

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «НОВОСИБИРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ».

Физический факультет

Кафедра общей физики

Шупик Павел Алексеевич

КУРСОВАЯ РАБОТА

**Подбор конфигурации электродов источника электронов для  
установки электронно-лучевой сварки**

Электромагнитный практикум, 2 курс, группа №19306

**Научный руководитель:**

Т.А. Девятайкина

Оценка научного руководителя

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**Преподаватель практикума**

Рева Владимир Борисович

Оценка преподавателя практикума

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**Куратор практикума:**

к.т.н. В.Т. Астрелин

Итоговая оценка

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Новосибирск 2020

## **Аннотация**

Целью работы было получение оптимальной конфигурации электродов в установке электронно-лучевой сварки применяемой для сварки тугоплавких, высокоактивных металлов в космической, авиационной промышленности, приборостроении и др.

Для быстрого подбора нужных коэффициентов и получения всех характеристик установки электронно-лучевой сварки без лишних энергетических затрат мною была использована программа “WinSAM”, симулирующая работу установки

Ключевые слова: электронно-лучевая сварка, анод, катод.

## Оглавление

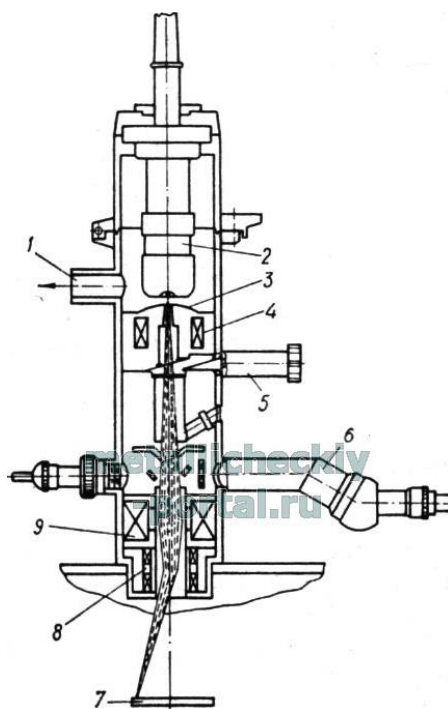
Введение .....	4
Основная часть .....	6
Теоретическая часть.....	6
Методика измерения.....	7
Результаты обработки данных .....	9
Заключение .....	10
Список использованной литературы.....	10

## Введение

Электронно-лучевая сварка — сварка, источником энергии при которой является кинетическая энергия электронов в электронном пучке, сформированном электронной пушкой.

Источник электронов – это металл, с которого под внешним воздействием, в основном нагревом, эмитируют электроны и при наличии другого электрода с меньшим потенциалом электроны направляются к нему

Электронная пушка представляет собой сосуд в котором создан высокий вакуум. В сосуде размещены два электрода — катод и анод. Катод представляет собой металл, разогреваемый током накала



*Рисунок 1. стационарная сварочная пушка: 1 – соединение с системой дифференциальной откачки, 2 – катодный узел, 3 - анод, 4 – система магнитной юстировки, 5 – вакуумный вентиль, 6 – система аксиального наблюдения, 7 – свариваемое изделие, 8 – отклоняющая электромагнитная система, 9 – фокусирующая линза*

При разогреве катода электроны начнут покидать его поверхность за счёт термоэлектронной эмиссии. По мере того как электроны покидают

поверхность катода и накапливаются в его атмосфере, возникает область отрицательного заряда. При этом в такой же пропорции поверхность начинает заряжаться положительно. В итоге каждому следующему электрону для отрыва из атома потребуется больше энергии, а сами электроны будут удерживаться положительно заряженной поверхностью в некоторой ограниченной по объему области над катодом. В результате вокруг катода образуется своего рода облако электронов. Часть электронов с наименьшими скоростями из облака возвращается обратно на катод. При заданной температуре катода облако стабилизируется: на катод падает столько же электронов, сколько из него вылетает.

Уже при нулевом напряжении анода относительно катода (например, при коротком замыкании анода на катод) в нашей ёмкости течёт ток электронов из катода в анод: относительно быстрые электроны преодолевают потенциальную яму пространственного заряда и притягиваются к аноду. Отсечка тока наступает только тогда, когда на анод подано запирающее отрицательное напряжение порядка – 1 В и ниже. При подаче на анод положительного напряжения в диоде возникает ускоряющее поле, ток анода возрастает. При достижении током анода значений, близких к пределу эмиссии катода, рост тока замедляется, а затем стабилизируется (насыщается).

