

УДК 621.382

СИНГУЛЯРНОСТЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ НИКЕЛЕВОГО КОМПОЗИТА ПРИ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОМ РАВНОВЕСИИ

¹Матвеев А.С., ²Гадалов В.Н., ²Корневский Н.А., ²Скрипкина Ю.В.,
³Самойлов В.В., ²Розина Т.Н., ²Шестакина С.В.

¹ФГБОУ ВПО «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана»
(Калужский филиал), Калуга, e-mail: 9190389875@mail.ru;

²ФГБОУ ВПО «Юго-Западный государственный университет»,
Курск, e-mail: gadalov-vn@yandex.ru;

³ОАО «НПП «Геофизика-Космос», Москва, e-mail: samoilovvv@inbox.ru

В работе рассмотрены технологические аспекты применения никелевой ленты, на которую наносились покрытия, для использования в качестве анодов приемно-усилительных ламп (ПУЛ). Предложена методика расчета температуры анодов, основанная на соотношении световых потоков в видимой и инфракрасной части спектра излучения. Световой поток от анода воспринимался двумя фотоприемниками, настроенными на узкий диапазон длин волн в середине видимой и инфракрасной частях спектра излучения. Установлено, что в узких диапазонах длин волн, используемых в эксперименте, наблюдается сингулярность распространения энергии анода, а зависимостью спектральных коэффициентов излучения от температуры можно пренебречь. Результаты расчета температуры излучающего тела по представленной методике показывают хорошее совпадение экспериментальных данных с теоретическими вычислениями предельно-допустимой температуры на аноде.

Ключевые слова: приемно-усилительные лампы, никелевый композит, предельно допустимая температура анода

ENERGY PROPAGATION SINGULARITY OF NICKEL COMPOSITE AT THERMODYNAMIC EQUILIBRIUM

¹Matveev A.S., ²Gadalov V.N., ²Korenevskiy N.A., ²Skripkina Y.V.,
³Samoylov V.V., ²Rozina T.N., ²Shestavina S.V.

¹Bauman Moscow State Technical University Kaluga Branch, Kaluga, e-mail: 9190389875@mail.ru;

²South-West State University, Kursk, e-mail: gadalov-vn@yandex.ru;

³JSC «Geofizika-Cosmos» Research & Production Enterprise, Moscow, e-mail: samoilovvv@inbox.ru

In this work we investigate technological aspects for practical application of a nickel tape with different coatings, used as anodes of receiver-amplifier tubes. It is suggested a finding anode temperature methodology, based on a relation between light fluxes in visible and infrared parts of emission spectrum. The light flux from the anode was perceived by two photoelectric detectors tuned for a narrow wavelength ranges in the middle of visible and infra-red parts of emission spectrum. It is established, that in a narrow wavelength ranges used in experiment, it is observed energy propagation singularity of the anode, and the dependence of spectral emission factor from temperature can be neglected. Results of finding temperature of an emitting body by the presented method show well concurrence of experimental data to theoretical calculations of maximum permissible temperature on the anode.

Keywords: receiver-amplifier tubes, nickel composite, maximum permissible temperature of anodes.

Аноды приемно-усилительных ламп (ПУЛ) являются одной из наиболее дорогих составных частей ламп. Поверхность анодов рассчитывается на некоторое допустимое рассеяние, зависящее от материала анода и его поверхности. Увеличение срока службы анодов является важной научной и практической задачей. При выборе материалов для анодов ПУЛ необходимо учитывать, что они работают в условиях сильного нагрева, при этом они никогда не нагреваются равномерно и, со временем, разрушаются в месте наибольшего нагрева [1]. Перспективными материалами для данной области применения являются многослойные никелевые композиты, выпускаемые, в частности, в виде ленты [2]. Ключевое значение для подбора материала имеет методика расчета предельной температуры анодов.

Целью работы является разработка методики расчета температуры излучающего тела (анода), основанная на соотношении световых потоков в видимой и инфракрасной частях спектра излучения.

Материалы и методика эксперимента

Все материалы при температуре выше абсолютного нуля имеют электромагнитное излучение за счет теплового движения атомов. Оно имеет непрерывный спектр, определяемый как функция температуры и эмиссии излучающего материала. Для определения предельно допустимых значений эксплуатации технических параметров работы ПУЛов проводилось измерение температуры источника излучения – анодов. Ввиду того, что аноды ПУЛов принимают излучаемые катодом электроны, никелевые заготовки для изготовления анодов предварительно чернят для улучшения охлаждения лучеиспусканием [1, 2]. Нанесенные на никелевую ленту покрытия имели разные коэффициенты теплового излучения.

