



Сибирское отделение Российской Академии наук  
ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ им.Г.И. Будкера

Ф.53

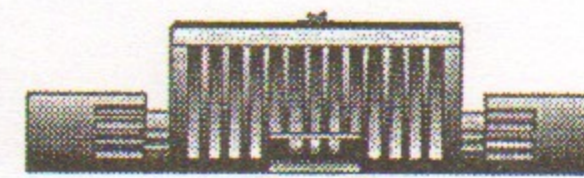
В.В. Филиппов, М.А. Щеглов

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ  
В ПЛОСКИХ ТЕРМОКАТОДАХ  
ГЕНЕРАТОРНЫХ ЛАМП БЕЗ АНОДА

ИЯФ 99-106

<http://www.inp.nsk.su/publications>

БИБЛИОТЕКА  
Института ядерной  
Физики СО АН СССР  
ИДБ. № 234



НОВОСИБИРСК

1999

V

**Распределение температуры  
в плоских термокатодах генераторных ламп без анода.**

**В.В. Филиппов, М.А. Щеглов**  
630090 Новосибирск, Институт ядерной физики, Россия

**Аннотация**

В работе на основе некоторых допущений и простых оценок приводятся численные расчеты распределения температуры по толщине оксидного слоя для генераторной лампы открытого типа, без анода. Показано, что с исчезновением анода существенно снижается температура эмитирующей поверхности и появляется сильный температурный градиент по глубине оксидного слоя. Аналогичные расчеты проведены для металлопористого катода. Обсуждаются результаты тепловых расчетов и их влияние на эмиссионные свойства катодов.

**Distribution of temperature in planar thermocathode  
of anodeless vacuum generator tubes**

**V.V. Filippov and M.A. Scheglov**

630090 Novosibirsk, Institute of Nuclear Physics, Russia

**Abstract**

A numerical calculations of temperature distribution across cathode oxide layer generator lamp of opened type (without anode) is described. Some assumptions and simple estimates are used. It is shown that a temperature of emitting surface decreases sufficiently in comparison to a case of presence of anode electrode. A large temperature gradient across the oxide layer is appeared. Similar calculations are made for a case of a lamp with metal-porosity cathode. Results of calculation of heat effects and the influence to emission characteristics of cathode are discussed.

## 1. Введение

В генераторной лампе с оксидным термокатодом распределение тепла в промежутке подогреватель – керн – оксидный слой без учета тепловыделения в сетке(ах), представляется практически однородным, поскольку медный анод представляет собой «тепловое зеркало». Для рабочих температур оксидного термокатада согласно закону Вина можно сделать оценку длины волны, соответствующую максимальному значению лучеиспускательной способности керна. Коэффициент отражения меди для получаемой длины волны ( $\lambda \approx 3 \mu\text{м}$ ) не хуже 97%. В этом случае оксидный слой катода, хотя и обладает низкой теплопроводностью, но находясь в среде «реактивного» тепла между подогревателем и анодом оказывается в «тепличных условиях» без температурного градиента и, соответственно, тепловых напряжений. Картина существенно меняется при отсутствии анода. Появляется нескомпенсированный тепловой поток от керна и оксидного слоя, что конечно же, приведет к существенному снижению температуры и эмиссионной способности катода  $\eta = \Delta j / \Delta T \approx 5 \cdot 10^{-2} \text{ А/см}^2 \cdot \text{град}$  (здесь и далее температура в °К). Температурное распределение поперек оксидного слоя из-за его низкой теплопроводности станет неоднородным, что может привести к большим механическим напряжениям оксидного слоя и его отслаиванию от керна.

