

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

**«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»**

Кафедра общей физики

**Оценка эмиссионной активности термокатода в составе катодно –  
сеточного узла**

**АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ**

студентки 2 курса 2223 группы

направления 03.04.02 «Физика» Института физики

**Остапчук Юлии Дмитриевны**

Научный руководитель,

к. ф.-м. н., доцент

\_\_\_\_\_ С. В. Овчинников

Зав. кафедрой общей физики,

д. ф.-м. н., профессор

\_\_\_\_\_ А. А. Игнатьев

Саратов 2021

## Введение

Термоэлектронная эмиссия - испускание электронов нагретыми телами, происходящее в результате теплового возбуждения электронов в этих телах.

Это явление было открыто Эдисоном в 1882 году, хотя до него уже проводились эксперименты, которые указывали на увеличение проводимости газа у поверхности нагретого металла (работа Беккереля, 1853 г.). Пока что термоэлектронная эмиссия хорошо изучена. Механизм достаточно понятен. Хотя это довольно просто, в него стоит углубиться, поскольку он может служить примером, демонстрирующим проблемы, возникающие при изучении и применении процессов, связанных с испусканием заряженных частиц и их взаимодействием с поверхностью.

Наблюдать термоэлектронную эмиссию можно при помощи следующего простейшего устройства (рис.1.). Источником электронов или катодом служит проволока (К), которая нагревается от источника питания  $B_H$  за счет джоулева тепла. Ток накала нити регулируется переменным сопротивлением  $R$ , а его величина контролируется амперметром  $A_M$ . Катод окружен металлическим цилиндром, исполняющим роль анода (А). Приходящий на анод ток электронов фиксируется гальванометром. Между нитью и анодом имеется регулируемый источник напряжения ( $V_A$ ), позволяющий изменять разность потенциалов между катодом и анодом. Устройство позволяет получить зависимости тока от разности потенциалов - вольтамперные характеристики, и от температуры.

Чтобы оценить эффективность катода и его эмиссионную способность на сегодняшний день используют 3 метода:

1. Время падения тока анода на 20 %;
2. Снятие недокальной характеристики;
3. Снятие вольтамперных характеристик.

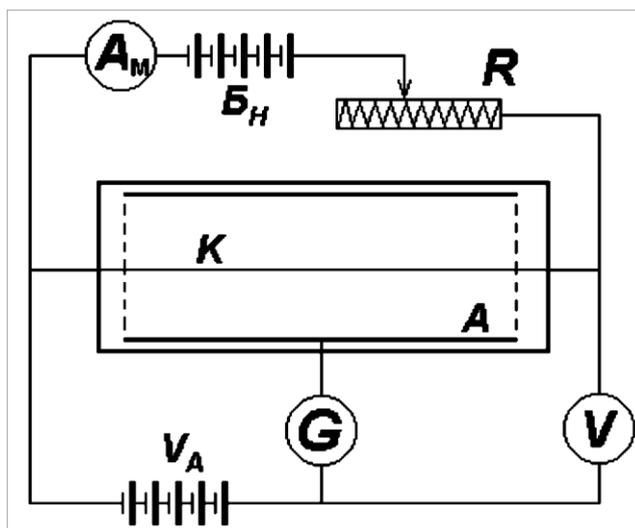


Рис.1. Простейшая схема для измерения термоэмиссионного тока:  
*K* – катод, *A* – анод,  $V_A$  – источник напряжения, *V* – вольтметр,  
*G* – гальванометр для измерения термоэмиссионного тока,  
*B<sub>H</sub>* – источник тока накала катода,  $A_M$  – амперметр,  
*R* – сопротивление, позволяющее регулировать температуру катода

Под недокальной характеристикой понимается зависимость тока катода от температуры  $I_a=f(T)$  или от напряжения накала  $I_a=f(U_H)$  при неизменных значениях напряжения на электродах прибора (диода), включающая области ограничения пространственным зарядом и температурой (область насыщения тока катода). Каждый из этих способов имеет свои достоинства и недостатки.

Актуальной проблемой на данный момент является разработка новых устройств для замера недокальной характеристики, подбор параметров для автоматического замера с сохранением дальнейшей работоспособности катода и оценка эмиссионной способности по полученным данным.

Целью настоящей выпускной квалификационной работы является экспериментальное исследование эффективности определенного типа катода в составе катодно-сеточного узла на основе его недокальных характеристик.

### Основное содержание работы

Термокатоде можно охарактеризовать рядом параметров. Наиболее важными являются следующие:

- Плотность эмиссионного тока;

- Потребляемая мощность;
- Рабочая температура;
- Стабильность тока;
- Время службы катода.