Источником теплового излучения является никелевый анод приемно-усилительной лампы. Излучение от источника достигает двух фотоприемников, которые находятся внутри блока. Фотоприемники воспринимают излучение в узком диапазоне длин волн, причем середины этих диапазонов лежат в различных частях спектра излучения: λ_1 – в видимой области, λ_2 – в инфракрасной.

Результаты исследования и их обсуждение

Испускательная способность абсолютного черного тела может быть определена для различных длин волн и температур по формуле Планка.

$$r_T^*, \lambda = \frac{2\pi h C^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda \cdot kT}} - 1}, \quad (1)$$

где C – скорость света в вакууме; $\frac{hc}{\lambda} = h \cdot \nu = \varepsilon$ – энергия фотона; $\frac{hc}{\lambda \cdot kT} = \frac{\varepsilon}{kT}$ – характерное отношение энергии фотона и теплового движения частиц тела.

Следовательно, для узкого диапазона длин волн от λ до $\lambda + d\lambda$, в котором испускательную способность $r^*(\lambda, T)$ можно считать постоянной, энергетическая светимость абсолютно черного тела равна:

$$dR^* = r^*(\lambda, T) d\lambda. \quad (2)$$

Если тело не является абсолютно черным, то его испускательная способность выражается формулой:

$$r(\lambda, T) = A(\lambda, T) r^*(\lambda, T), \quad (3)$$

где $A(\lambda, T) < 1$ – спектральный коэффициент излучения тела.

Следовательно, энергетическую светимость тела для диапазона длин волн от λ до $\lambda + d\lambda$ найдем по формуле:

$$dR = A(\lambda, T) r^*(\lambda, T) d\lambda. \quad (4)$$

Рассмотрим излучение тела с температурой T для двух различных длин волн λ_1 и λ_2 при различных значениях диапазонов $d\lambda_1$ и $d\lambda_2$ соответственно:

$$\text{– для } \lambda_1 \text{ и } d\lambda_1 \quad dR_1 = A_1 r_1^* d\lambda_1, \quad (5)$$

$$\text{– для } \lambda_2 \text{ и } d\lambda_2 \quad dR_2 = A_2 r_2^* d\lambda_2. \quad (6)$$

Здесь A_1 и A_2 – спектральные коэффициенты излучения тела при длинах волн λ_1 и λ_2 соответственно.

Излучение, дошедшее до приемника (фотодиод, фотосопротивление), составляет некоторую часть от общего излучения источника. Оно определяется размерами приемника, расстоянием от источника до приемника и наличием на пути излучения поглощающих сред, т.е. определяется такими параметрами измерительной системы, которые не изменяются в процессе опыта.

Для двух различных приемников, воспринимающих поток падающего на них излучения в различных узких диапазонах длин волн, величины этих потоков будут равны:

$$P_1 = K_1 A_1 r_1^* d\lambda_1, \quad P_2 = K_2 A_2 r_2^* d\lambda_2, \quad (7)$$

где K_1 и K_2 – коэффициенты использования потока излучения первым и вторым приемником соответственно, которые не изменяются в процессе опыта.

Следовательно, отношение потоков излучения для двух приемников:

$$\frac{P_1}{P_2} = Z \left(\frac{r_1^* d\lambda_1}{r_2^* d\lambda_2} \right), \quad (8)$$

где величину $Z = (K_1 A_1 / K_2 A_2)$ можно считать постоянной при условии, что зависимостью отношения спектральных коэффициентов излучения от температуры можно пренебречь для выбранных λ_1 и λ_2 .

Величины r_1^* и r_2^* определяются с помощью формулы Планка (1).

Следовательно,

$$\frac{P_1}{P_2} = Z \cdot \frac{C_1 \lambda_2^5 (\exp(C_2 / \lambda_2 T) - 1) d\lambda_1}{C_1 \lambda_1^5 (\exp(C_2 / \lambda_1 T) - 1) d\lambda_2}, \quad (9)$$

где $C_1 = 2 \pi h c^2 = 3,742 \cdot 10^{-16} \text{ Вт} \cdot \text{м}^2$,

$$C_2 = h c / k = 1,439 \cdot 10^{-2} \text{ м} \cdot \text{К}.$$

Оценим величину $\exp(C_2 / \lambda T)$ и сравним ее с единицей.

