I I

0.014 0.014 0.015 0.015 0.015 0.015 0.015 0.015

0.015 0.014 0.011 0.002 -0.021 -0.092 -0.247 -0.486

-0.674 -0.754 -0.787 -0.798 -0.803 -0.805 -0.805 -0.806

-0.805 -0.805 -0.804 -0.804 -0.803 -0.802 -0.801 -0.801

-0.800 -0.799 -0.799 -0.800 -0.801 -0.801 -0.801 -0.802

-0.804 -0.805 -0.807 -0.808 -0.811 -0.813 -0.814 -0.816

-0.817 -0.819 -0.821 -0.822 -0.823 -0.823 -0.824 -0.823

-0.822 -0.821 -0.820 -0.817 -0.813 -0.802 -0.780 -0.717

-0.578 -0.330 -0.097 0.087 0.320 0.615 0.823 0.906

0.942 0.956 0.964 0.969 0.972 0.976 0.978 0.980

0.982 0.984 0.985 0.986 0.986 0.986 0.986 0.986

0.986 0.986 0.986 0.986 0.986 0.985 0.985 0.985

0.984 0.985 0.985 0.984 0.984 0.984 0.984 0.983

0.982 0.981 0.980 0.979 0.977 0.975 0.973 0.970

0.966 0.962 0.956 0.942 0.914 0.834 0.661 0.368

0.106 -0.091 -0.333 -0.613 -0.800 -0.873 -0.905 -0.917

-0.925 -0.929 -0.932 -0.935 -0.938 -0.940 -0.943 -0.945

-0.946 -0.948 -0.949 -0.950 -0.950 -0.951 -0.951 -0.952

-0.952 -0.953 -0.953 -0.954 -0.954 -0.955 -0.957 -0.958

-0.958 -0.958 -0.959 -0.960 -0.960 -0.961 -0.962 -0.962

-0.961 -0.960 -0.959 -0.958 -0.957 -0.955 -0.951 -0.946

-0.937 -0.917 -0.876 -0.768 -0.578 -0.320 -0.092 0.089

0.278 0.451 0.557 0.586 0.583 0.557 0.524 0.487

0.449 0.413 0.379 0.347 0.319 0.293 0.270 0.249

0.229 0.213 0.199 0.186 0.174 0.164 0.155 0.148

траектория электронного потока не пересекает остальные траектории пучка). Однако радиус электронного потока в выходной части прибора уменьшился не значительно (приблизительно на 7%).

Как следует из рис.2.5 основной причиной увеличения радиуса пучка в выходной части клистрона является не оптимальность фазы влета пучка во второй реверс. Для улучшения указанной фазы влета необходимо провести расчет и оптимизацию распределения магнитного поля в системе с новой электронной пушкой.

**2.5. Расчет и оптимизация распределения магнитного поля в системе. Оптимальный вариант построения ЭОС.**

Анализ результатов расчета представленный на рис.2.5 показывает, что для улучшения фазы влета пучка во второй реверс необходимо либо увеличивать магнитное поле, либо уменьшать. При увеличении амплитуды поля во второй области длина волны пульсаций пучка уменьшится и можно достичь того, что во второй реверс пучок не будет входить расходящимся. Это приведет к уменьшению радиуса пучка в области за вторым реверсом.

Аналогичный результат можно получить, если значительно уменьшить амплитуду магнитного поля во второй области. В этом случае длина волны пульсаций увеличится и можно достичь того, что в область второго реверса электронный пучок будет поступать сходящимся, что приведет к уменьшению радиуса пучка в области за вторым реверсом. Оба эти метода были исследованы практически. На рис.2.6 приводятся результаты расчета пучка от катода до конца пролетного канала в ЭОС, в которой амплитуда магнитного поля везде увеличена на 10 % по сравнению с расчетом, показанным на рис.2.5. В первой области поле увеличено с 803 до 883 Гс., во второй области поле увеличено с 986 до 1084 Гс., в третьей области поле увеличено с 960 до

**Результаты расчета ЭОС с увеличенным на 10 % магнитным полем.**

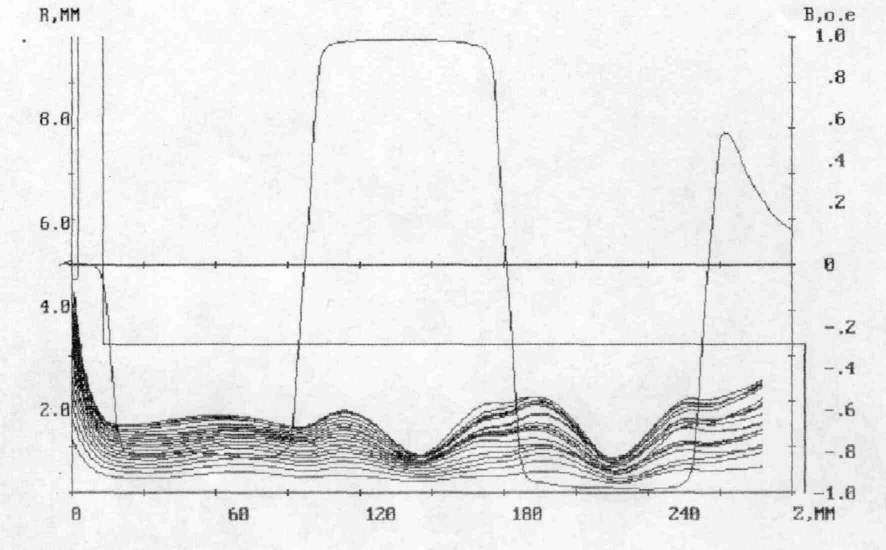


Рис.2.6.

**Таблица 2.3**

**Файл исходных данных к рисунку 2.6.**

RU I RF I ZU I TTT I FH I H I VQ I U I

28. 5. 55. 27 33 0.2 0.4 52000.

FK I RK I HK I ZO I Y1 I Z1 I Y2 I Z2 I

0.4 9. 1.11 9. 0. 0. 0. 0.

FE I GE I RM I NP I IWN I IWP I NPR I NS I

19. 0.001 1. 10. 1.0 7.0 10.0 2.

NPL I TK I NEG I I I I I I

10. 0. 1.

X15 I I I I I I I I

-0.3 45. 85. 125. 165. 205. 245. 285.

325. 365.

X4 I I I I I I I I

0.0 0.0 1.11 4.34 0.0 9. 0.0 9.

-1.0 4.34 1.11 4.34 0.0

-1.0 4.7 2.2 4.7 0.0

2.2 4.7 2.4 4.9 0.0

2.4 4.9 2.4 29. 0.0

12.7 29. 12.7 3.25 1.0

12.7 3.25 295. 3.25 1.0

295. 3.25 295. 0. 1.0

BM I R1 I R2 I TM I HM I NM I I I

1000. 0.3 0.7 -5.26 1.5 200.

XM I I I I I I I I

0.014 0.014 0.015 0.015 0.015 0.015 0.015 0.015

0.015 0.014 0.011 0.002 -0.021 -0.092 -0.247 -0.486

-0.674 -0.754 -0.787 0.798 -0.803 -0.805 -0.805 -0.806

-0.805 -0.804 -0.804 -0.804 -0.803 -0.802 -0.801 -0.801

-0.800 -0.799 -0.799 -0.800 -0.801 -0.801 -0.801 -0.802

-0.804 -0.805 -0.807 -0.808 -0.811 -0.813 -0.814 -0.816

-0.817 -0.819 -0.821 -0.822 -0.823 -0.823 -0.824 -0.823

-0.822 -0.821 -0.820 -0.817 -0.813 -0.802 -0.780 -0.717

-0.578 -0.330 -0.097 0.087 0.320 0.615 0.823 0.906

0.942 0.956 0.964 0.969 0.972 0.976 0.978 0.980

0.982 0.984 0.985 0.986 0.986 0.986 0.986 0.986

0.986 0.986 0.986 0.986 0.986 0.985 0.985 0.985

0.984 0.985 0.985 0.984 0.984 0.984 0.984 0.983

0.982 0.981 0.980 0.979 0.977 0.975 0.973 0.970

0.966 0.962 0.956 0.942 0.914 0.834 0.661 0.368

0.106 -0.091 -0.333 -0.613 -0.800 -0.873 -0.905 -0.917

-0.925 -0.929 -0.932 -0.935 -0.938 -0.940 -0.943 -0.945

-0.946 -0.948 -0.949 -0.950 -0.950 -0.951 -0.951 -0.952

-0.952 -0.953 -0.953 -0.954 -0.954 -0.955 -0.957 -0.958

-0.958 -0.958 -0.959 -0.960 -0.960 -0.961 -0.962 -0.962

-0.961 0.960 -0.959 -0.958 -0.957 -0.955 -0.951 -0.946

-0.937 -0.917 -0.876 -0.768 -0.578 -0.320 -0.092 0.089

0.278 0.451 0.557 0.586 0.583 0.557 0.524 0.487

0.449 0.413 0.379 0.347 0.319 0.293 0.270 0.249

0.229 0.213 0.199 0.186 0.174 0.164 0.155 0.148

1056 Гс. Соответствующий файл исходных данных приведен в таблице 2.3.

Из рис.2.6 следует, что увеличение магнитного поля на 10 % привело к заметному уменьшению радиуса пучка (приблизительно на 30%). В этом случае электронный поток, входящий во второй реверс не расходится, а практически параллелен оси пролетного канала. Казалось бы, что если еще более увеличить магнитное поле, то в выходную область прибора электронный поток будет входить сходящимся, что приведет к дальнейшему улучшению параметров пучка в этой области.

Однако практически в данном приборе, из-за опасности насыщения перемычек между соседними пролетными каналами в полюсных наконечниках прибора изготовленных из магнитомягкого материала, нельзя переходить на вариант с увеличенной амплитудой магнитного поля (по сравнению с амплитудой указанными на рис.2.5).

Проведем расчет индукции магнитного поля в перемычках полюсных наконечников для варианта ЭОС показанного на рис.2.5. Будем исходить из равенства магнитного потока проходящего через перемычки между отверстиями пролетных каналов полюсных наконечников и магнитного потока между полюсными наконечниками, то есть из равенства:

|  |  |
| --- | --- |
| В0 N t δ = 2 B1 π (Дц2 / 4), | (2.35) |

где В0 – индукция в перемычках полюсных наконечников;

N – число отверстий в одном ряду;

t – ширина перемычки в полюсном наконечнике;

δ – толщина полюсного наконечника;

В1 – индукция магнитного поля в зазоре полюсного наконечника;

Дц – диаметр окружности, на которой расположены центры отверстий для прохождения лучей в полюсном наконечнике.