Для оценки температуры катода лампы условно разделим генераторную лампу на левую часть, в которой находится подогреватель, катод и сетки (или сетка) и правую часть, где расположен лишь анод, выполненный из меди. Для получения оценки дифференциальное уравнение теплопроводности Фурье:

$$dQ = \lambda \cdot dS \cdot dt \cdot dT/dx$$

перепишем в макроскопическом виде для мощности:

$$P = \lambda_0 \cdot S \cdot (T_k - T_0)/d,$$

где  $T_k$  – температура керна (и оксидного слоя),  $T_0$  – температура элементов конструкции, окружающих лампу (в расчетах примем ее значение в 293°К),  $\lambda_0$  и  $d$  – некоторые средние величины теплопроводности и толщины,

представляющие металлокерамическую композицию конструкции лампы. Под величиной  $S$  понимается вся левая излучающая поверхность лампы, поскольку температура анода (правая часть лампы) низка в сравнении с температурой керна. Величину  $\lambda_0 - S/d = \bar{a}$  будем считать независимой от  $T_k$  в интересующем нас интервале температур. Тогда уравнение баланса мощности от нагревателя до поверхности лампы примет вид:

$$P = \bar{a} \cdot (T_k - T_0).$$

Величину  $\bar{a}$  определим из условия штатного теплового баланса для лампы при номинальном накале (например, для генераторной лампы типа ГС-15 необходимая мощность накала  $P \approx 12$  Вт),  $T_k$  — температуру керна примем равной  $1050^\circ\text{K}$  из условия достаточной эмиссии ( $j \approx 5 \text{ A/cm}^2$ ). Полученным значением  $\bar{a}$  воспользуемся при оценке температуры керна  $T_k$  для случая, когда в лампе убран анод и электронный пучок инжектируется в ускоряющую систему с достаточным темпом ускорения, в которой не может образоваться виртуальный катод и таким образом отсутствует дополнительное тепло-выделение в сетке(ах).

## 2. Оксидный катод

В случае использования лампы без анода в уравнении баланса мощности появляется невозвратное тепловое излучение керна со степенью черноты материала керна  $\sigma \cdot s \cdot \epsilon_k \cdot (T_k^4 - T_0^4)$ , которое при высоких температурах керна согласно [1], практически, без потерь проходит оксидный слой и излучается. Другой канал потерь тепла осуществляется через теплопроводность оксидного слоя  $\lambda \cdot (T_k - T_{oc}) \cdot s/\delta$ . Поток тепла через теплопроводность, в конечном счете, также переходит в излучение со степенью черноты оксидного слоя. Баланс мощности при этом рассмотрении примет вид:

$$P = \bar{a} \cdot (T_k - T_0) + \sigma \cdot s \cdot \epsilon_k \cdot (T_k^4 - T_0^4) + \lambda \cdot (T_k - T_{oc}) \cdot s/\delta \quad (1)$$

одновременно:

$$\lambda \cdot (T_k - T_{oc}) \cdot s/\delta = \sigma \cdot s \cdot \epsilon_{oc} \cdot (T_{oc}^4 - T_0^4), \quad (2)$$

где  $\sigma$  — постоянная Стефана-Больцмана,  $s$  — эквивалентная площадь излучения керна в сторону анода,  $\epsilon_k$  — степень черноты никелевого керна с учетом его пористости примем равной 0.1,  $\lambda$  и  $\delta$  — теплопроводность и толщина оксидного слоя,  $T_{oc}$  — температура поверхности оксидного слоя,  $\epsilon_{oc}$  — степень черноты оксидного слоя можно принять  $\approx 0.7$ , так как для многих окислов металлов величина  $\epsilon$  лежит в пределах 0.6-0.8. Поскольку члены  $T_0^4$

пренебрежимо малы в сравнении с  $T_k^4$  или  $T_{oc}^4$ , то уравнение (2) можно переписать в более простом виде:

$$\Delta T = (T_k - T_{oc}) = \sigma \cdot T_{oc}^4 \cdot \delta \cdot \epsilon_{oc} / \lambda. \quad (3)$$

Совместное решение уравнений (1) и (3) с указанными допущениями будем искать в виде  $P = f(T_{oc})$

$$P = \bar{a} \cdot \{ [\sigma \cdot \delta \cdot \epsilon_{oc} \cdot T_{oc}^4 + \lambda(T_{oc} - T_0)] / \lambda \} + \sigma \cdot s \cdot \epsilon_k \cdot \{ [\sigma \cdot \delta \cdot \epsilon_{oc} \cdot T_{oc}^4 + \lambda \cdot T_{oc}] / \lambda \}^4 + s \cdot \sigma \cdot \epsilon_{oc} \cdot T_{oc}^4. \quad (4)$$

Результаты численных вычислений  $T_k$  и  $T_{oc}$  для оксидного катода приведены на рис.1. Из сравнения кривых поведения температур керна и поверхности оксидного слоя видно, что в лампе без анода температура керна почти на  $200^\circ$  ниже, чем в конструкции лампы с анодом при номинальном режиме накала.