Под эффективными понимают катоды, обладающие невысокой рабочей температурой, способные эмитировать токи с высокой плотностью длительное время (десятки тысяч часов) без каких-либо изменений характеристик.

### **Классическая конструкция металлопористого термокатода**

Пористая вольфрамовая губка представляет собой спрессованный из вольфрамового порошка или его смеси с другими тугоплавкими металлами и отожженный диск, который подвергается пропитке активным веществом.

Активным веществом чаще всего являются алюминаты бария – кальция с соотношением  $\text{BaO}$ ,  $\text{CaO}$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$ : 5:3:2, 4:1:1, 6:2:1 и др., получаемых различными способами: спеканием в твердой фазе, совместным осаждением компонентов в жидкой фазе и др. При изготовлении пропитанных алюминатных катодов в процессе пропитки губки алюминат расплавляется и заполняет ее поры. При температуре 1700-1800°С происходит энергичное взаимодействие алюмината с вольфрамом. В результате взаимодействия выделяется свободный барий. Пропитка проводится в среде водорода.

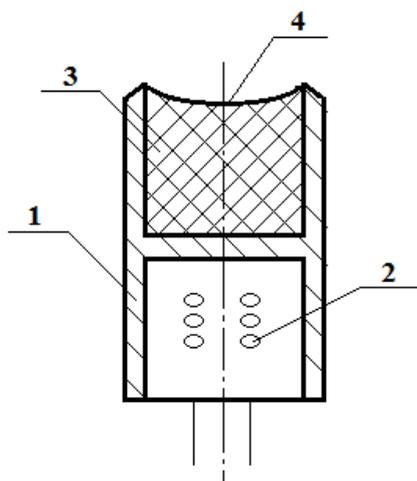


Рис. 2. Металлопористый термокатод

- 1 - корпус катода из тугоплавкого металла (Mo),
- 2 - подогреватель;
- 3 - пористая вольфрамовая губка, пропитанная активным веществом;
- 4 - эмитирующая поверхность.

В процессе эксплуатации такого термокатода вследствие твердофазной реакции восстановления активного вещества металлом (W) под действием рабочей температуры порядка 900...1200°C непрерывно образуется свободный барий, мигрирующий на поверхность, обеспечивая эмиссионную активность катода.

### **Оценка эмиссионной активности**

Это импульсный метод, согласно которому измерение тока эмиссии проводится в течение очень коротких промежутков времени путем подачи на электроды прибора импульсов прямоугольной или близкой к ней форме длительностью от нескольких микросекунд до нескольких миллисекунд с частотой повторения от нескольких сот до нескольких тысяч импульсов в секунду. При этом получают токи эмиссии в несколько сот ампер с квадратного сантиметра. Недостатком способа является то, что его целесообразно применять только для исследования приборов, работающих в импульсном режиме.

Известен способ измерения эмиссии термокатодов по недокальной характеристике катодного тока, которая представляет собой зависимость катодного тока от температуры катода (или напряжения накала) при постоянном значении анодного напряжения. По недокальной характеристике определяют характеристическую температуру катода при заданной плотности катодного тока, являющуюся показателем эмиссионной активности катода. Чем активнее катод и чем больше его эмиссия, тем меньше характеристическая температура.

### **Оценка эмиссионной способности катода в составе катодно - сеточного узла**

В электровакуумных приборах СВЧ (ЭВП СВЧ) для формирования электронного луча используются катодно-сеточные узлы (КСУ), к которым предъявляются следующие основные требования:

1. Катод должен обеспечивать необходимую величину электронного луча (для мощных приборов удельный токооборот с катода может достигать десятков А/см<sup>2</sup>).

2. Управляющая сетка не должна иметь токоперехвата или токоперехват должен быть минимальным, который бы не приводил к потере сеточного управления.

3. Материал сетки для мощного прибора должен обладать антиэмиссионными свойствами в условиях напыления на его поверхность продуктов испарения с катода.

В работе приведены конструктивные особенности КСУ с двумя сетками (с теневой и управляющей), КСУ с одной управляющей сеткой, описаны основные элементы технологии их изготовления и даны характеристики КСУ.