В данном сорока лучевом приборе центры 21 отверстия располагаются на диаметре 84 мм., а центры 19 отверстий располагаются на диметре 24 мм. Толщина полюсных наконечников составляет – 6 мм., ширина перемычки во внешнем ряду отверстий составляет – 6 мм., а во внутреннем – 4 мм.

Подставляя эти данные в уравнение 2.35 получим следующие два выражения для индукции магнитного поля В0.

Для внешнего ряда:

В0 = 13,5 × В1.

Для внутреннего ряда:

В0 = 13,01 × В1.

При В1 = 1056 Гс, В0 составляет 14256 Гс. Если индукцию магнитного поля В1 увеличить до 1200 Гс (необходимость такого увеличения следует из рис.2.6), то значение В0 для перемычек первого ряда составит 16200 Гс, что близко к индукции насыщения стального полюсного наконечника составляющей около 20000 Гс. Поэтому путь улучшения формирования пучка в приборе путем увеличения индукции используемого магнитного поля является не приемлемым.

Будем улучшать структуру формируемого пучка за счет уменьшения амплитуды используемого магнитного поля. Вернемся к варианту ЭОС представленной на рис.2.5, но магнитное поле во второй области уменьшим на 100 Гс. Результаты расчета такой ЭОС представлены на рис.2.7, а файл с исходными данными в таблице 2.4.

Сравнивая рис.2.7 с рис.2.5 находим, что уменьшение амплитуды магнитного поля во второй области несколько улучшило фазу влета пучка в область второго реверса и уменьшило радиус пучка в третьей области.

На рис.2.8 показаны результаты расчета пучка для случая, когда индукция магнитного поля во втором реверсе, еще уменьшили на 100 Гс,

**Результаты расчета ЭОС с уменьшенным на 100 Гс**

**магнитным полем во второй области.**

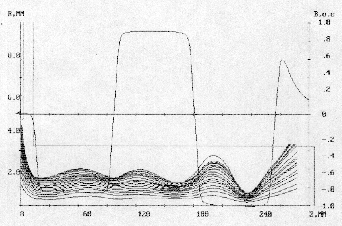


Рис.2.7.

Таблица 2.4.

**Файл исходных данных к рисунку 2.7.**

RU I RF I ZU I TTT I FH I H I VQ I U I

28. 5. 55. 270. 33. 0.2 0.4 52000.

FK I RK I HK I ZO I Y1 I Z1 I Y2 I Z2 I

0.4 9. 1.11 9. 0. 0. 0. 0.

FE I GE I RM I NP I IWN I IWP I NPR I NS I

19. 0.001 1. 10. 1.0 7.0 10.0 2.

NPL I TK I NEG I I I I I I

10. 0. 1.

X15 I I I I I I I I

-0.3 45. 85. 125. 165. 205. 245. 285.

325. 365.

X4 I I I I I I I I

0.0 0.0 1.11 4.34 0.0 9. 0.0 9.

-1.0 4.34 1.11 4.34 0.0

-1.0 4.7 2.2 4.7 0.0

2.2 4.7 2.4 4.9 0.0

2.4 4.9 2.4 29. 0.0

12.7 29. 12.7 3.25 1.0

12.7 3.25 295. 3.25 1.0

295. 3.25 295. 0. 1.0

BM I R1 I R2 I TM I HM I NM I I I

1000. 0.3 0.7 -5.26 1.5 200.

XM I I I I I I I I

0.014 0.014 0.015 0.015 0.015 0.015 0.015 0.015

0.015 0.014 0.011 0.002 -0.021 -0.092 -0.247 -0.486

-0.674 -0.754 -0.787 -0.798 -0.803 -0.805 -0.805 -0.806

-0.805 -0.805 -0.804 -0.804 -0.803 -0.802 -0.801 -0.801

-0.800 -0.799 -0.799 -0.800 -0.801 -0.801 -0.801 -0.802

-0.804 -0.805 -0.807 -0.808 -0.811 -0.813 -0.814 -0.816

-0.817 -0.819 -0.821 -0.822 -0.823 -0.823 -0.824 -0.823

-0.822 -0.821 -0.820 -0.817 -0.813 -0.802 -0.780 -0.717

-0.578 -0.330 -0.097 0.087 0.320 0.615 0.723 0.806

0.842 0.856 0.864 0.869 0.872 0.876 0.878 0.880

0.882 0.884 0.885 0.886 0.886 0.886 0.886 0.886

0.886 0.886 0.886 0.886 0.886 0.885 0.885 0.885

0.884 0.885 0.885 0.884 0.884 0.884 0.884 0.883

0.882 0.881 0.880 0.879 0.877 0.875 0.873 0.870

0.866 0.862 0.856 0.842 0.814 0.734 0.661 0.368

0.106 -0.091 -0.333 -0.613 -0.800 -0.873 -0.905 -0.917

-0.925 -0.929 -0.932 -0.935 -0.938 -0.940 -0.943 -0.945

-0.946 -0.948 -0.949 -0.950 -0.950 -0.951 -0.951 -0.952

-0.952 -0.953 -0.953 -0.954 -0.954 -0.955 -0.957 -0.958

-0.958 -0.958 -0.959 -0.960 -0.960 -0.961 -0.962 -0.962

-0.961 -0.960 -0.959 -0.958 -0.957 -0.955 -0.951 -0.946

-0.937 -0.917 -0.876 -0.768 -0.578 -0.320 -0.092 0.089

0.278 0.451 0.557 0.586 0.583 0.557 0.524 0.487

0.449 0.413 0.379 0.347 0.319 0.293 0.270 0.249

0.229 0.213 0.199 0.186 0.174 0.164 0.155 0.148

**Результаты расчета ЭОС с уменьшенным на 200 Гс**

**магнитным полем во второй области.**

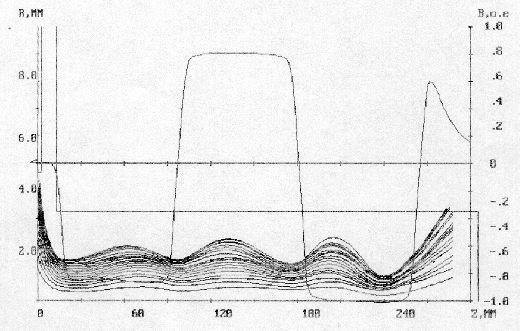


Рис.2.8.

Таблица 2.5.

**Файл исходных данных к рисунку 2.8.**

RU I RF I ZU I TTT I FH I H I VQ I U I

28. 5. 55. 270. 33. 0.2 0.4 52000.

FK I RK I HK I ZO I Y1 I Z1 I Y2 I Z2 I

0.4 9. 1.11 9. 0. 0. 0. 0.

FE I GE I RM I NP I IWN I IWP I NPR I NS I

19. 0.001 1. 10. 1.0 7.0 10.0 2.

NPL I TK I NEG I I I I I I

10. 0. 1.

X15 I I I I I I I I

-0.3 45. 85. 125. 165. 205. 245. 285.

325. 365.

X4 I I I I I I I I

0.0 0.0 1.11 4.34 0.0 9. 0.0 9.

-1.0 4.34 1.11 4.34 0.0

-1.0 4.7 2.2 4.7 0.0

2.2 4.7 2.4 4.9 0.0

2.4 4.9 2.4 29. 0.0

12.7 29. 12.7 3.25 1.0

12.7 3.25 295. 3.25 1.0

295. 3.25 295. 0. 1.0

BM I R1 I R2 I TM I HM I NM I I I

1000. 0.3 0.7 -5.26 1.5 200.

XM I I I I I I I I

0.014 0.014 0.015 0.015 0.015 0.015 0.015 0.015

0.015 0.014 0.011 0.002 -0.021 -0.092 -0.247 -0.486

-0.674 -0.754 -0.787 -0.798 -0.803 -0.805 -0.805 -0.806

-0.805 -0.805 -0.804 -0.804 -0.803 -0.802 -0.801 -0.801

-0.800 -0.799 -0.799 -0.800 -0.801 -0.801 -0.801 -0.802

-0.804 -0.805 -0.807 -0.808 -0.811 -0.813 -0.814 -0.816

-0.817 -0.819 -0.821 -0.822 -0.823 -0.823 -0.824 -0.823

-0.822 -0.821 -0.820 -0.817 -0.813 -0.802 -0.780 -0.717

-0.578 -0.330 -0.097 0.087 0.320 0.515 0.623 0.706

0.742 0.756 0.764 0.769 0.772 0.776 0.778 0.780

0.782 0.784 0.785 0.786 0.786 0.786 0.786 0.786

0.786 0.786 0.786 0.786 0.786 0.785 0.785 0.785

0.784 0.785 0.785 0.784 0.784 0.784 0.784 0.783

0.782 0.781 0.780 0.779 0.777 0.775 0.773 0.770

0.766 0.762 0.756 0.742 0.714 0.634 0.561 0.368

0.106 -0.091 -0.333 -0.613 -0.800 -0.873 -0.905 -0.917

-0.925 -0.929 -0.932 -0.935 -0.938 -0.940 -0.943 -0.945

-0.946 -0.948 -0.949 -0.950 -0.950 -0.951 -0.951 -0.952

-0.952 -0.953 -0.953 -0.954 -0.954 -0.955 -0.957 -0.958

-0.958 -0.958 -0.959 -0.960 -0.960 -0.961 -0.962 -0.962

-0.961 -0.960 -0.959 -0.958 -0.957 -0.955 -0.951 -0.946

-0.937 -0.917 -0.876 -0.768 -0.578 -0.320 -0.092 0.089

0.278 0.451 0.557 0.586 0.583 0.557 0.524 0.487

0.449 0.413 0.379 0.347 0.319 0.293 0.270 0.249

0.229 0.213 0.199 0.186 0.174 0.164 0.155 0.148

по сравнению с вариантом расчета показанным на рис.2.7. Соответствующий файл исходных данных приведен в таблице 2.5. Сравнивая рис.2.8 с рис.2.5 можно сделать вывод о том, что уменьшение индукции магнитного поля во втором реверсе на 200 Гс существенно улучшило фазу влета пучка во второй реверс и конфигурацию пучка в третьей области.