При напряжении выше 30-50 кВ существует ограничение на поле на поверхности проводников в вакууме для  $10^5$  В/см в вакууме в теории, а на практике  $0,5-0,6 \cdot 10^5$  В/см

Получать электронные пучки высоких энергий целесообразно с помощью электронно-оптической системы, в основу которой положен принцип ускорения заряженных частиц в ускорительной трубке с электрическим полем, распределенным вдоль ее оси. Вышедший из прожектора пучок электронов малой энергии формируется и затем постепенно ускоряется внутри трубки, достигая на ее выходе полной энергии.

## Основная часть

### Теоретическая часть

Фокусировка пучка обычно осуществляется одной или двумя магнитными линзами. В пушках с одной линзой для уменьшения диаметра пучка на изделии необходимо уменьшать соотношение, определяемое отношением расстояния линза — изделие к расстоянию кроссовер — линза. С этой целью линзу располагают далеко от анода и близко к изделию. При этом увеличивается угол сходимости пучка на выходе из линзы, параметры пучка на изделии оказываются более чувствительными к току магнитной линзы и коэффициенту пульсаций ускоряющего напряжения. В пушках с двухлинзовой фокусировкой первая линза располагается близко к аноду, благодаря чему уменьшается сечение пучка в оконечной линзе и угол сходимости пучка на изделии.

Так же сам катод должен удовлетворять ряду условий:

Металлы с низкой температурой плавления — медь, алюминий и другие, попадая на поверхность катода, образуют при определенных условиях легкоплавкие летучие эвтектики. Испарение последних приводит к возникновению на катоде углублений и к нарушению начальной поверхности катода, из-за чего изменяются оптимальные условия фокусировки электронного луча. Если рабочая температура катода ниже температуры плавления свариваемого металла, то эмиссия катода будет спадать во времени. Недостаточно высокий вакуум в процессе сварки — обычно порядка  $10^{-4}$  мм рт. ст. — ведет к интенсивному разрушению поверхности катода ионной бомбардировкой. Кроме того, катод подвергается многократному воздействию атмосферного воздуха.

Расчет параметров цепи нагрева прямонакального катода и его тока эмиссии с достаточной для практики точностью производится по следующим основным соотношениям. Для значений тока накала  $I_H$  и напряжения накала  $U_H$ :

где  $I_1$  и  $U_1$  — соответственно ток накала и напряжение накала единичного катода (т. е. цилиндра диаметром 1 см и длиной 1 см), являющиеся функциями одной лишь температуры катода;  $l_K$  и  $d_K$  — соответственно длина и диаметр подогревателя или прямонакального катода.

$$I_H = \sqrt{\frac{P_H}{R_H}} = I_1 d_K^{3/2}$$

$$U_H = \sqrt{R_H P_H} = U_1 \frac{i_K}{d_K^{1/2}}$$

### Методика измерения

Мною было выбрана достаточно простое расположение катода, анода и фокусирующего электрода:

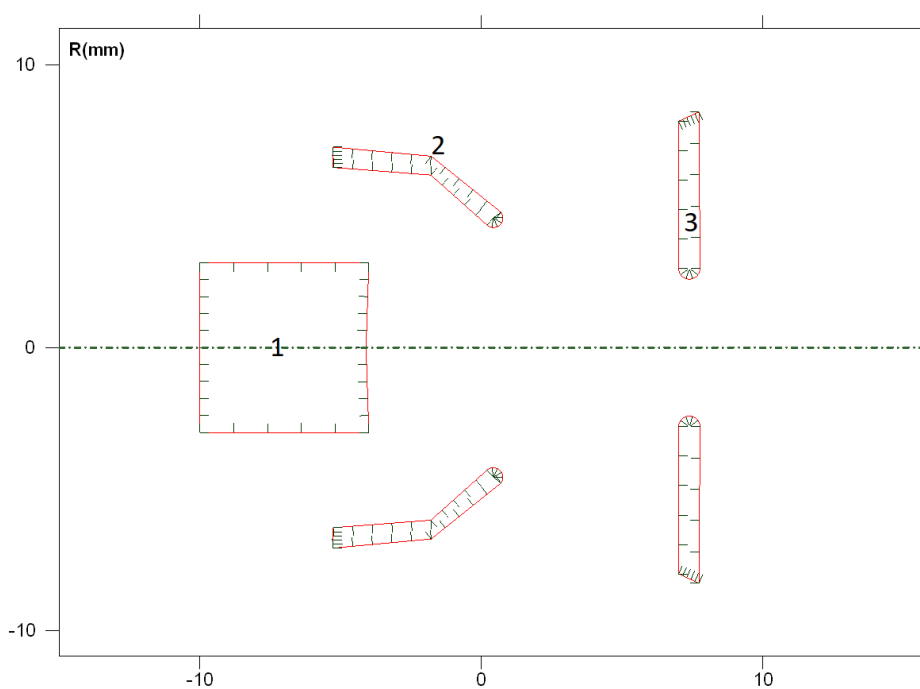
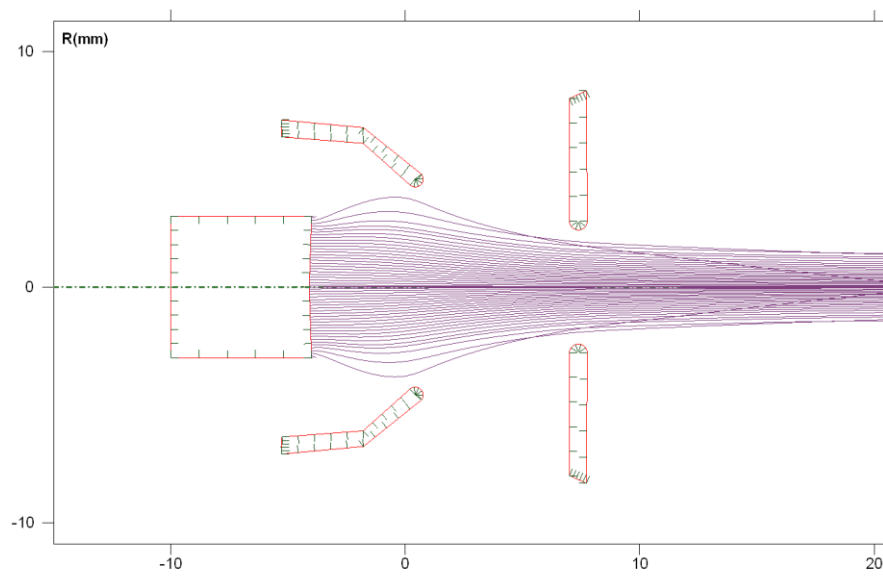