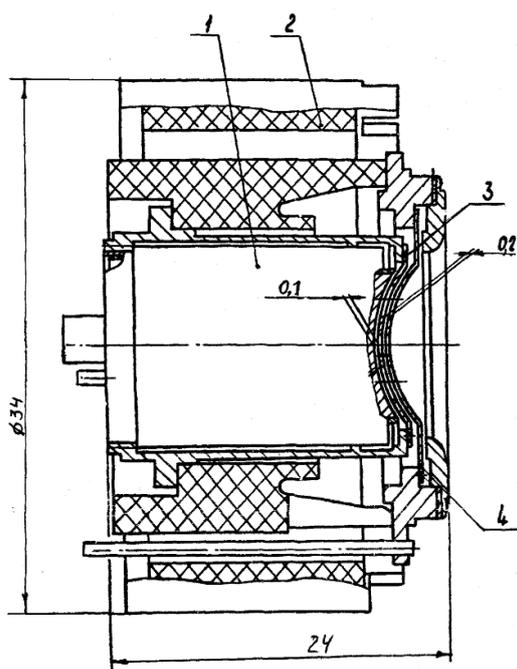


Рис. 3. Катодно-сеточный узел:

- 1 – катод;
- 2 – блок электродов;
- 3 – сетка теневая;
- 4 – сетка управляющая

### Характеристики катодно - сеточных узлов

После сборки КСУ его помещают в стеклянную колбу и проводят обработку на откачном посту. Обработка на откачном посту обеспечивает чистоту электродов и необходимую активность катода. Индикатором чистоты электродов является эмиссионная активность катода, точнее,

изменение эмиссионной активности катода при отборе рабочего тока на электрод. Чем грязнее электрод, тем сильнее будет отравляться катод и тем сильнее уменьшается эмиссия при отборе тока. Отбор тока на чистый электрод не вызывает отравления катода. Еще один часто применяемый метод определения активности катода основан на измерении тока катода при пониженной температуре. При этом понижение температуры осуществляется путем кратковременного, строго установленного для каждого типа катода выключения накала. Отсутствие напряжения накала в течение времени по-разному сказывается на катодах с разной эмиссионной активностью. Спад тока у катодов с низкой эмиссионной активностью будет больше, чем у катодов с высокой эмиссионной активностью. Проводят измерение температуры катода и снимают вольт-амперные характеристики катода, которые тоже соответствуют определенным нормам для различных катодов. После всех проведенных измерений КСУ поступает на сборку в прибор.

### **Замер недокальной характеристики**

Известен способ измерения эмиссии термокатодов по недокальной характеристике катодного тока, которая представляет собой зависимость катодного тока от температуры катода (или напряжения накала) при постоянном значении анодного напряжения. По недокальной характеристике определяют характеристическую температуру катода при заданной плотности катодного тока, являющуюся показателем эмиссионной активности катода. Чем активнее катод и чем больше его эмиссия, тем меньше характеристическая температура.

Если скважность импульсов будет больше 100, то при снятии недокальной импульсной характеристики отравление практически отсутствует и поэтому будет зафиксирована эмиссионная активность катода без отравления. Снятие недокальной характеристики в статическом режиме сопровождается отравлением катода при наличии отравляющих загрязнений на испытуемом электроде, что приводит к возрастанию характеристической

температуры катода в статическом режиме по сравнению с характеристической температурой в импульсном режиме.

### **Установка контроля эмиссионных параметров катодов ЭВП**

Данная установка позволяет проводить оценку эмиссионной активности катода с помощью замеров вольтамперной и недокальной характеристик.

Именно на этой установке в данной работе был проведён ряд экспериментов по замеру недокальных характеристик в различных режимах.



Рис. 4. Общий вид установки

### **Эксперимент с подбором оптимального режима оценки характеристического напряжения**

Эксперимент состоял в том, что с металлопористого пропитанного катода в составе КСУ с двумя сетками, которое было встроено в ЛБВ, снимались недокальные характеристики с различным токоотбором на сетку и плотностью тока с катода. Каждый замер имел различия в значении

характеристического напряжения т.е. характеристической температуре. Также каждый замер имел свою продолжительность.

Целью данного эксперимента являлась задача подобрать самый оптимальный вариант замера недокальной характеристики.

Данный эксперимент показал, что самым оптимальным замером является замер при 800 мА, так как он имеет самую короткую продолжительность и самый подробный график с большим количеством точек, а также катод при этом замере меньше всего подвергается травлению.