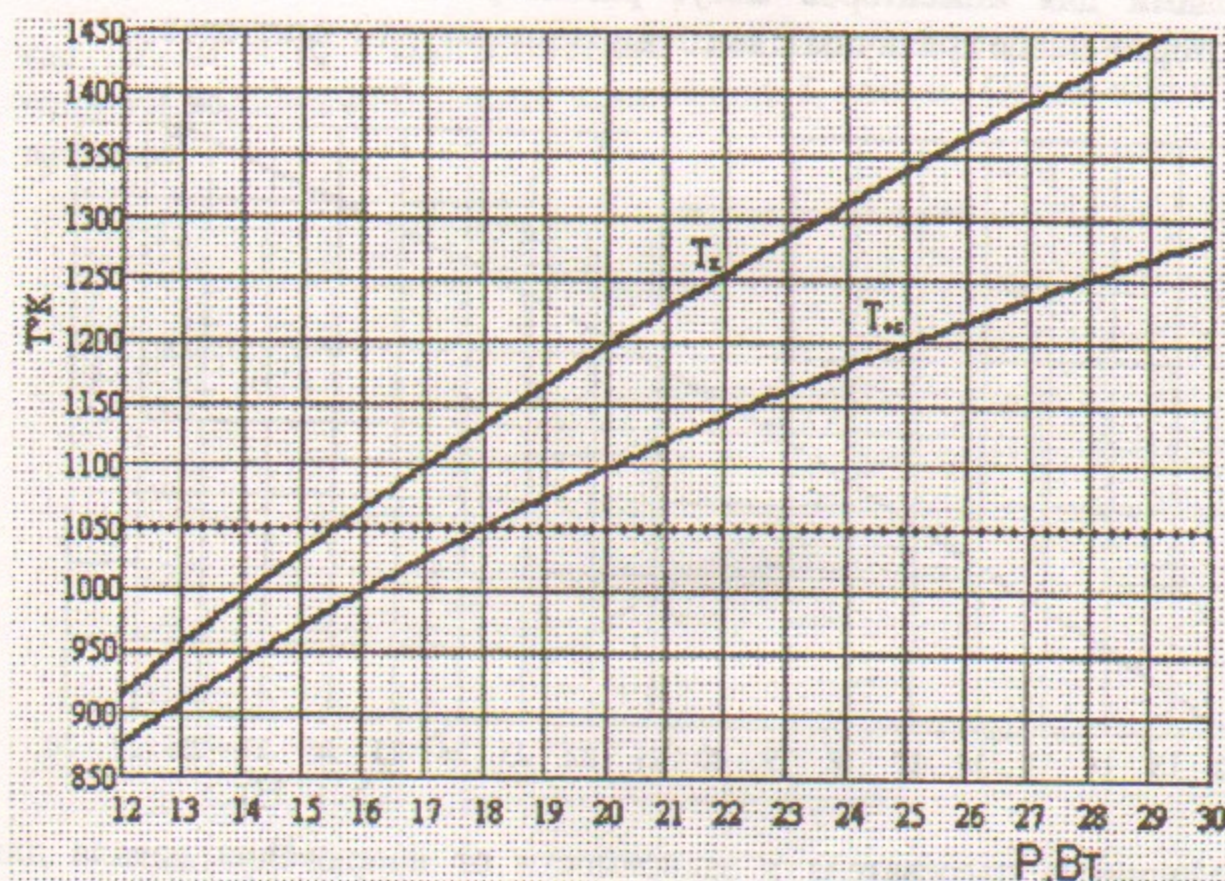


Рис. 1. Поведение температуры оксидного слоя  $T_{oc}$  (нижняя кривая) и температуры керна  $T_k$  в зависимости от мощности, подводимой к нагревателю. Точками указана температура  $T_k = T_{oc}$  для лампы с анодом и накалом в номинальном режиме.