На рис.2.9 показаны результаты расчета пучка для случая, когда индукция магнитного поля в третьей области увеличили на 100 Гс по сравнению с вариантом расчета, показанным на рис.2.8. Соответствующий файл исходных данных приведен в таблице 2.6.

На рис.2.10 показаны результаты расчета пучка для случая, когда индукция магнитного поля во всех реверсах уменьшена на 5 %, по сравнению с вариантом расчета, показанным на рис.2.9. Соответствующий файл исходных данных приведен в таблице 2.7.

Сравнивая рис.2.10, полученный в результате оптимизации ЭОС с исходным вариантом ЭОС показанным на рис.2.5 следует сделать вывод о том, что радиус формируемого пучка в третьей области удалось уменьшить в 1,4 раза. При этом амплитуды магнитного поля в оптимизированной ЭОС составили в первой области 760 Гс, во второй области 746 Гс и в третьей области 1007 Гс.

Применение новой оптимизированной ЭОС должно существенно улучшить параметры клистрона КИУ-147.

**Результаты расчета ЭОС с увеличенным на 100 Гс**

**магнитным полем в третьей области.**

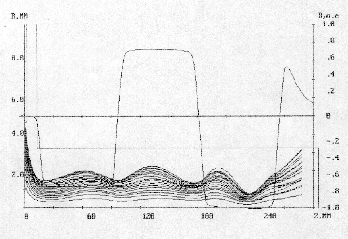


Рис.2.9.

Таблица 2.6.

**Файл исходных данных к рисунку 2.9.**

RU I RF I ZU I TTT I FH I H I VQ I U I

28. 5. 55. 270. 33. 0.2 0.4 52000.

FK I RK I HK I ZO I Y1 I Z1 I Y2 I Z2 I

0.4 9. 1.11 9. 0. 0. 0. 0.

FE I GE I RM I NP I IWN I IWP I NPR I NS I

19. 0.001 1. 10. 1.0 7.0 10.0 2.

NPL I TK I NEG I I I I I I

10. 0. 1.

X15 I I I I I I I I

-0.3 45. 85. 125. 165. 205. 245. 285.

325. 365.

X4 I I I I I I I I

0.0 0.0 1.11 4.34 0.0 9. 0.0 9.

-1.0 4.34 1.11 4.34 0.0

-1.0 4.7 2.2 4.7 0.0

2.2 4.7 2.4 4.9 0.0

2.4 4.9 2.4 29. 0.0

12.7 29. 12.7 3.25 1.0

12.7 3.25 295. 3.25 1.0

295. 3.25 295. 0. 1.0

BM I R1 I R2 I TM I HM I NM I I I

950. 0.3 0 -5.26 1.5 200.

XM I I I I I I I I

0.014 0.014 0.015 0.015 0.015 0.015 0.015 0.015

0.015 0.014 0.011 0.002 -0.021 -0.092 -0.247 -0.486

-0.674 -0.754 -0.787 -0.798 -0.803 -0.805 -0.805 -0.806

-0.805 -0.805 -0.804 -0.804 -0.803 -0.802 -0.801 -0.801

-0.800 -0.799 -0.799 -0.800 -0.801 -0.801 -0.801 -0.802

-0.804 -0.805 -0.807 -0.808 -0.811 -0.813 -0.814 -0.816

-0.817 -0.819 -0.821 -0.822 -0.823 -0.823 -0.824 -0.823

-0.822 -0.821 -0.820 -0.817 -0.813 -0.802 -0.780 -0.717

-0.578 -0.330 -0.097 0.087 0.320 0.515 0.623 0.706

0.742 0.756 0.764 0.769 0.772 0.776 0.778 0.780

0.782 0.784 0.785 0.786 0.786 0.786 0.786 0.786

0.786 0.786 0.786 0.786 0.786 0.785 0.785 0.785

0.784 0.785 0.785 0.784 0.784 0.784 0.784 0.783

0.782 0.781 0.780 0.779 0.777 0.775 0.773 0.770

0.766 0.762 0.756 0.742 0.714 0.634 0.561 0.368

0.106 -0.091 -0.333 -0.613 -0.800 -0.973 -1.005 -1.017

-1.025 -1.029 -1.032 -1.035 -1.038 -1.040 -1.043 -1.045

-1.046 -1.048 -1.049 -1.050 -1.050 -1.051 -1.051 -1.052

-1.052 -1.053 -1.053 -1.054 -1.054 -1.055 -1.057 -1.058

-1.058 -1.058 -1.059 -1.060 -1.060 -1.061 -1.062 -1.062

-1.061 -1.060 -1.059 -1.058 -1.057 -1.055 -1.051 -1.046

-1.037 -1.017 -0.976 -0.868 -0.578 -0.320 -0.092 0.089

0.278 0.451 0.557 0.586 0.583 0.557 0.524 0.487

0.449 0.413 0.379 0.347 0.319 0.293 0.270 0.249

0.229 0.213 0.199 0.186 0.174 0.164 0.155 0.148

**Результаты расчета оптимизированной ЭОС.**

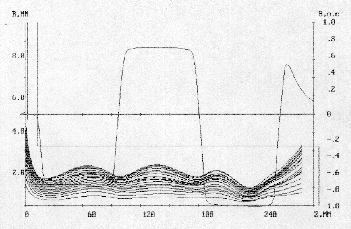


Рис.2.10.

Таблица 2.7.

**Файл исходных данных к рисунку 2.10.**

RU I RF I ZU I TTT I FH I H I VQ I U I

28. 5. 55. 270. 33. 0.2 0.4 52000.

FK I RK I HK I ZO I Y1 I Z1 I Y2 I Z2 I

0.4 9. 1.11 9. 0. 0. 0. 0.

FE I GE I RM I NP I IWN I IWP I NPR I NS I

19. 0.001 1. 10. 1.0 7.0 10.0 2.

NPL I TK I NEG I I I I I I

10. 0. 1.

X15 I I I I I I I I

-0.3 45. 85. 125. 165. 205. 245. 285.

325. 365.

X4 I I I I I I I I

0.0 0.0 1.11 4.34 0.0 9. 0.0 9.

-1.0 4.34 1.11 4.34 0.0

-1.0 4.7 2.2 4.7 0.0

2.2 4.7 2.4 4.9 0.0

2.4 4.9 2.4 29. 0.0

12.7 29. 12.7 3.25 1.0

12.7 3.25 295. 3.25 1.0

295. 3.25 295. 0. 1.0

BM I R1 I R2 I TM I HM I NM I I I

950. 0.3 0 -5.26 1.5 200.

XM I I I I I I I I

0.014 0.014 0.015 0.015 0.015 0.015 0.015 0.015

0.015 0.014 0.011 0.002 -0.021 -0.092 -0.247 -0.486

-0.674 -0.754 -0.787 -0.798 -0.803 -0.805 -0.805 -0.806

-0.805 -0.805 -0.804 -0.804 -0.803 -0.802 -0.801 -0.801

-0.800 -0.799 -0.799 -0.800 -0.801 -0.801 -0.801 -0.802

-0.804 -0.805 -0.807 -0.808 -0.811 -0.813 -0.814 -0.816

-0.817 -0.819 -0.821 -0.822 -0.823 -0.823 -0.824 -0.823

-0.822 -0.821 -0.820 -0.817 -0.813 -0.802 -0.780 -0.717

-0.578 -0.330 -0.097 0.087 0.320 0.515 0.623 0.706

0.742 0.756 0.764 0.769 0.772 0.776 0.778 0.780

0.782 0.784 0.785 0.786 0.786 0.786 0.786 0.786

0.786 0.786 0.786 0.786 0.786 0.785 0.785 0.785

0.784 0.785 0.785 0.784 0.784 0.784 0.784 0.783

0.782 0.781 0.780 0.779 0.777 0.775 0.773 0.770

0.766 0.762 0.756 0.742 0.714 0.634 0.561 0.368

0.106 -0.091 -0.333 -0.613 -0.800 -0.973 -1.005 -1.017

-1.025 -1.029 -1.032 -1.035 -1.038 -1.040 -1.043 -1.045

-1.046 -1.048 -1.049 -1.050 -1.050 -1.051 -1.051 -1.052

-1.052 -1.053 -1.053 -1.054 -1.054 -1.055 -1.057 -1.058

-1.058 -1.058 -1.059 -1.060 -1.060 -1.061 -1.062 -1.062

-1.061 -1.060 -1.059 -1.058 -1.057 -1.055 -1.051 -1.046

-1.037 -1.017 -0.976 -0.868 -0.578 -0.320 -0.092 0.089

0.278 0.451 0.557 0.586 0.583 0.557 0.524 0.487

0.449 0.413 0.379 0.347 0.319 0.293 0.270 0.249

0.229 0.213 0.199 0.186 0.174 0.164 0.155 0.148

**3. Организационно – экономическая часть проекта.**

На всех стадиях проектирования возникает необходимость экономической оценки и обоснования экономической целесообразности проекта. Это обусловлено сильной взаимосвязанностью технического прогресса и экономики. Только при условии наиболее эффективного в экономическом отношении использования производственных ресурсов, научно-технический прогресс будет основой экономического прогресса. В этой части работы рассматриваются основные моменты по планированию и организации производственного процесса.

В данном дипломном проекте проведена опытно-конструкторская разработка реверсной магнитной фокусирующей системы мощного многолучевого клистрона на ФГУП НПП «Торий» по заказу на оптимизацию и изготовление прибора, поступившему от Минздрава РФ. Финансирование данной работы осуществляется из госбюджета.

В результате чего мы получаем оптимизированный прибор. Проведение всех расчетно-теоретических исследований выполняет дипломник.

**3.1. Блок-схема работы по теме.**

План проведения работы по теме составляется с помощью алгоритма - блок-схемы порядка производимых расчетов, испытаний и измерений. С помощью блок-схемы картина работы над темой представляется наглядно.

Таким образом, учитывая последовательность, с которой необходимо производить выбор конструкции, расчеты и эксперименты, данная блок-схема является логично построенной и закономерной.

Все данные о перечне всех необходимых работ показаны на рис.3.1.

**Блок-схема разработки реверсной магнитной фокусирующей системы мощного многолучевого клистрона.**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Получение задания | |  |
|  |  |  |  |
|  | Обзор литературы | |  |
|  |  |  |  |
|  | Изучение и анализ  прибора-аналога | |  |
|  |  |  |  |
|  | Расчетно-теоретическая часть | |  |
|  |  |  |  |
|  | Монтаж установки | |  |
|  |  |  |  |
|  | Экспериментальная часть (измерение) | |  |
|  |  |  |  |
|  | Обсуждение полученных результатов | |  |
|  |  |  |  |
|  | Оформление пояснительной записки | |  |
|  |  |  |  |
|  | Сдача темы | |  |

Рис.3.1.