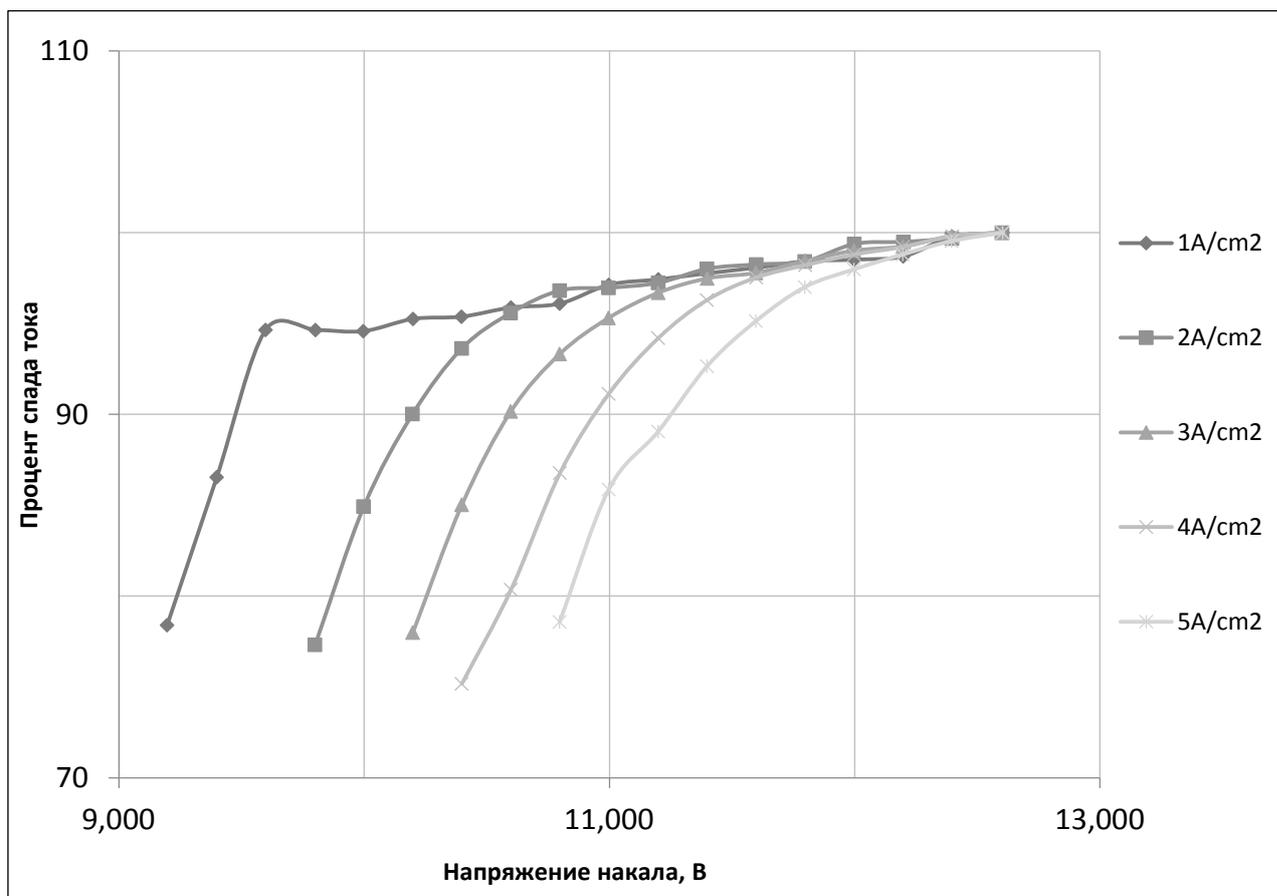


Рис. 5. Сравнение недокальных характеристик

### **Сравнение замеров недокальной характеристики в разных режима**

В данном эксперименте была поставлена задача отследить повторяемость замеров при различных условиях перехода к следующему шагу по напряжению накала.

Задавалось два различных условия:

а) переход к следующему шагу по напряжению происходит при

достижении определённой скорости стабилизации тока;

б) переход к следующему шагу по напряжению происходит после выдержки на предыдущем шаге определённое время.

Замер с условием перехода шагами по напряжению по скорости стабилизации тока является более оптимальным и точным, так как он обеспечивает полную оценку эмиссионной способности катода и имеет меньшую продолжительность, чем замер с выдержкой на каждой ступени.