Из-за низкой теплопроводности оксидного слоя (в расчете  $\lambda=10^{-4}$  Вт/см·град [2]) разность температур ядра и оксидного слоя при номинальном накале около  $30^\circ$  и достигает порядка  $100^\circ$  при восстановлении температуры эмиттирующей поверхности увеличением мощности накала. Из самых общих соображений кажется, что такой градиент температуры на оксидном слое очень велик. К сожалению, отсутствие надежных данных по коэффициентам линейного расширения оксидного слоя и адгезии к ядру не позволяют произвести оценку на отслоение и разрушение оксидного слоя.

Следует заметить, что при достижении температур необходимых для эффективной эмиссии термокатода в лампе без анода повышением мощности накала существенно снижается его долговечность. Из справочных данных — долговечность не превышает 1000 часов при температуре  $1100^\circ\text{K}$  и всего лишь 30 часов при  $1200^\circ\text{K}$ . В этих условиях применение оксидных термокатодов становится проблематичным. Более подходящими термокатадами для инжекторов могут рассматриваться металлопористые катоды, которые менее критичны к высоким температурам эмиттеров.

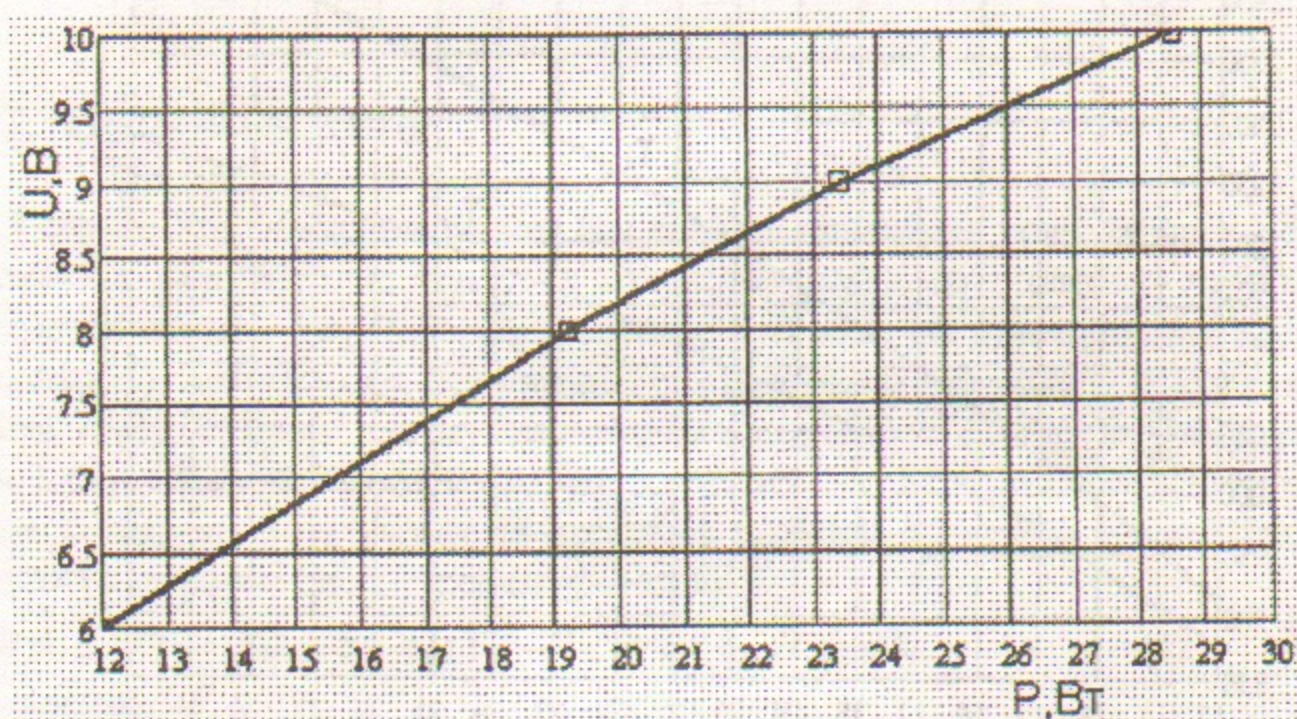


Рис. 2. Мощность нагревателя в зависимости от напряжения накала для тетрода ГС-15.