**3.2. Организация процесса разработки.**

Планирование позволят решать различные задачи, возникающие на производстве и при научных исследованиях.

Построение план-графика должно обеспечить возможность непрерывного контроля над ходом работ. Планирование подготовки проведения работы можно обеспечить, если процесс представить в виде модели, отражающей весь ход предстоящей работы.

Наиболее широкое применение получили графические методы. В данной работе мы применяем в качестве модели ленточный график. Ленточный график составляем на основе оценок времени на проведение отдельных работ.

Перечень работ и сроки их выполнения приведены в таблице 3.1.

Ленточный график выполнения работ по данной теме приведен на рис.3.2.

Таблица 3.1.

**Перечень работ проекта и сроки их выполнения.**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **№ п/п** | **Этапы** | **Длительность** | | **Трудоемкость, чел / дни** |
| **Рабочие дни** | **Календарные дни** |
| 1. | Подбор и обзор литературы | 10 | 14  1.02 – 14.02 | 10 |
| 2. | Изучение и анализ прибора-прототипа | 8 | 12  15.02 – 26.02 | 8 |
| 3. | Выбор конструкции | 10 | 15  27.02 – 13.03 | 10 |
| 4. | Монтаж установки | 12 | 18  14.03 – 31.03 | 12 |
| 5. | Расчет и определение параметров | 15 | 21  1.04 – 21.04 | 15 |
| 6. | Обсуждение и обобщение результатов | 7 | 8  22.04 – 29.04 | 7 |
| 7. | Оформление пояснительной записки | 15 | 27  30.04 –26.05 | 15 |
| 8. | Сдача темы | 5 | 5  27.05 –31.05 | 5 |

Всего: рабочих дней – 80;

Календарных дней – 120

**Ленточный график выполнения работ.**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **№ п/п** | **Этапы** | **Продолжительность этапов** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **Февраль** | | | | | **Март** | | | | | **Апрель** | | | | | **Май** | | | | |
| **1 нед** | **2 нед** | **3 нед** | **4 нед** | **5 нед** | | **6 нед** | **7 нед** | **8 нед** | **9 нед** | **10 нед** | **11 нед** | **12 нед** | **13 нед** | **14 нед** | | **15 нед** | **16 нед** | **17 нед** | **18 нед** |
| 1. | Подбор и обзор литературы |  |  |  |  |  | |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |  |  |  |  |
| 2. | Изучение и анализ прибора-прототипа |  |  |  |  |  | |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |  |  |  |  |
| 3. | Выбор конструкции . |  |  |  |  |  | |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |  |  |  |  |
| 4. | Монтаж установки . |  |  |  |  |  | |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |  |  |  |  |
| 5. | Расчет и определение параметров |  |  |  |  |  | |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |  |  |  |  |
| 6. | Обсуждение и обобщение результатов |  |  |  |  |  | |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |  |  |  |  |
| 7. | Оформление пояснительной записки |  |  |  |  |  | |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |  |  |  |  |
| 8. | Сдача темы . |  |  |  |  |  | |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |  |  |  |  |

Рис.3.2.

**3.3. Себестоимость и цена оптимизированной системы.**

Расчет себестоимости проектируемой системы производится по следующим статьям калькуляции:

1. Материалы, покупные изделия и полуфабрикаты.

Сгруппируем основные материалы по отдельным видам с указанием единиц измерения в Таблицу 3.2.

Таблица 3.2

#### **Основные группы материалов и полуфабрикатов.**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **№ п/п** | **Наименование материала** | **Единица измерения** | **Цена за единицу, руб.** | **Кол-во материала** | | **Сумма,**  **руб.** |
| 1. | Медь | кг | 130 | 76,5 | | 9945.00 |
| 3. | Сталь (12Х18Н10Т) | кг | 58,5 | 2,9 | | 169.65 |
| 4. | Ковар (29НК) | кг | 598 | 0,5 | | 299.00 |
| 5. | Мельхиор | кг | 215 | 2 | | 430.00 |
| 6. | Нихром | кг | 590 | 2 | | 1180.00 |
| 7. | Молибден | кг | 960 | 5,5 | | 5280.00 |
| 8. | Вольфрам | кг | 980 | 1 | | 980.00 |
| 9. | Припой (ПСр72) | кг | 171 | 0,4 | | 68.40 |
| Итого: | | | | | 18352.05 руб. | |

Таким образом, затраты по первой статье составят 18352.05 рублей.

2. Транспортные расходы составляют 10 % от затрат на материалы и составят 1835.21 рублей.

3. Основная заработная плата производственного персонала. Расчет заработной платы приведен в Таблице 3.3.

Таблица 3.3

**Расчет заработной платы.**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **№ п/п** | **Вид работы** | **Персонал** | **Занятость,**  **чел / час** | **Часовая тарифная ставка, руб./час.** | **Сумма, руб.** |
| 1. | Токарная | Токарь  ср. р. 5-6 | 14 | 16.25 | 227.50 |
| 2. | Фрезерная | Фрезеровщик  ср. р. 5-6 | 11 | 16.25 | 178.75 |
| 3. | Слесарная | Слесарь  ср. р. 4 | 17 | 12.71 | 216.07 |
| 4. | Сборочная | Инженер-технолог | 8 | 14.00 | 112.00 |
| 5. | Пайка | Паяльщик  р. 5 | 6 | 12.71 | 76.26 |
| 6. | Откачка | Отк. – Вак.  ср. р. 5-6 | 10 | 16.25 | 162.50 |
| 7. | Сварочная | Сварщик  р. 4-6 | 4 | 12.71 | 50.84 |
| Итого: | | | | 1023.93 руб. | |

Из Таблицы видно, что общие затраты по этой статье составили 1023.93 рубля.

4. Дополнительная заработная плата.

Она составляет 15 % от основной заработной платы или 153.59 рубля.

5. ЕСН берется в размере 35.6% от суммы основной и дополнительной заработной платы и составляет 419.20 рублей.

6. Накладные расходы. Состоят из:

1. Цеховых расходов – они составляют 350% от основной заработной платы, то есть 3583.75 рубля.

2. Общезаводских расходов – они составляют 300% от основной заработной платы, то есть 3071.79 рубля.

Калькуляция статей стоимости разработки представлена в Таблице 3.4.

Таблица 3.4

**Калькуляция статей стоимости разработки.**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **№ п/п** | **Наименование статей расхода** | **Затраты, руб.** |
| 1.  2.  3.  4.  5.  6. | Материалы, покупные изделия  Транспортные расходы  Основная заработная плата  Дополнительная заработная плата  Отчисления на социальное страхование  Накладные расходы:  Цеховые  Общезаводские | 18352.05  1835.21  1023.93  153.59  419.20  8092.85  3583.75  3071.79 |
| Итого: | | 28439.52 |

Нормативные данные представлены планово-экономическим отделом ФГУП НПП «Торий». Калькуляция себестоимости изделия представлена в Таблице 3.4.

Прибыль производственного предприятия составляет 25 % от себестоимости изделия, что составит 7109.88 рублей.

Налогом на добавленную стоимость (НДС) не облагается, так как источником финансирования является госбюджет (статья 149 пункт 3 подпункт 16 Налогового Кодекса РФ).

Таким образом, цена реверсной магнитной фокусирующей системы мощного многолучевого клистрона составит 35549.40 рубля.

**3.4. Экономические результаты проведенной оптимизации.**

Целью настоящей работы является оптимизация реверсной магнитной фокусирующей системы клистрона, что позволит улучшить выходные характеристики прибора и повысить его технико-экономические показатели по сравнению с ранее имевшейся технологией, увеличить процент выхода годных изделий, сократить время проведения технологического процесса.

Годовая экономия Эг ожидается за счет:

1. Повышения процента выхода годных изделий.

Эг1 = С (Вн – Вст) N / 100,

где: С – себестоимость обрабатываемого изделия С = 28439.52.

Вн и Вст – новый и старый процент выхода годных изделий (90, 85).

N – программа выпуска изделий (18 шт. в год).

Подставляя величины в формулу, получим: Эг1 = 25595.57

2. Снижения себестоимости образца.

Эг2 = N (Сст – Сн),

где: Сст и Сн – старая и новая цена изделия (Сст = 32254.70, Сн = 28439.52).

N – программа выпуска изделий (18 шт. в год)

Тогда: Эг2 = 68673.24 руб. и тогда

Эг = Эг1 + Эг2 = 94268.81 рублей.

Капитальные затраты складываются из: цены изделия, затраты на его доставку, затраты не его монтаж и сопряженные капитальные вложения, необходимые для использования новой техники. Следовательно К = 40881.81 рублей.

Годовой экономический эффект составит:

Эф = Эг – (К / Тн),

где: Тн – срок окупаемости затрат (5,7 лет).

Суммируя полученные результаты, найдем Эф = 87096.56 рублей.

Таким образом, проведение данной работы позволит снизить себестоимость системы за счет более совершенной технологии обработки, что позволяет ожидать годовой экономический эффект 87096.56 рублей.

В данном разделе осуществлен расчет себестоимости, составлена смета на работы по теме, спланированы и учтены возможные затраты, организованы работы по теме.

С учетом разработки данной системы правильное определение ее себестоимости изготовления, позволяет определить продажную стоимость и прибыль, при которых производство будет рентабельным и конкурентоспособным по отношению к прибору-аналогу, используемому ранее.

Затраты по этой теме целесообразны, так как результаты этой работы могут быть использованы как для дальнейших научно-технических работ исследовательского характера, так и для разработки и конструирования устройств рассмотренного типа, обладающих более совершенными точностными и технико-эксплуатационными характеристиками. Использование таких устройств позволит в будущем снизить их себестоимость за счёт совершенствования элементной базы, а при массовом производстве за счёт постепенного вытеснения более дорогостоящих приборов этого типа.

**4. Технические мероприятия, обеспечивающие безопасность труда при настройке устройства.**

В настоящее время в связи с научно-техническим развитием, формы труда все более изменяются в направлении, характеризующемся увеличением доли умственного труда и в следствии все более возрастающим режимом жизни и увеличением нагрузки на центральную нервную систему.

