

Лабораторная работа 1

Исследование электрических и светотехнических характеристик ламп накаливания

Цель работы: изучение устройства, принципа действия ламп накаливания и исследование их электрических и светотехнических характеристик.

Основные теоретические сведения

Лампы накаливания относятся к тепловым источникам оптического излучения. Принцип действия осветительных и инфракрасных ламп накаливания основан на преобразовании тепловой энергии в энергию оптического излучения. При подаче напряжения на тело накала в нем создается электрическое поле, которое увеличивает скорость движения свободных электронов. Разогнавшиеся электроны, встречаясь с атомами кристаллической решетки, отдают им часть своей энергии. В результате ударов возрастает температура — мера средней кинетической энергии атомов и молекул. В результате поглощения энергии атомы и молекулы переходят в возбужденное состояние, при котором валентные электроны переходят на более высокие энергетические уровни.

При возвращении в исходное состояние атом излучает излишек энергии в виде кванта, при этом чем больше возбуждение атома, тем больше энергия излучения и короче длина волны.

Энергетическая плотность излучения тела накала, Вт/м², определяется законом Стефана-Больцмана:

$$M = \varepsilon \delta T^4,$$

где ε — интегральный коэффициент степени черноты вольфрама;

δ — постоянная Стефана-Больцмана, Вт/(м²·К);

T — температура тела накала, К.

Распределение плотности излучения по длинам волн, Вт/м², описывается законом Планка:

$$m(\lambda, T) = \frac{C_1 \lambda^{-5}}{e^{\frac{C_2}{\lambda T}} - 1},$$

где $C_1 = 3,472 \cdot 10^{-16}$, Вт/м²;

$C_2 = 1,439 \cdot 10^{-2}$, м·К;

K — постоянные коэффициенты.

Чем выше температура, тем меньше длина волны, мкм, при которой наблюдается максимум спектральной плотности излучения (закон смещения Вина):

$$\lambda_{\max} = \frac{2896}{T}, \quad (1.1)$$

где T — температура тела накала, К.

Интегральный поток излучения можно определить по закону Стефана-Больцмана с учетом площади тела излучения, Вт:

$$\Phi = \varepsilon \delta T^4 s, \quad (1.2)$$

где s — условная площадь излучения тела накала, м^2 .

Активный поток — поток, находящийся в зоне чувствительности глаза человека, ограниченного длинами волн $\lambda_1 = 380$ нм и $\lambda_2 = 760$ нм, рассчитывают, пользуясь табулированными значениями функции Планка [1]. С их учетом активный поток вычисляется как разность потоков в диапазоне длин волн от 0 до λ_1 и от 0 до λ_2 :

$$\Phi_a = \frac{\Phi}{\varepsilon} \varepsilon_{cp} [y(\lambda'_2) - y(\lambda'_1)], \quad (1.3)$$

где ε_{cp} — средний коэффициент степени черноты в видимой зоне;

$y(\lambda'_2)$ — доля потока излучения, заключенная в зоне с относительными длинами волн от 0 до λ_2 :

$$\lambda'_2 = \frac{\lambda_2}{\lambda_{max}}$$

где $y(\lambda'_1)$ — доля потока излучения, заключенная в зоне с относительными длинами волн от 0 до λ_1 :

$$\lambda'_1 = \frac{\lambda_1}{\lambda_{max}}$$

Значения λ , ε , $y(\lambda')$ находят соответственно по таблицам 1.1 и 1.2.

Таблица 1.1. Степень черноты вольфрама

T	3200	3000	2900	2800	2700	2600	2400	2200	2000
ε	0,356	0,347	0,341	0,334	0,328	0,320	0,304	0,285	0,264
ε_{cp}	0,429	0,433	0,433	0,434	0,436	0,437	0,440	0,443	0,446

Таблица 1.2. Значение $y(\lambda')$

λ'	0,34	0,36	0,38	0,40	0,42	0,44	0,46
$y(\lambda') \cdot 10^{-4}$	1,28	5,17	9,21	15,4	24,3	36,6	53,0
λ'	0,72	0,74	0,76	0,78	0,80	0,82	0,84
$y(\lambda') \cdot 10^{-2}$	8,07	9,08	10,14	11,23	12,37	13,55	14,75

У вакуумных ламп воздух откачан до давления $1,33 \cdot 10^{-3}$ Па и рабочая температура тела накала 2300-2600 К. Такие лампы выпускаются мощностью до 25 Вт. У более мощных вакуумных ламп возрастает распыление материала тела накала. Скорость распыления тела накала снижается при увеличении давления внутри лампы.

У газонаполненных ламп колбу после откачки воздуха наполняют смесью аргона или криптона (86%) с азотом (14%) до давления, близкого к атмосферному. Это позволяет повысить температуру тела накала до 2900-3000 К и увеличить по сравнению с вакуумными лампами светоотдачу в полтора раза. В зависимости от типа наполнителя, мощности и особенности конструкции спирали, лампы подразделяют на три группы: газонаполненные моноспиральные Г (150-1500 Вт), газонаполненные биспиральные Б (40-200 Вт) и газонаполненные биспиральные с криптоновым наполнителем БК (40-150 Вт).