Возьмем температуру, близкую температуре стеклянного баллона $T = 400 \text{ К}$, $\lambda = 0,9 \text{ мкм}$ согласно необходимым предельно-допустимым параметрам работы ПУЛов.

Тогда,

$\exp(C_2 / \lambda T) = \exp(1,439^{-2} / 0,9 \cdot 10^{-6} \cdot 400) \approx 40$, причем понижение температуры и уменьшение длины волны изменит эту оценку в большую сторону. Это означает, что для используемых в опытах температур и длин волн единицей в формуле Планка можно пренебречь (выполняется приближенная формула Вина).

$$\frac{P_1}{P_2} = Z \cdot \frac{\lambda_2^5 d\lambda_1}{\lambda_1^5 d\lambda_2} \cdot \left[\frac{C_2}{T} \left(\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1} \right) \right]. \quad (10)$$

Прологарифмируем это выражение и найдем из полученной формулы температуру T .

$$T = \frac{C_2 \left(\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1} \right)}{\ln \frac{P_1}{P_2} - \ln Z - 5 \cdot \ln \frac{\lambda_2}{\lambda_1} - \ln \frac{d\lambda_1}{d\lambda_2}}. \quad (11)$$

Учтем, что в процессе сохраняются значения $\lambda_1, \lambda_2, d\lambda_1, d\lambda_2$.

Поэтому объединим члены, содержащие постоянные величины, в две новые константы L и Z_0 :

$$L = C_2 \left(\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1} \right); \quad (12)$$

$$Z_0 = \ln Z + 5 \cdot \ln \frac{\lambda_2}{\lambda_1} + \ln \frac{d\lambda_1}{d\lambda_2}. \quad (13)$$

Тогда формула для определения температуры примет вид:

$$T = \frac{L}{\ln \frac{P_1}{P_2} - Z_0}. \quad (14)$$

Из формулы (14) видно, что, зная из тарировочных опытов величину Z_0 и рассчитав значения L , можно, измерив отношение P_1/P_2 , определить соответствующую температуру излучающего тела.

Заключение

Полученную при тарировочных опытах величину Z_0 брали равной $Z_0 = 1,784$. Поставив все полученные данные в формулу (14), получили $T = 1200$ К, что соответствует данным предельно-допустимой температуры на аноде [4].

Следует отметить, что согласно исследованиям [5], для выбранных длин волн фотоприемников отношение спектральных коэффициентов излучения никеля можно считать постоянным в пределах измеряемого диапазона температур, что является важным условием применимости рабочей формулы (14).

Работа выполнена в рамках реализации Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы.

Список литературы

1. Царев Б. М. Расчет и конструирование электронных ламп. – М., 1967. – С. 311.
2. Kaulh W.H. Handbook of Materials and Techniques for Vacuum Devices / American Institute of Physics, 1995. 620 p.
3. Матвеев А.С. Технические аспекты применения композита для изготовления анодов отпаянных вакуумных приборов // Научное издание. – 2009. – № 7. – С. 15–18.
4. Пошехонов П.В., Соколовский Э.И. Тепловой расчет электронных приборов. – М.: Высшая школа, 1977. – 236 с.
5. Блох А.Г., Журавлев Ю.А., Рыжков Н.Л. Теплообмен излучением: Справочник. – М.: Энергоиздат, 1991. – 200 с.

References

1. Tsarev B.M. *Raschet i konstruirovaniye elektronnykh lamp* [Calculation and Construction of Electronic Tubes]. Moscow, 1967, 311 p.
2. Kaulh W.H. Handbook of Materials and Techniques for Vacuum Devices. American Institute of Physics, 1995. 620 p.
3. Matveev A.S. *Naukoyomkie tekhnologii – High Technologies*, 2009, no.7, pp. 15–18.
4. Poshehonov P.V., Sokolovskiy E.I. *Teplovoy raschet elektronnykh priborov* [Thermal calculation of electronic devices]. Moscow, Vysshaya Shkola publ., 1977, 236 p.
5. Blokh A.G., Zhuravlev Y.A., Ryzhkov N.L. *Teploobmen izlucheniem: Spravochnik* [Heat exchange by emission: Handbook]. Moscow, Energoizdat publ., 1991, 200 p.

Рецензенты:

Серебровский В.И., д.т.н., профессор, проректор по УР ФГБОУ ВПО «Курская государственная сельскохозяйственная академия», г. Курск;

Неручев Ю.А., д.ф.-м.н., профессор кафедры общей физики ФГБОУ ВПО «Курский государственный технический университет», г. Курск.

Работа поступила в редакцию 05.06.2012.