Из-за внедрения новых технологических процессов и усложнения существующих, наблюдается усиление влияний вибраций, шума, вредного излучения, пыли и так далее на работающего и на окружающую среду. В связи с этим все более значимым становится вопросы обеспечения безопасности жизнедеятельности и охраны окружающей среды. Особое внимание обратим на обеспечение безопасности инженера-настройщика проводящего работу по настройке мощного многолучевого клистрона. Так как, при выполнении своей работы он может столкнуться с опасными и вредными факторами.

Нормальная работа во многом зависит от того, в какой мере условия работы соответствуют оптимальным. При этом под условиями работы подразумевается комплекс различных факторов, установленных стандартами по безопасности труда.

**4.1. Анализ условий труда на рабочем месте.**

Организация рабочего места заключается в выполнении ряда мероприятий, обеспечивающих рациональный и безопасный трудовой процесс. При создании рабочего места необходимо обеспечивать максимально возможные удобства условий труда, так как ежедневные перегрузки приводят к преждевременной усталости и как следствие невнимательности, что значительно повышает травматизм на рабочем месте. Анализ условий труда заключается в определении вредных и опасных факторов.

Во время работы, согласно ГОСТ 12.0.003.-74 [8], инженер-настройщик подвергается воздействию психофизиологических и физических факторов. Факторы – воздействия, которые в определенных условиях приводят к травме или другому внезапному резкому ухудшению здоровья. Если же производственные факторы приводят к заболеваниям или снижению работоспособности, то они считаются вредными.

В ГОСТ 12.003-74\*ССБТ “Опасные и вредные факторы. Классификация.” элементы условий труда выступающих в роли опасных и вредных факторов делятся на: физические, химические, биологические, психофизические.

К физическим факторам относятся:

– недостаточная освещенность рабочего места;

– возможность поражения электрическим током;

– повышенный уровень шума на рабочем месте;

– не оптимальные микроклиматические условия на рабочем месте;

– повышенный уровень электромагнитных полей.

**4.2. Освещение рабочего места [9].**

Правильно спроектированное и выполненное освещение улучшает условия зрительной работы, снижает утомляемость, способствует повышению производительности труда, благотворно влияет на производственную среду, оказывая положительное психологическое воздействие на работающего, повышает безопасность труда и снижает травматизм.

В процессе работы над настройкой мощного клистрона инженеру-настройщику приходится иметь дело с показаниями приборов. Данная работа относится к IV разряду. Контраст большой, фон средний, следовательно, подразряд "Г". Освещение должно быть общее и составлять не менее 150 лк. Кроме того, возможно комбинированное освещение с минимальной освещенностью 300 лк.

Рассчитаем освещенность на рабочем месте. Плоскости столов расположены на расстоянии 0,75 м от уровня пола. Инженер-настройщик работает в комнате с окном, следовательно, на рабочее место проникает дневной свет. Однако, дневного освещения недостаточно, поэтому используется искусственное освещение.

Для общего освещения помещения применяют люминесцентные лампы. При расчете общего равномерного освещения горизонтальных поверхностей при отсутствии крупных затемняющих предметов пользуются методом коэффициента использования.

При расчете по этому методу потребный поток от лампы находится по формуле:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Ф = | Е k S z | . |
| N η |

Из данной формулы можно определить Е при известном Ф.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Е = | Ф N η |  |
| k S z |

Где Ф – поток излучения от каждого светильника,

k – коэффициент запаса,

S – освещаемая поверхность,

z – неравномерность освещения,

N – число светильников,

η – коэффициент использования в долях единиц.

В комнате освещение создается шестью двухламповыми светильниками ЛПП01 с лампами ЛБ-40.

Нормальный световой поток каждой лампы составляет 3000 лм.

Суммарный световой поток:

Ф = 6 × 2 × 3000 = 36000 лм.

Для определения коэффициента использования необходимо найти индекс помещения i:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| i = | A × B | , |
| h (A + B) |

где А – длина помещения,

В – ширина помещения,

h – высота помещения.

Имеем: А = 9 м, В = 5 м, h = 3,2 м, откуда i = 1,0.

Для определения коэффициента использования необходимо также предположительно оценить коэффициенты отражения поверхностей помещения, которые составляют соответственно для потолка, стен и расчетной поверхности 70%, 30% и 10%.

Светильники ЛПП01 относятся ко второй группе, поэтому потоки нижней и верхней полусфер будут равны соответственно 0,66 и 0,16. Коэффициент использования светового потока, излучаемого в нижнюю полусферу, равен – 0,50 и в верхнюю полусферу – 0,35. Тогда коэффициент использования равен: 0,50 × 0,66 + 0,35 × 0,16 = 0,38.

В помещении с нормальной сферой при газоразрядных лампах коэффициент запаса k = 1,5.

Коэффициент z, характеризующий неравномерность освещения, является функцией многих переменных и в наибольшей степени зависит от отношения расстояния между светильниками к расчетной высоте. При этом отношении, не превышающем рекомендуемых значений, можно принимать z = 1,1 для люминесцентных ламп при расположении светильников в виде светящихся линий. В нашем случае это отношение равно: 2,5/3,2 = 0,8, что не превышает рекомендуемого значения. Следовательно, примем z = 1,1. В помещениях, где положение работающего создает частичное затемнение, следует ввести коэффициент затемнения. Этот коэффициент равен 0,8.

Зная все необходимые данные, подсчитаем освещенность:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Е = | 6000 × 6 × 0,38 × 0,8 | = 147 лк. |
| 1,5 × 45 × 1,1 |

Полученное значение меньше 150 лк, значит, освещение ниже санитарных норм.

Таким образом, в результате данного расчета выявилась необходимость улучшения освещенности рабочего места инженера-настройщика. Для этой цели было проведено следующее мероприятие: установка настольных ламп на рабочих местах. После установки ламп освещенность стала соответствовать уровню санитарных норм.

**4.3. Опасность поражения электрическим током [10].**

Значительная доля травм при работе на стендах динамических испытаний, на которых производится настройка приборов СВЧ, возникает в результате прикосновений человека к элементам электроустановок, на которые подается напряжение в процессе нормальной эксплуатации.

Все приборы, которые находятся на стенде, имеют металлический корпус. При прикосновении к токоведущим частям, находящимся под напряжением, при нарушении изоляции, напряжение может появиться на данной конструкции. При прикосновении к ней человека может произойти замыкание, то есть прохождение тока через тело человека. При длительном воздействии (20 сек и более) электрический удар способен привести к остановке дыхания и фибрилляции сердца, влекущие за собой смерть, если пострадавшему не будет оказана своевременная помощь.

Существующие в настоящее время устройства защиты человека от поражения электрическим током осуществляют следующие функции:

1. Не допускают прикосновений человека к элементам находящимся под напряжением.

2. Осуществляют защиту человека при прикосновениях к элементам, находящимся под напряжением.

3. Препятствуют попаданию напряжения на нетоковедущие элементы электроустановок.

4. Защищают человека при прикосновениях к элементам оборудования, оказавшимся под напряжением в результате нарушения нормального режима работы электроустановок (замыканий на корпус, на землю и т.д.).

К защитным устройствам, обеспечивающим недоступность элементов, находящихся под напряжением относятся различного рода ограждения, блокировки, сигнализация, размещение токоведущих элементов на недоступной высоте и индивидуальные средства защиты.

Электрическая изоляция осуществляет все виды защиты и является наиболее универсальным защитным средством, применяющимся во всех без исключения электроустановках. Применение пониженного напряжения, безопасного для человека, может обеспечить, полную электробезопасность. Заземление элементов электрооборудования, нормально изолированных от напряжения получило широкое распространение, особенно в электроустановках выше 1000 В. Защитным отключением принято называть систему защиты, обеспечивающую автоматическое отключение всех фаз аварийного участка сети с полным временем отключения, обеспечивающим безопасность. Защитное отключение может осуществлять защиту при однофазных замыканиях и защиту при прикосновениях к элементам под напряжением, что повышает ценность такой защиты.

Для защиты от высокого напряжения стенд подключен к общецеховой защите занулением с автоматическими выключателями серии А-3110 с нерегулируемыми расщепителями на номинальный ток 100 А.

**4.4. Меры защиты от СВЧ – излучения.**

Основным же вредным фактором, влияющим на человека при работе на стендах, является электромагнитное излучение сверхвысокой частоты. Электромагнитное поле высокой мощности и частоты вредно для человека и поэтому необходимо оценить его напряженность вблизи места, где работают люди. Утечки электромагнитного излучения могут происходить через конструктивные щели волноводов, через диэлектрики, имеющиеся в конструкции, а также через окно вывода энергии.

Высокочастотное излучение воздействует на организм человека и может изменять условно-рефлекторную деятельность, кровяное давление, пульс и дыхание. При частых облучениях происходят стойкие функциональные изменения в центральной нервной и сердечно-сосудистой системах. Степень воздействия СВЧ поля на организм человека зависит от интенсивности облучения, его длительности и частоты источника.

Одним из наиболее важных биофизических аспектов защиты от электромагнитных полей является выбор критерия интенсивностей электромагнитных полей, потенциально опасных для человека, и формы их представления так, например нормирования. В качестве нормированных параметров электромагнитных полей в диапазоне f > 300 мГц нормируется плотность потока мощности. В диапазоне СВЧ ближняя зона (зона индукции) расположена в непосредственной близости у излучателя, и рабочие места попадают в дальнюю зону (зону дифракции).

В общем случае – границей между промежуточной и дальней зоной является величина: R = λ / 2π.

Для прибора, работающего в сантиметровом диапазоне волн, интенсивность облучения на рабочих местах регламентируется в единицах энергетической нагрузки. Для приборов со скважностью менее 50, к которым относится наш клистрон, нормированное значение допустимой энергетической нагрузки на организм:

W дoп = 2 Вт час / кв.м.

Рассчитаем предельно допустимую плотность потока мощности:

ППМ доп = W дoп / Т,

где Т – время пребывания в зоне облучения [час].

На стенде работы ведутся полный рабочий день – 8 часов, поэтому: ППМ доп = 0,25 Вт / кв.м.

Основными источниками СВЧ излучения в клистроне являются:

– зазор между коллектором и электродинамической системой,

– щели и места слабого уплотнения элементов СВЧ тракта.

Утечки СВЧ излучения через диэлектрики, входящие в конструкцию прибора, предотвращаются стальными экранами, предусмотренными конструкцией. Если они все же отсутствуют, то их уровень много меньше уровня излучения из зазоров и щелей.