Чтобы увеличить светоотдачу и КПД ламп накаливания, необходимо увеличить температуру тела накала. При этом происходит смещение максимума спектральной плотности излучения из длинноволновой части инфракрасного излучения в коротковолновую, и тем самым возрастает доля потока излучения, находящаяся в видимой зоне. Вместе с этим возрастает и распыление тела накала. Снижение распыления достигается введением йода в колбу лампы, а колбу лампы выполняют из кварцевого стекла, выдерживающего высокие температуры без потери прозрачности.

Галогенный цикл включает испарение вольфрама из спирали, движение его к стенке колбы и соединение с йодом при температуре 600-1450 К, возвращение йодида вольфрама к спирали, разложение его на исходные элементы при температуре около спирали более 1500 К и осаждение вольфрама на спираль.

Программа работы

1. Изучить конструкцию лампы.
2. Освоить методику измерения и установить зависимость тока, мощности, сопротивления, температуры тела накала, светового потока и освещенности, создаваемой лампой, от напряжения питания лампы.
3. Определить длину волны, соответствующую максимуму спектральной плотности излучения при различных напряжениях сети.
4. Определить значение светоотдачи и светового КПД лампы.
5. Определить интегральный, активный поток и энергетический КПД лампы.
6. Сравнить результаты исследования с паспортными данными лампы.

Методика выполнения работы

1. По рекомендуемой литературе [1-3] изучить конструкцию лампы. Составить эскиз лампы с указанием всех деталей.

2. Освоение методики измерения и установления характеристик лампы провести на лабораторном стенде (рис. 1.1), который состоит из патрона с исследуемой лампой 2, промышленного визуального пирометра «Проминь» 3 и фотоэлемента 1.

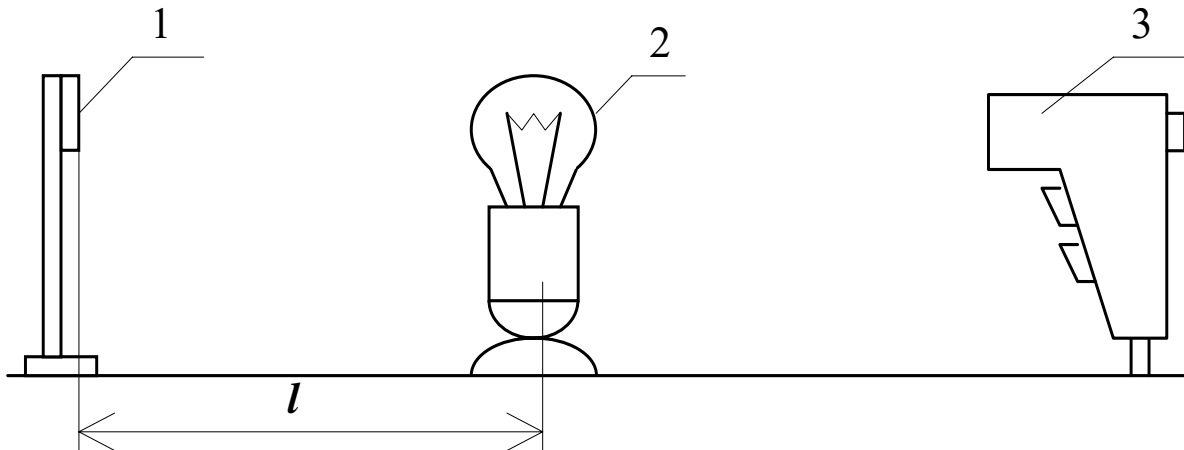


Рис. 1.1. Лабораторный стенд для исследования лампы накаливания:
1 — фотоэлемент; 2 — исследуемая лампа накаливания;
3 — пирометр «Проминь»

Электрическая схема стенда, изображенная на рисунке 1.2, включает в себя: блок питания, состоящий из автоматического выключателя QF, автотрансформатора TV; блок измерения электрических параметров, состоящий из вольтметра PV, амперметра PA1 и ваттметра PW; патрон с исследуемой лампой; блок измерения температуры, состоящий из промышленного визуального пирометра; блок измерения светового излучения, состоящий из селенового фотоэлемента BL и микроамперметра PA2.