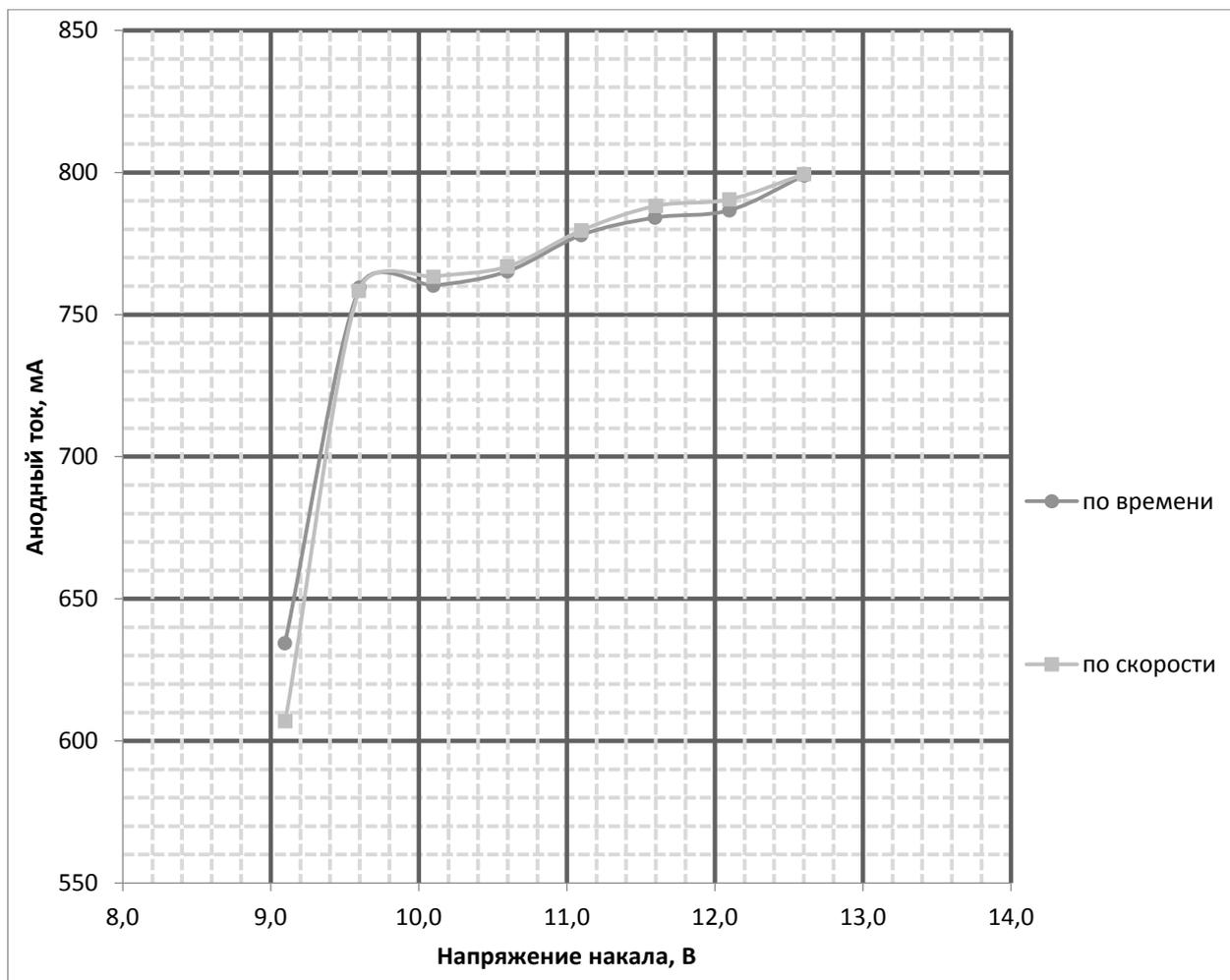


Рис. 6. Сравнение характеристик, замеренных в разных режимах

**Эксперимент с изменением значения скважности посредством изменения длительности импульса.**

Целью данного эксперимента являлась оценка зависимости изменения характеристического напряжения и соответствующей характеристической температуры от значения длительности подаваемого импульса.

Изменение характеристического напряжения и соответствующей характеристической температуры от значения длительности подаваемого импульса и скважность практически не зависит, полученные значения получились практически одинаковыми. Отклонения значения характеристического напряжения довольно незначительный и изменяются в третьем знаке после запятой.