Величины зазоров не превышают 1 мм. При длине волны 100 мм рабочее место находится в дальней зоне – зоне дифракции. В этой зоне векторы электрического и магнитного полей колеблются в фазе. А электромагнитное поле сформировано в виде волн накладывающихся друг на друга и образующих дифракционные максимумы и стоячие волны. На практике эффективность воздействия поля в дальней зоне оценивается по плотности потока мощности излучения, проходящей за секунду через единицу поверхности, перпендикулярной направлению распространения волны. Максимальное значение плотности потока мощности можно приближенно вычислить по формуле:

ППМ = РG / 4 π L r2,

где Р – излучаемая мощность,

r – расстояние до излучателя,

G – коэффициент направленности излучателя, зависящий от геометрических размеров излучателя. Если размеры малы, то его можно считать точечным и тогда G = 1.

Применяя указанную формулу, найдем для одного импульса

ППМ = 16 кВт / кв.м., что больше допустимого значения.

Следовательно, необходимо разработать меры защиты от СВЧ излучения. Для этого рассчитаем необходимую величину ослабления поля и коэффициент эффективности экрана:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 1 | = | ППМ | = 64000. |
|  | М | ППМ доп |

Для защиты человека от высоких уровней СВЧ трактов необходимо предотвращать появление щелей и зазоров между соединяемыми фланцами СВЧ трактов. Для этого следует устанавливать прокладки из мягких металлов, например, свинца. Если фланцевое соединение часто разбирают, то нужно устанавливать специальные пружинные прокладки.

Защита от СВЧ применяется для обеспечения безопасности персонала и населения, находящихся в зоне действия мощных источников СВЧ. В широком понимании под защитой подразумевают любые мероприятия, направленные на снижение интенсивности СВЧ и электромагнитных полей.

Для защиты от СВЧ излучения нужно использовать следующие типы защиты:

1. Защита временем – ограничение времени пребывания людей в зоне с повышенным СВЧ излучением.

2. Защита расстоянием – увеличение расстояния от источника излучения до рабочего места. Рассчитаем расстояние от источника излучения до рабочего места:

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| r без = | √ | Ризл G | | |  |
|  | 4 π L ППМнорм |  |

После подстановки данных найдем, что расстояние между источником и рабочими местами должно составлять не менее 1 метра. Граница зоны безопасного расстояния отмечается ограждением или предупредительным знаком.

3. Защита пониженной мощностью.

Ясно, что в данном случае этот тип защиты является наиболее эффективным. Поэтому рассчитаем экран из алюминия, который установим между СВЧ трактом и рабочим местом на расстоянии 20 см от источника излучения. Толщину экрана можно рассчитать по формуле:

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Z = | - Ln М/2 | | | |  |
|  |  |  |  |
| √ | ωχ | μ |  |
| 2 |  |

где χ – электрическая проводимость материала (для алюминия 3,54 + 5 1/Ом см)

μ – магнитная проницаемость материала 4 π 10 – 9 ГН / см.

После подстановки данных найдем, что для экранировки требуется лист алюминия толщиной 0,008 мм. Используем для защитного экрана лист толщиной 0,5 мм, свернутый в цилиндр и надетый сверху на СВЧ тракт.

4. Защита экранами.

5. Рациональная планировка рабочего места.

6. Применение средств, индивидуальной зашиты.

7. Уменьшение составляющих напряженностей электрического и магнитного полей в зоне излучения – уменьшение плотности потока энергии.

**4.5. Температура, влажность, давление [11].**

Системы вентиляции и отопления в цехе динамических испытаний должны обеспечивать параметры микроклимата в соответствии с требованием ГОСТ 12.1.005-88 [12], а также в соответствии с главой СНиП 2-33-75 "Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха".

– температура воздуха: в тёплый период года 23 – 25 0С,

в холодный период года 22 – 24 0С;

– влажность: 40 – 60 %;

– давление: нормальное по ГОСТ 12.1.005-88.

Для поддержания заданных значений температуры и влажности в помещениях применяют кондиционирование и вентиляцию. Кондиционирование воздуха должно обеспечивать автоматическое поддержание параметров микроклимата в необходимых пределах в течении всех сезонов года, очистку воздуха от пыли и вредных веществ, создание небольшого избыточного давления в чистых помещениях для исключения поступления неочищенного воздуха. Рекомендуемая интенсивность вентиляции для цеха составляет 0,5 – 1 куб.м. свежего воздуха в минуту на каждый квадратный метр пола.

**4.6. Требования к уровням шума и вибрации.**

Повышенный уровень шума на рабочем месте влияет на работоспособность, вызывая усталость. Источником шума могут быть несколько типов приборов в общей системе. Шум представляет собой беспорядочное сочетание звуков разной интенсивности и частоты. Шум оказывает вредное влияние на весь организм, и в первую очередь на сердечно-сосудистою и нервную систему. Шум неблагоприятно воздействует на человека: ослабляет внимание, увеличивает расход энергии при одинаковой физической нагрузке, замедляет скорость психических реакций, что может привести к несчастному случаю.

Допустимые уровни звукового давления и уровня звука на рабочих местах должны соответствовать требованиям "Санитарных норм допустимых уровней шума на рабочих местах" (СН 3223-85) и не должны превышать предельно допустимых величин.

Нормативные параметры шума на рабочих местах являются обязательными для всех организаций и предприятий. Нормы допустимого шума на рабочих местах регламентируются требованиями ГОСТ 12.1.003-83 [13] и составляют:

– там, где работают математики, программисты и операторы видео дисплейных терминалов, не должны превышать 50 дБ, по шкале А;

– в помещениях, где работают инженерно-технические работники – 60 дБ, по шкале А.

Снизить уровень шума можно путем обивки стен шумопоглощающими материалами.

**4.7. Пожарная безопасность.**

Рабочее помещение должно удовлетворять требованиям по предотвращению и тушению пожара по ГОСТ 12.1.004-85 [14]. Обязательно наличие телефонной связи и пожарной сигнализации.

Материалы, применяемые для ограждающих конструкций и отделки рабочих помещений, должны быть огнестойкими. Для предотвращения возгорания в зоне расположения прибора обычных горючих материалов (бумага) и электрооборудования, необходимо принять следующие меры:

– в цехе динамических испытаний должны быть размещены углекислотные огнетушители типа ОУ-2, ОУ-5, ОУ-8, выбор углекислотного огнетушителя обусловлен тем, что углекислота не проводит электрический ток, с его помощью можно быстро ликвидировать очаг загорания или локализовать огонь до прибытия пожарной команды;

– в качестве вспомогательного средства тушения пожара могут использоваться гидрант или устройства с гибкими шлангами;

– для непрерывного контроля помещения необходима система обнаружения пожаров, так можно использовать извещатели типа КИ-1.

Система должна быть сконструирована так, чтобы обеспечить отключение систем питания и кондиционирования воздуха. В сочетании с системой обнаружения следует использовать систему звуковой сигнализации.

Инженеры-настройщики допускаются к выполнению работ только после прохождения инструктажа по безопасности труда и пожарной безопасности.

В связи с выше сказанным можно сделать выводы о том, что в результате проведенных мероприятий: улучшения освещения рабочего места инженера; защиты от СВЧ – излучения, обеспечения электробезопасности; оптимальных параметров температуры, влажности и давления; снижения уровня шума и обеспечения пожарной безопасности.

Снижается утомляемость глаз, улучшается работоспособность, уменьшается вредное влияние на нервную, сердечно-сосудистую системы и на весь организм в целом. Все это ведет к тому, что повышается безопасность, а следовательно и производительность труда инженера при настройке прибора.

**Заключение.**

Основными результатами исследований проведенных в дипломной работе являются следующие:

1. Методом анализа по программе «Алмаз» проведен расчет существующего варианта ЭОС прибора КИУ-147. Расчетное значение первеанса первого луча составило 0,57 мкА/В3/2, а максимальное значение коэффициента заполнения канала пучком является недопустимо высоким и составляет 0,875 в области за вторым реверсом. Сделан вывод, о необходимости проведения оптимизации ЭОС с целью улучшения формирования пучка и уменьшения максимального значения коэффициента заполнения.

2. Выполнен анализ причин плохого формирования пучка в существующей ЭОС. Показано, что для улучшения формирования пучка необходимо ликвидировать неламинарность электронных траекторий в области пушки и улучшить фазу встрела пучка в область второго реверса.

3. На основе совокупности методов синтеза и анализа по программам «Синтез» и «Алмаз» рассчитана новая электронная пушка с высокой ламинарностью траекторий формируемого пучка. Первеанс пушки близок к первеансу существующего варианта ЭОС и составляет 0,57 мкА/В3/2.

4. Проведен расчет ЭОС прибора с новой электронной пушкой от катода до коллектора. Показано, что применение новой пушки улучшило ламинарность электронных траекторий. Но радиус электронного потока в выходной части прибора уменьшен не значительно (приблизительно на 7 %). Анализ результатов расчета этого варианта ЭОС свидетельствует о том, что для уменьшения радиуса пучка в выходной части прибора необходимо провести расчет и оптимизацию распределения магнитного поля в ЭОС с новой электронной пушкой.

5. Проанализированы возможные пути оптимизации и распределения магнитного поля существующей ЭОС. Сделан вывод о том, что путь оптимизации ЭОС за счет увеличения амплитуды магнитного поля в системе, может привести к магнитному насыщению перемычек между соседними пролетными каналами в полюсных наконечниках прибора. В этом случае в ЭОС возникают сильные поперечные магнитные поля приводящие к нарушению токопрохождения в приборе. Поэтому такой путь оптимизации ЭОС признан не приемлемым.

6. Выполнена оптимизация ЭОС за счет уменьшения амплитуды используемого магнитного поля. Показано, что уменьшение амплитуды магнитного поля на 200 Гс в области за первым реверсом приводит к уменьшению коэффициента заполнения канала пучком с 0,875 до 0,73. Последующее увеличение амплитуды магнитного поля в области за вторым реверсом на 100 Гс приводит к уменьшению коэффициента заполнения канала пучком в области за вторым реверсом до значения 0,66. Далее был рассчитан вариант ЭОС для случая, когда индукция магнитного поля везде была уменьшена на 5 % по сравнению с предыдущим вариантом. При этом коэффициент заполнения канала пучком в области за вторым реверсом достиг приемлемого значения равного 0,57. Это свидетельствует о том, что поставленная в дипломе задача полностью выполнена.