Рисунок 2. схема моей установки: 1 – катод, 2 – фокусирующий электрод, 3 - анод

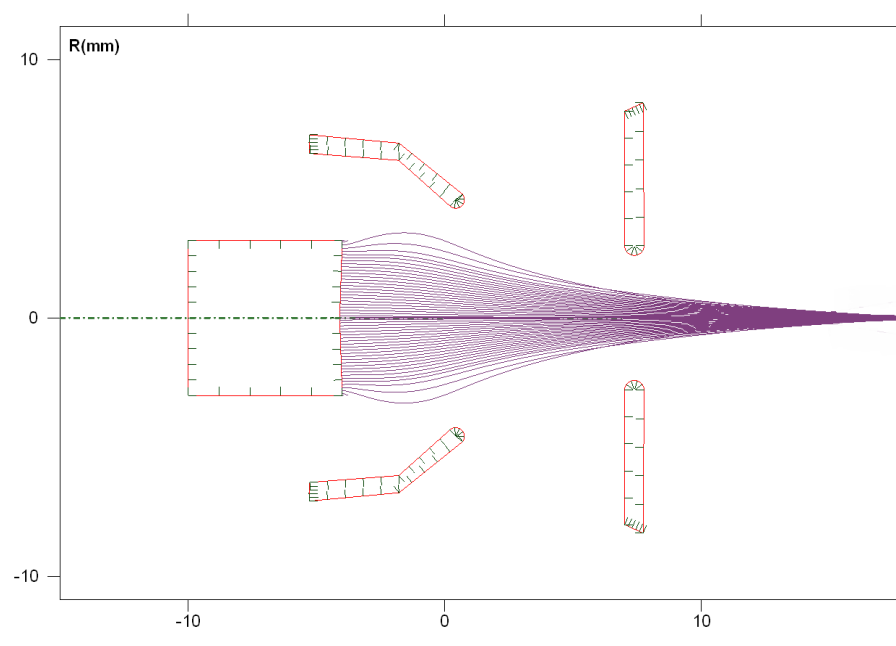
Для определения оптимального местоположения анода, катода и электрода я изменял расстояния и напряжения на катоде и электроде

При неподходящих значениях пучок не сходится, поэтому подбор достаточно непрост



*Рисунок 3. Пучёк при неправильных коэффициентах*

Мною были подобраны коэффициенты, в которых пучёк сходился и при небольшом отклонении пучёк оставался сходящимся