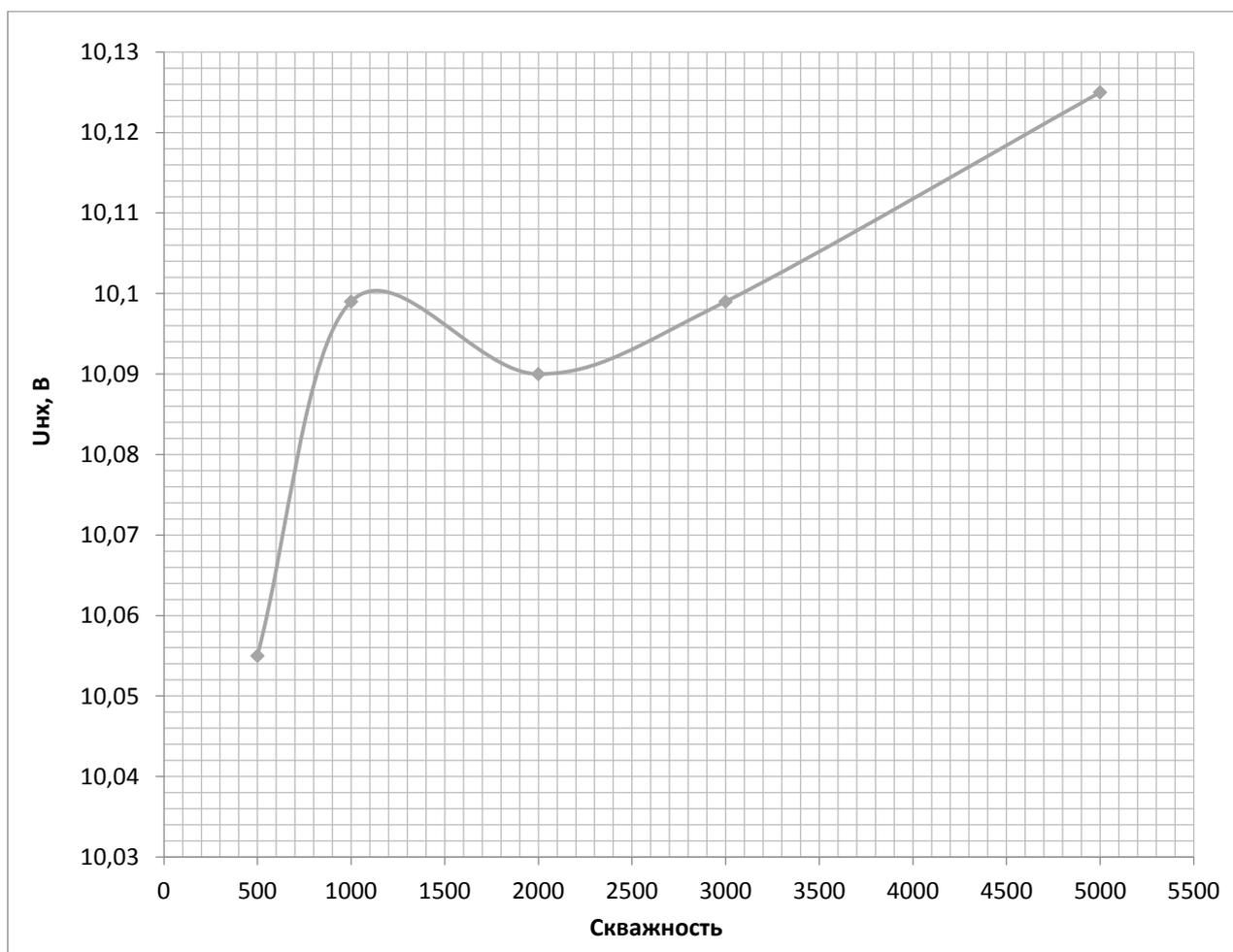


Рис. 7. Зависимость значения характеристического напряжения накала от величины скважности

### Эксперимент со средним током

Задачей данного эксперимента являлось определение зависимости значения характеристического напряжения от значения среднего импульсного тока.

Так как в предыдущих экспериментах в каждом замере имелось

различное значение среднего тока, возникло предположение, что именно из-за этого значения характеристического напряжения различны.

Из данного эксперимента можно сделать вывод о том, что значение характеристического напряжения не зависит от значения среднего тока, а зависит от значения амплитудного тока, то есть от токоотбора на сетку и плотности тока, отбираемой с катода.

По результатам эксперимента было произведено сравнение графиков недокальных характеристик, из которого видно, что самым подробным является график при амплитудном значении тока 800 мА.