### 3. Металлопористый катод

Для оценки температуры металлопористого вольфрамо-бариевого термокатода (L-катода) в конфигурации без анода воспользуемся уравнением (3) с заменой температуры оксидного слоя  $T_{oc}$  на температуру эмиттера  $T$ , и уравнением (1) без излучательного члена ядра.

$$\Delta T = (T_k - T_s) = \sigma \cdot T_s^4 \cdot \delta' \cdot \epsilon_s / \lambda' \quad (5)$$

Уравнение баланса мощности для L-катода:

$$P = \bar{a} \cdot (T_k - T_0) + \lambda' \cdot (T_k - T_s) \cdot s / \delta' \quad (6)$$

Уравнения (5) и (6) приведем к виду, удобному для численного счета:

$$P = a \cdot \{ [\sigma \cdot \delta' \cdot \epsilon_s \cdot T_s^4 + \lambda' \cdot (T_s - T_0)] / \lambda' \} + s \cdot \sigma \cdot \epsilon_s \cdot T_s^4 \quad (7)$$

где  $\delta'$ ,  $\lambda'$  и  $\epsilon_s$  — соответственно, толщина, теплопроводность и степень черноты вольфрамо-бариевой композиции L-катода. Остальные обозначения прежние.

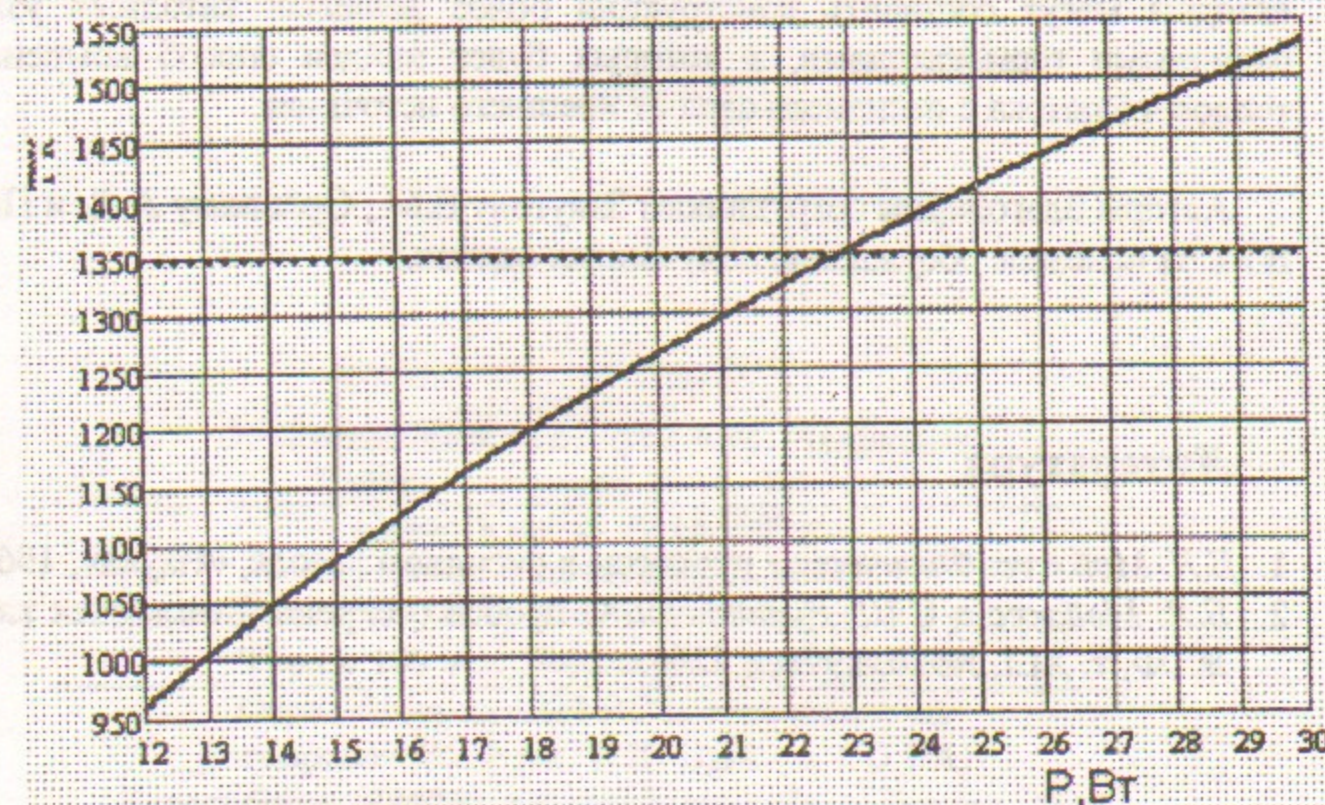


Рис. 3. Поведение температуры ядра и эмитирующей поверхности L-катода без анода. Расчет проведен для  $\delta' = 0.15$  см,  $\lambda' = 1.1$  Вт/см·град и  $\epsilon_s = 0.35$ . Точками отмечена температура катода в лампе с анодом.

На рис.3 приведены результаты численного счета температуры зерна и эмитирующей поверхности для генераторной лампы без анода. Там же приведена температура (точки) термокатода генераторной лампы в штатном исполнении с анодом.

Из сравнения поведения температур зерна и эмитирующей поверхности видно, что температуры  $T_k$  и  $T_s$ , практически одинаковы. Таким образом, в генераторной лампе с металлопористым катодом из-за высокой теплопроводности нет градиента температуры вне зависимости от того с анодом она или без анода. Общее снижение температуры катода, в принципе, возможно исправить увеличением мощности подогревателя, если это разрешено его конструкцией. Согласно оценке это увеличение около 2.