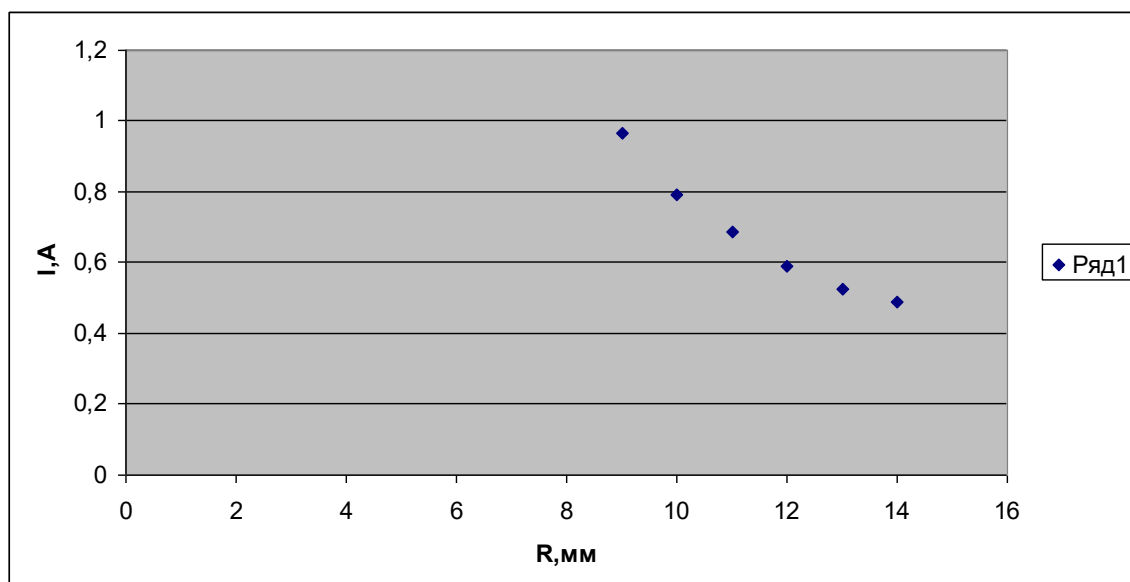


*Рисунок 4. сходящийся пучёк*

## Результаты обработки данных

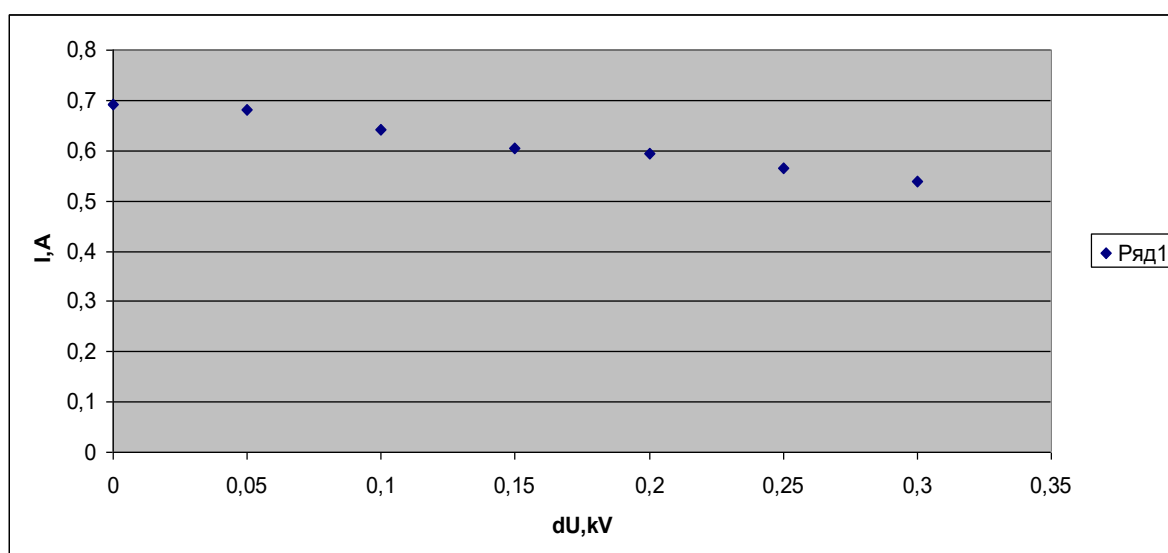
Мною были получены зависимости





*Рисунок 5. Зависимость тока пучка от расстояния между анодом и катодом*

Отсюда видно, что ток пучка зависит от расстояния между катодом и анодом экспоненциально и наибольший ток достигается при наименьшем расстоянии между анодом и катодом, однако при расстоянии меньше 11мм поле достигало значения, при котором произойдет пробой



*Рисунок 6. Зависимость тока пучка от разности потенциалов катода и анода*

Из Рис.6 видно, что ток зависит от разности потенциалов линейно

Из полученных результатов можно сделать вывод, что оптимальная конфигурация для данной установки: расстояние между анодом и катодом 11 мм и минимальное значение разности потенциалов

## **Заключение**

Проведены измерения силы тока пучка в месте сварки

По результатам данной работы мы можем сконфигурировать рабочую установку электронно-лучевой сварки. Конечно, оптимизации необходимо значительное усложнение, моей же целью было сконфигурировать простейшую приемлемо рабочую установку. Считаю, что цель работы достигнута в приемлемом объёме.

## **Список использованной литературы**

- 1) Назаренко О. К., Истомина Е. И., Лопшин В. Е. Электронно-лучевая сварка. Харьков, 1985.