**Список литературы.**

1. Молоковский С.И., Сушков А.Д. Интенсивные электронные и ионные пучки. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 302 с.

2. Алямовский И.В. Электронные пучки и электронные пушки. – М.: Советское радио, 1966. – 456 с.

3. Чечерников В.И. Магнитные измерения. Под ред. Проф. Кондорского Е.И. – М.: Московский университет, 1963. – 283 с.

4. Невский П.В. Теория В.Т. Овчарова и примеры ее использования при расчете электронно-оптических систем электровакуумных приборов. Обзоры по электронной технике. Серия 1. Электроника СВЧ. Выпуск 15 (1483) – М.: ЦНИ Электроника, 1989. – 48 с.

5. Великанов К.М., Власов В.Ф., Карандашова К.С. Экономика и организация производства в дипломных проектах. – Л.: Машиностроение, 1977. – 207 с.

6. Методические указания по организационно-экономической части дипломных проектов – М.: МИРЭА, 1990. – 30 с.

7. Выполнение организационно – экономической части дипломных проектов. – М.: МИРЭА, 1987. – 67 с.

8. ГОСТ12.0.003. – 74. Опасные и вредные производственные факторы.

9. Самгин Э.Б. Освещение рабочих мест. – М.: МИРЭА, 1989. – 27 с.

10. ГОСТ12.1.019 – 79. Электробезопасность. Общие требования.

11. Розанов В.С., Рязанов А.В. Обеспечение оптимальных параметров воздушной среды в рабочей зоне. – М.: МИРЭА, 1998. – 44 с.

12. ГОСТ12.1.005 – 88. Воздух рабочей зоны. Общие санитарно-гигиенические требования.

13. ГОСТ12.1.033 – 83. Шум. Общие требования безопасности.

14. ГОСТ12.1.004 – 85. Пожарная безопасность. Общие требования.

**Речь.**

В последние годы широкое распространение получили многолучевые конструкции пролетных клистронов реверсной магнитной фокусировкой. Такие приборы требуют для своей работы сравнительно низковольтные источники питания и обладают сравнительно малым весом и габаритами.

Можно показать, что использование реверсной магнитной системы позволяет в (n + 1)2 раз уменьшить вес системы по сравнению со случаем использования однородного магнитного поля (n – число реверсов). Однако, расчет фокусирующей системы мощного клистрона с реверсной магнитной фокусировкой представляет собой решение сложной задачи электронной оптики, так как в таких ЭОС необходимо обеспечить высокую ламинарность электронных траекторий и обеспечить оптимальную фазу влета пучка в каждый реверс.

В данной работе рассматривается использование современных компьютерных программ расчета для анализа и оптимизации клистрона КИУ-147, разработанного около 15 лет тому назад. Этот клистрон используется в ускорительной технике и имеет следующие параметры:

|  |  |
| --- | --- |
| Импульсная мощность, мВт – 5; | Анодное напряжение – 52 кВ; |
| Средняя мощность, кВт – 25; | Количество электронных лучей – 40; |
| Частота, мГц – 2450; | Расположение электронных лучей:  а) диаметр 84 – 21 луч,  б) диаметр 64 – 19 лучей; |
| Количество реверсов – 2; | Диаметр пролетного канала 6,5 – 8 мм; |
| КПД, % - 44; | Суммарный первеанс ≈ 20 × 10-6 А/В3/2; |
| Коэффициент усиления, дБ – 50; | Диаметр катода – 8,6 мм. |

Основной целью дипломного проекта является расчет конфигурации электронных лучей в этом приборе от катода до конца пролетного канала и последующая оптимизация ЭОС на основе современных программ компьютерного расчета.

Внизу на плакате 1 представлены результаты расчета, методом анализа по программе «Алмаз», электронного луча от катода до конца пролетного канала для существующего варианта ЭОС. На этом рисунке показано распределение реверсного магнитного поля на оси одного из пролетных каналов и траектория электронов формируемого электронного потока. Расчетное значение первеанса одного луча составило Рμ = 0,57 мкА/В3/2, что соответствует суммарному расчетному первеансу ЭОС (0,57 × 40 = 22,8 мкА/В3/2).

Из этого рисунка следует, что максимального значения радиус электронного потока достигает в выходной части прибора и составляет 2,7 мм. Поскольку радиус пролетной трубы клистрона равен 3,25 мм, то максимальное значение коэффициента заполнения канала пучком (b), по результатам расчета, равно 0,875. Такое значение коэффициента заполнения является недопустимо высоким. В связи с этим встает задача оптимизации данной ЭОС с целью уменьшения радиуса формируемого пучка. Как видно из этого рисунка имеются две причины увеличения радиуса пучка в выходной части прибора.

– неламинарность электронных траекторий в пушке.

– не оптимальность фазы влета пучка во второй реверс. При подходе ко второму реверсу электронный пучок является расширяющимся, а не сходящимся.

Для ликвидации указанных причин необходимо провести оптимизацию электронной пушки для устранения неламинарности и оптимизацию распределения магнитного поля, для изменения фазы влета пучка во второй реверс.

Расчет оптимизации электронной пушки, проводился на основе использования совокупности методов синтеза и анализа. На плакате 2 показаны результаты расчета пушки методом синтеза (по программе «Синтез»). При расчете пушки задавались следующие 3 параметра:

Рμ = 0,57 мкА/В3/2; S = 3; b = 0,5.

Упрощение синтезной формы фокусирующих электродов проводилось методом анализа (по программе «Алмаз»), при этом теоретическую форму фокусирующих электродов, заменили реальной, как показано на рисунке. Окончательный оптимизированных вариант электронной пушки показан на плакате 3. Полученные основные параметры пушки следующие:

Анодное напряжение – 52 кВ;

Микропервеанс одного луча – 0,57 мкА/В3/2;

Ток одного луча – 6,7 А.

Пушка формирует ламинарный электронный поток. Существующую ранее неламинарность удалось ликвидировать.

Далее эта электронная пушка была поставлена в систему, и был выполнен новый расчет ЭОС от катода до конца пролетного канала. Результаты расчета показаны вверху на плакате 4 (рис.2.5). Сравнивая эти данные (рис.2.5) с результатами расчета на рис.2.2 можно сделать вывод о том, что применение новой электронной пушки улучшило ламинарность электронных траекторий. Теперь крайняя траектория не пересекает остальные траектории пучка. Однако радиус электронного потока в выходной части прибора уменьшился лишь на 7 %.

Оптимизация распределения магнитного поля в системе проводилось также на основе использования программы «Алмаз». Как следует из рис.2.5 для улучшения фазы влета пучка во второй реверс амплитуду магнитного поля во второй области необходимо либо увеличивать, либо уменьшать. При увеличении амплитуды поля во второй области длина волны пульсации уменьшается и можно достичь того, что во второй реверс пучок будет входить сходящимся. При уменьшении амплитуды поля во второй области длина волны пульсации увеличивается и опять можно достичь того, что во второй реверс пучок будет входить сходящимся. Оба эти метода были исследованы практически. Внизу на плакате 4 приводятся результаты расчета пучка для случая когда амплитуда магнитного поля везде увеличена на 10 % (рис.2.6).

Из рисунка следует, что увеличение магнитного поля на 10 % привело к заметному уменьшения радиуса пучка в выходной части прибора (приблизительно на 30 %). В этом случае электронный поток на входе во второй реверс не расходится, а практически параллелен оси пролетного канала. Казалось бы, что если еще увеличить магнитное поле, то в выходную область прибора электронный поток будет входить сходящимся, что приведет к дальнейшему улучшению параметров пучка в этой области. Однако, как показано в дипломе, такой путь не приемлем из-за опасности возникновения насыщения перемычек между соседними пролетными каналами в полюсных наконечниках прибора изготовленных из магнитомягкого материала. Расчет показывает, что если поле в зазоре увеличить до 1200 Гс, то индукция магнитного поля в перемычках полюсных наконечников составит 16200 Гс, что близко к индукции насыщения стали 03 ВД, составляющей примерно 20000 Гс.

Путь увеличения толщины полюсных наконечников с целью снижения индукции в перемычках увеличивает протяженность зоны реверса и требует существенного изменения конструкции прибора. В связи с этим в дипломе улучшение структуры формируемого пучка достигается за счет уменьшения амплитуды используемого магнитного поля. Вернемся к варианту ЭОС представленному на рис.2.5, но магнитное поле во втором реверсе уменьшим на 100 Гс. Результаты расчета такой ЭОС вверху на плакате 5 (рис.2.7). Сравнивая этот рисунок с рис.2.5 находим, что уменьшение амплитуды магнитного поля несколько улучшило фазу влета пучка в область второго реверса и уменьшило радиус пучка в третьей области.

Внизу на плакате 5 (рис.2.8) показаны результаты расчета для случая, когда поле во втором реверсе еще уменьшили на 100 Гс. Сравнивая рис.2.8 и рис.2.5 видим, что уменьшение индукции магнитного поля на 200 Гс существенно улучшило фазу влета пучка во второй реверс и конфигурацию пучка в третьей области.

Вверху на плакате 6 (рис.2.9) показаны результаты расчета пучка, когда индукции магнитного поля в третьей области увеличили на 100 Гс по сравнению с рис.2.8. Это изменение магнитного поля заметно уменьшило радиус пучка в третьей области.

Внизу на плакате 5 (рис.2.10) показаны результаты расчета пучка для случая, когда индукции магнитного поля везде уменьшили на 5 %, по сравнению с результатом расчета, показанным на рис.2.9.