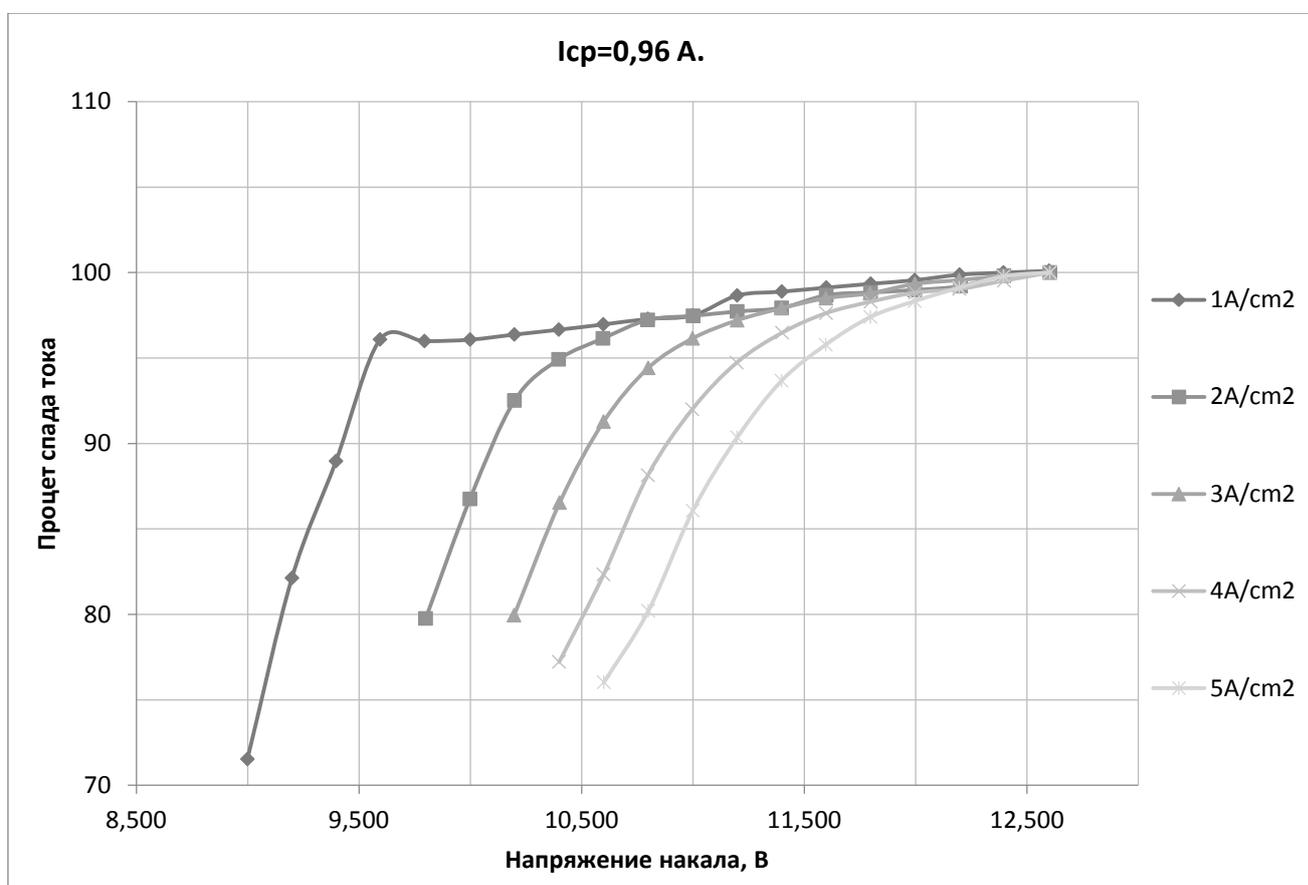


Рисунок 8. Сравнение графиков недокальных характеристик при отборе различной плотности тока с катода и постоянном среднем токе

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Имеется ряд устройств, в которых используются электронные пучки. Поэтому одной из важнейших задач является разработка источников электронов как специального, так и широкого применения. В связи с этим

предпринимались и предпринимаются в настоящее время значительные усилия по созданию эффективных эмиттеров, имеющих по возможности простую конструкцию, экономичных и компактных.

В данной работе рассмотрены принципы анализа эмиссионной способности катода в составе катодно - сеточного узла, особенности конструкции и характеристики катодно-сеточных узлов.

Но основной упор в работе сделан на экспериментальную часть по снятию и анализу недокальных характеристик.

Были проведены эксперименты, показывающие зависимость значения характеристического напряжения (характеристической температуры) от изменения параметров замера недокальной характеристики - зависимости тока катода от температуры  $I_a=f(T)$  или от напряжения накала  $I_a=f(U_n)$  при неизменных значениях напряжения на электродах прибора.

Проведённые эксперименты показали, что значение характеристического напряжения зависит в основном от отбираемой плотности тока с катода, от других параметров данное значение зависит не очень сильно. Чем меньше плотность токоотбора с катода, тем меньше значение характеристического напряжения и соответствующей ему характеристической температуры. При наименьшем токоотборе можно построить график по большему количеству экспериментальных точек. Чем больше точек, из которых состоит график недокальной характеристики, тем больше возможностей для оценки эмиссионной активности катода мы имеем.

Из ещё одного эксперимента был сделан вывод о том, что переход по напряжению лучше осуществлять при условии стабилизации тока на данной ступени, чем с выдержкой определённое время. При стабилизации тока мы получаем более точное значение напряжения, и замер занимает небольшую продолжительность.