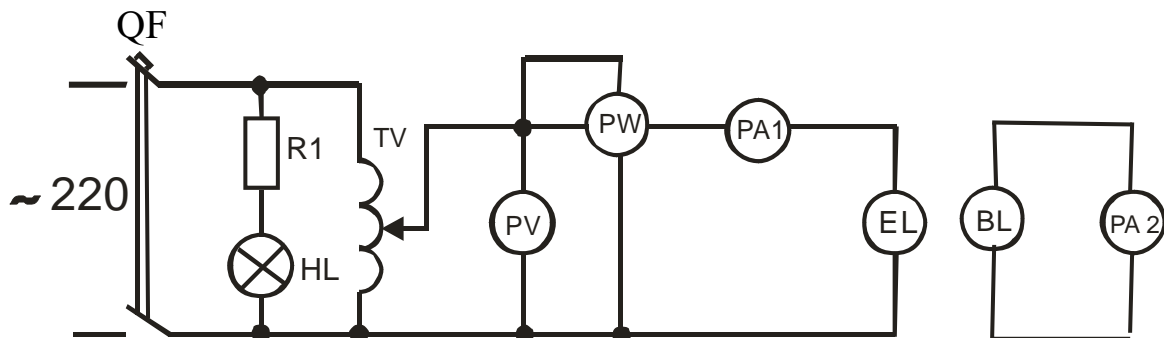


Рис. 1.2. Принципиальная электрическая схема лабораторного стенда для исследования лампы накаливания

Экспериментальные исследования сводятся к регистрации тока, мощности, температуры тела накала лампы и создаваемой ею освещенности при изменении напряжения питания.

Расчет характеристик лампы нужно выполнять в нижеследующей последовательности.

1. Замерить омметром сопротивление спирали в холодном состоянии R_0 .
2. Определить световой поток Φ_C , лм, по формуле

$$\Phi_C = 4\pi \cdot E \cdot l^2,$$

где E — освещенность фотоэлемента, лк;

l — расстояние от лампы до фотоэлемента, м.

3. Найти сопротивление тела накала, Ом:

$$R = \frac{U}{I}.$$

4. Определить светоотдачу, лм/Вт:

$$H_C = \Phi_C / P.$$

5. Вычислить световой КПД, %:

$$\eta_c = \frac{\Phi_C}{P_{680}} 100.$$

6. Рассчитать интегральный поток излучения по формуле (1.2).

7. Вычислить активный поток излучения по формуле (1.3).

8. Рассчитать энергетический КПД, %:

$$\eta_s = \frac{\Phi_a}{\Phi}.$$

9. Определить длину волны, соответствующую максимуму спектральной плотности излучения, по формуле (1.1).

10. Рассчитать срок службы лампы, %:

$$\tau = \tau_H \left(\frac{U}{U_H} \right)^{-14},$$

где τ_H — номинальный срок службы лампы, ч;

U_H — номинальное напряжение, В.

11. Сравнить сопротивление тела накала в холодном и нагретом состояниях.

Последовательность выполнения работы

1. Составить эскиз лампы и изучить ее конструкцию.
2. Ознакомиться с измерительным стендом и его электрической схемой.
3. Используя приложение 1 заполнить таблицы 1.3 и 1.4.
4. Определить тип лампы по геометрическим размерам с помощью таблицы, имеющейся на измерительном стенде.
5. Измерить сопротивление нити в холодном состоянии.
6. Ввернуть лампу в патрон и подать на нее номинальное напряжение.
7. Проградуировать люксметр, установленный на стенде, с помощью образцового люксметра.
8. Установить визуальный пирометр так, чтобы была видна спираль лампы накаливания, и навести на ее резкое изображение.
9. Измерить расстояние l между лампой и фотоэлементом.
10. Установить напряжение питания 240 В и снять все показания приборов. Результаты занести в таблицу 1.5. Аналогично измерить все необходимые параметры для других напряжений.
11. Экспериментальные данные показать преподавателю.
12. Произвести вычисление характеристик ламп.

Таблица 1.3. Технические характеристики исследуемых ламп

Тип лампы	Номинальное напряжение, В	Номинальная мощность, Вт	Световой поток, лм	Примечания

Таблица 1.4. Технические характеристики приборов, используемых в работе

Наименование прибора	Тип	Пределы измерения	Род тока	Класс точности	Примечания

Таблица 1.5. Результаты экспериментальных и расчетных исследований

Напряжение U , В	Измерено				Вычислено				
	ток I , А	мощность P , Вт	температура T , К	освещенность E , лк	сопротивление R , Ом	световой поток Φ , лм	световой КПД η , %	длина волны λ_{\max} , нм	срок службы τ , ч
180									
200									
220									
240									

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Эскиз лампы и ее паспортные данные.
3. Технические данные приборов и оборудования.
4. Электрическая принципиальная схема лабораторного стенда.
5. Методика и примеры расчета сопротивления, светового, интегрального и активного потоков, светового и энергетического КПД, светоотдачи и срока службы.
6. Графическая зависимость тока, мощности, сопротивления, светоотдачи, срока службы и светового КПД от напряжения сети.
7. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Назовите основные детали лампы накаливания.
2. Укажите основные причины снижения светового потока лампы накаливания.
3. Укажите мероприятия, снижающие распыление тела накаливания.
4. Почему светоотдача и световой КПД лампы с увеличением напряжения питающей сети возрастает?
5. Объясните, почему лампы с биспиралью имеют более высокую светоотдачу.
6. Как электрическая энергия в лампе накаливания преобразуется в световую?
7. Почему тело накала нагревается при прохождении по нему электрического тока?
8. Почему λ_{\max} уменьшается при увеличении напряжения сети?
9. Каков принцип действия лампы накаливания?