Таким образом, генераторные лампы с металлопористыми катодами могут снять часть проблем, присущих лампам с оксидными катодами, но проигрывают им в тепловой нагрузке на сетки и в крутизне анодно-сеточной характеристики. Второе обстоятельство совместно с трудностью реализации эффективного катодно-сеточного модулятора, скорее всего, не позволит получать электронные сгустки с достаточным зарядом наносекундной длительности и высокой частотой повторения. Серьезную конкуренцию L-катодам могут составить конструкции более дешевых катодных узлов с оксидными термокатадами, в которых будет найден способ компенсации теплового потока с оксидного слоя от внешнего источника.

Авторы благодарны сотрудникам Закутову Е.М., Орешкову А.Д. и Попику В.М. за полезное обсуждение полученных оценок.

## Литература

1. Б.Я. Мойжес. Физические процессы в оксидном катоде, «Наука», 1968.
2. Б.Я. Мойжес и С.Ш. Рутштейн. О пробое (искрении) оксидных катодов, ЖТФ, т. XLI, № 10, 1971, с.2203.

*В.В. Филиппов, М.А. Щеглов*

## Распределение температуры в плоских термокатадах генераторных ламп без анода

*V.V. Filippov and M.A. Scheglov*

## Distribution of temperature in planar thermocathode of anodeless vacuum generator tubes

ИЯФ 99-106

Ответственный за выпуск А.М. Кудрявцев

Работа поступила 16.12. 1999 г.

Сдано в набор 20.12.1999 г.

Подписано в печать 20.12.1999 г.

Формат бумаги 60×90 1/16 Объем 0.6 печ.л., 0.4 уч.-изд.л.

Тираж 100 экз. Бесплатно. Заказ № 106

Обработано на IBM PC и отпечатано на  
ротапринте ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН

Новосибирск, 630090, пр. академика Лаврентьева, 11.