Из эксперимента со средним током, отбираемым с катода, можно сделать заключение о том, что значение характеристического напряжения не зависит от этой величины, а соответственно не зависит от значения частоты,

длительности импульса и скважности.

Несмотря на то, что возможности термокатодов изучены достаточно полно, методы прогнозной оценки их эмиссионной способности и долговечности сохранения эксплуатационных параметров развиты не слишком хорошо. Следовательно, на данный момент развитие методик проведения экспериментов по оценке эмиссионной способности катодов и разработка и усовершенствование оборудования для проведения таких экспериментов является актуальной задачей.

### **Список использованных источников**

1. Sh. Yamamoto // Fundamental physics of vacuum electron sources.// Rep. Prog. Phys. 69 181–232 (2006)
2. А.Модинос “Авто-, термо- и вторично-эмиссионная спектроскопия”. Изд-во “Наука”, М., 1990.
3. Баранцева О.С., Козлов В.И., Осипов В.А.Способ изготовления металлопористого катода с двухслойной губкой. 1621771 РФ, 15.09.1990 г.
4. Вирин Я.Л., Дюбуа Б.Ч.Эмиссионные свойства металлопористых катодов на основе осмия.Известия академии наук СССР, серия физическая, 1979 г., Т. 43, 3, с.662
5. Гилмор А.С., мл. Лампы с бегущей волной. [ред.] Н.А. Бушуев. [перев.] А.Г. Кудряшов. Москва: Техносфера, 2013. 616 с.
6. Гурков Ю.В., Дружинин А.В., Куприянова Т.А., Некрасов В.И.Эмиссионномикроскопическое и рентгеновское исследование поверхности металлопористого катода. Известия академии наук СССР, серия Физическая. 1974 г., Т. 38, 11, с. 22-70.
7. Дюбуа Б.Ч., Королев А.Н.Современные эффективные катоды. Электронная техника, сер. 1, СВЧ-техника. 2011 г., 1(508), с. 5-24.
8. Дюбуа Б.Ч., Михальченков А.Г., Поливникова О.В., Темирязева М.П.Влияние структуры поверхности металлопористых катодов на их

- эмиссионные свойства. Электронная техника, сер. 1, СВЧ-техника. 2010 г., 1(504), с. 25-34.
9. Жукова Н.Б., Толстик Е.В., Козлов В.И. Влияние состава активного вещества и пористости губки на долговечность катодов. Электронная техника, сер. Материалы. 1983 г., 9(182), с. 21-23.
10. К.Херринг, М.Никольс "Термоэлектронная эмиссия". ИЛ, М., 1950.
11. Козлов В.И., Осипов В.А., Андреев А.А., Соболев В.В. Некоторые способы повышения долговечности металлопористых катодов с пленкой осмия. Электронная техника, сер.1, Электроника СВЧ. 1975 г., 12, с. 78-83.
12. Козлов В.И. Эмиссионные свойства и долговечность металлопористых катодов для СВЧ приборов. ЦНИИ "Электроника", 1983 г., Обзор по электронной технике, сер.1, Электроника СВЧ, 8(541), 54 с.
13. Кудинцева Г.А., Мельников А.И., Морозов А.В., Никонов Б.П. Термоэлектронные катоды. Москва, Ленинград: Энергия, 1966 г., 366 с.
14. Курочкина Г.Я. Разработка базовой технологии изготовления металлопористого катода с гарантированной долговечностью 150-200 тыс. часов для ЛБВ // Технический отчет №3612. Саратов: НИИ "Волна", 1994.
15. Л.Д.Ландау, Е.М.Лифшиц «Квантовая механика. Нерелятивистская теория» ГИФМЛ. 1963.
16. Л.Н.Добрецов, М.В.Гомоюнова "Эмиссионная электроника". Изд-во "Наука", М., 1966.
17. Н.А.Капцов «Электроника». Изд-во ГИТТЛ, М., 1956.
18. Некрасов В.И., Дружинин А.В. Эмиссионные свойства распределительных термокатодов с напыленными пленками металлов. Радиотехника и электроника. 1970 г., Т. 15, №2, с. 411-413.

- 19.Разработка методики прогнозирования эмиссионной долговечности:  
Отчет по НИР №ГРФ10585 / Набоков Ю.И. - Саратов: НИИ «Волна»,  
1981.- 83 с.
- 20.Резнев В.А., Гурков Ю.В., Киселев А.Б.Способ изготовления  
металлопористого катода. 2064204 РФ, 20.07.1996 г.