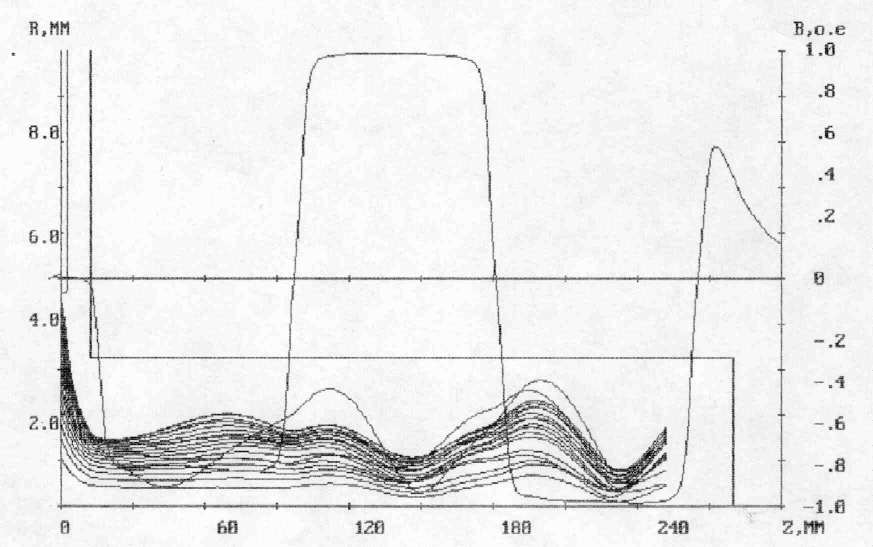
Это и есть оптимизированный вариант ЭОС. Сравнивая рис.2.10 с исходными вариантом ЭОС показанным на рис.2.5, следует сделать вывод о том, что в результате проведенного исследования удалось уменьшить в 1,4 раза радиус формируемого пучка в третьей области и ликвидировать неламинарность электронных траекторий в потоке. Амплитуда магнитного поля в оптимизированной ЭОС составляет в первой области – 760 Гс, во второй области – 746 Гс и в третьей области – 1007 Гс.

Применение новой оптимизированной ЭОС должно существенно улучшить параметры прибора КИУ – 147.

**Плакат 1.**

**Устройство исходного варианта электронно-оптической системы и результаты расчета конфигурации электронного луча в нем.**

|  |  |
| --- | --- |
| Импульсная мощность, мВт – 5; | Анодное напряжение – 52 кВ; |
| Средняя мощность, кВт – 25; | Количество электронных лучей – 40; |
| Частота, мГц – 2450; | Расположение электронных лучей:  а) диаметр 84 – 21 луч,  б) диаметр 64 – 19 лучей; |
| Количество реверсов – 2; | Диаметр пролетного канала 6,5 – 8 мм; |
| КПД, % - 44; | Суммарный первеанс ≈ 20 × 10-6 А/В3/2; |
| Коэффициент усиления, дБ – 50; | Диаметр катода – 8,6 мм. |



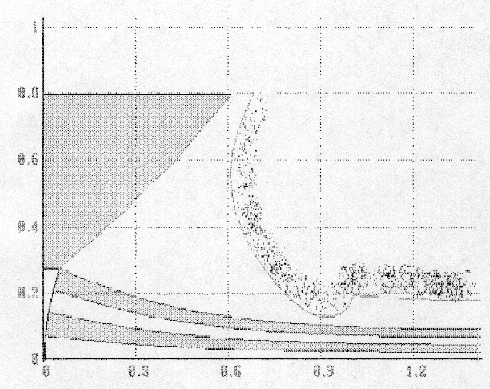
**Плакат 2.**

**Оптимизация электронной пушки.**

**Рμ = 0,57 мкА/В3/2**

**S = 3**

**b = 0,5**



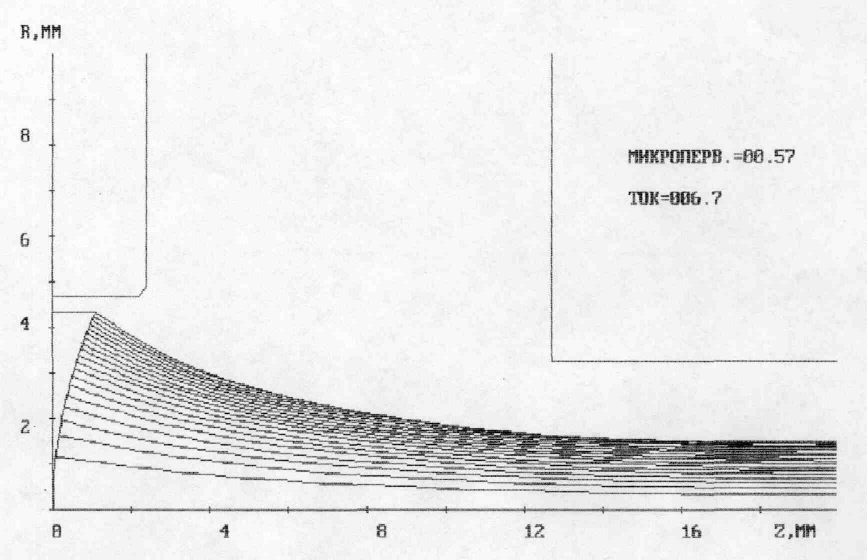
**Плакат 3.**

**Оптимизация электронной пушки.**

**Анодное напряжение – 52 кВ;**

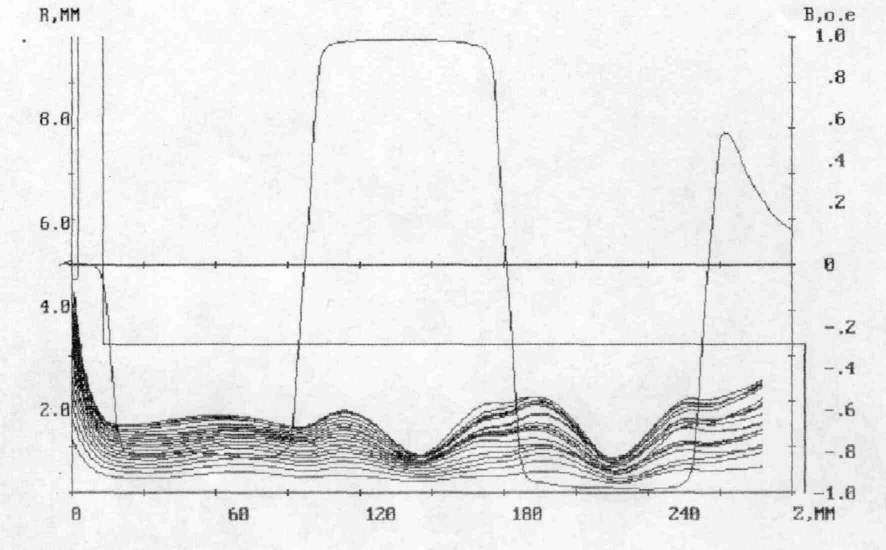
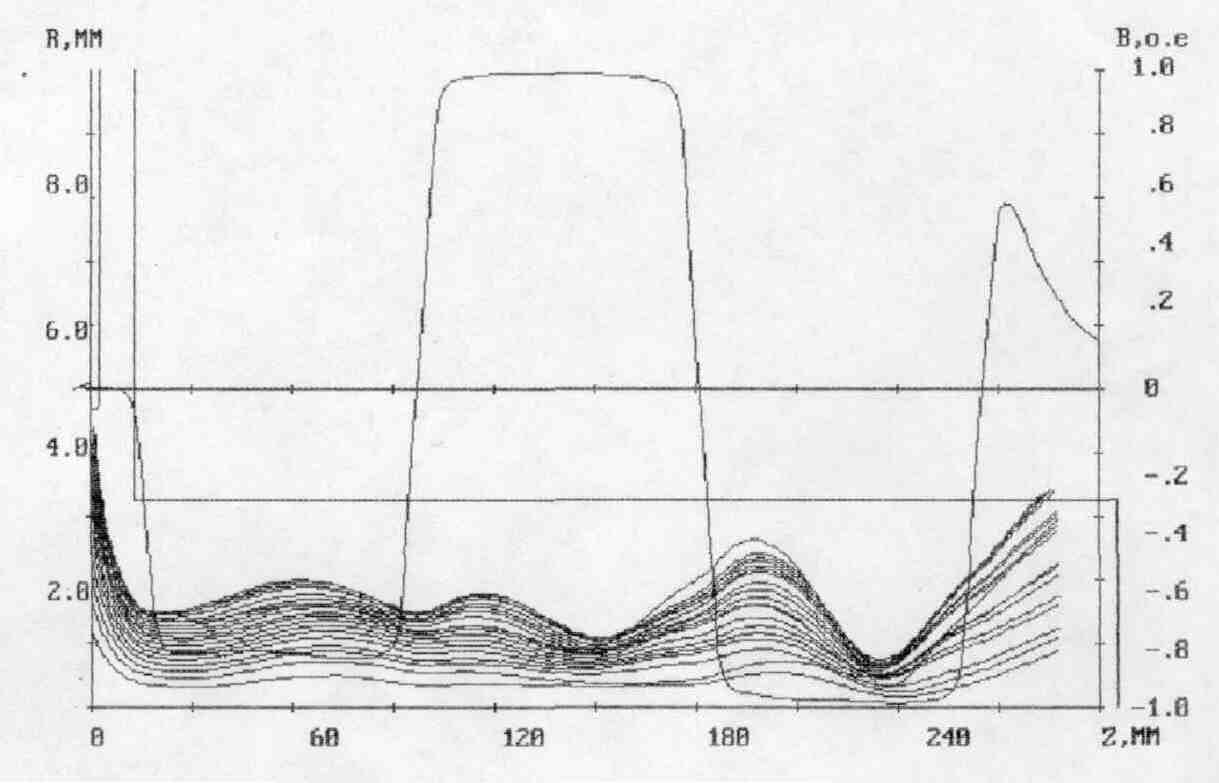
**Микропервеанс одного луча – 0,57 мкА/В3/2;**

**Ток одного луча – 6,7 А.**



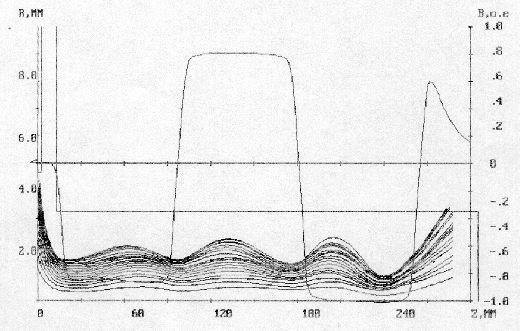
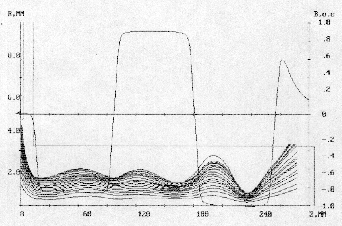
**Плакат 4.**

Конфигурация электронного луча при различной амплитуде магнитного поля.



**Плакат 5.**

Конфигурация электронного луча при различной амплитуде магнитного поля в различных реверсах.



**Плакат 6.**

**Оптимизированная электоронно-оптическая система прибора.**

