

6. ТЕПЛОВЫЕ ИСТОЧНИКИ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

- Основные этапы развития ламп накаливания
- Устройство ламп накаливания
- Классификация ламп накаливания
- Световые и электрические характеристики ламп накаливания
- Влияние отклонения напряжения сети на характеристики ламп накаливания
- Галогенные лампы накаливания
- Источники ИК-излучения, используемые в сельскохозяйственном производстве

6.1. Основные этапы развития ламп накаливания

В развитии лампы накаливания (ЛН) можно наметить несколько периодов:

I период (с 1800 до 1880 гг.) — создание ламп накаливания, телом накала которого служил уголь.

II период (с 1880 до 1890 гг.) — совершенствование лампы накаливания с угольным электродом с целью увеличения срока службы.

III период (с 1890 по 1900 гг.) — лампы накаливания с металлизированной угольной нитью.

IV период (с 1900 г. по наше время) — лампы накаливания с металлическим телом накала.

Опыты по получению света путем накаливания проводников электрическим током начались после открытия в 1800 г. теплового действия электрического тока. Особенно они стали интенсивными после того, как в 1801 г. Г. Генард (итальянец), занимаясь батареей Вольты, случайно замкнул «+» и «-» тонкой проволокой, которая нагрелась и засветилась.

В 1802 г. Г. Деви специально нагрел платиновую проволочку до 1700 °С.

В 1832 г. Джандус поместил угольную нить в колбу, из которой откачал воздух. Этот источник света проработал несколько часов.

В 1872 г. русский изобретатель А.Н. Ладыгин предложил работоспособную лампу накаливания. Он поместил угольный стержень в специальный баллон, из которого кислород удалялся за счет сгорания части угля. Оставшаяся часть угля работала относительно долго, излучая свет.

21 октября 1879 г. считается датой рождения лампы накаливания.

Т.А. Эдисон (резьбовая) и Г. Свэн (лампа со штырьками, как в автомашине) изобрели цоколь для лампы накаливания и впервые наладили серийное промышленное производство. В этих лампах в качестве тела накала служила угольная нить, полученная из тонких бамбуковых волокон, кроме этого, Эдисон ввел откачку воздуха.

С 1880 года до 1890 года происходило развитие ламп накаливания с угольным телом накала. Создаются лампы мощностью от 10 до 120 Вт и большим сроком службы (от 700 до 2 000 ч), но у этих ламп низкая световая отдача (2-3,5 лм/Вт).

С 1890 по 1900 гг. велись поиски увеличения светоотдачи ЛН путем металлизации угольной нити. Металлизация была сложной и для промышленного выпуска ламп накаливания успеха не имела.

В 1890 г. А.Н. Лодыгин усовершенствовал ЛН и предложил изготавливать тело накаливания из тугоплавкого металла.

В 1898 г. появились лампы накаливания с телом накала из осмия.

В 1902 г. — с телом накала из тантала.

В 1903 г. — с телом накала из вольфрама.

После освоения промышленностью в 1906-1909 гг. производства вольфрамовой нити путем протягивания через калиброванные отверстия началось серийное производство вакуумных ЛН с прямой нитью из вольфрама. Суммарный световой КПД их составлял около 1,2%. Срок службы этих ламп был небольшим из-за распыления тела накала.

В 1913 г. американец И. Ленгмюр предложил заполнять лампу накаливания инертным газом, а тело накала выполнять в виде спирали. Световой КПД составил 1,76%. Наполнение инертным газом позволило снизить высокотемпературное распыление вольфрама и увеличить срок службы лампы.

В 1934 г. появились газонаполненные лампы с биспиральным телом накала, что позволило увеличить КПД до 2%.

В 1936 г. появились биспиральные вольфрамовые лампы с криптоновым наполнителем.

В 1959 г. появились галогенные ЛН с КПД около 3%.

В настоящее время, несмотря на быстрое развитие газоразрядных ламп, лампы накаливания являются одним из самых распространенных источников света.

В настоящее время выпускается более 1 600 типоразмеров ламп накаливания и производство их продолжает расти, несмотря на решение правительства РФ прекратить их выпуск более 75 Вт с 2014 г.

Долголетие и массовость ламп накаливания обусловлена их преимуществами:

- относительно низкая стоимость;
- удобство в обращении, простота в обслуживании;
- малые капитальные вложения на оборудование осветительных установок;
- разнообразие конструкций и мощностей;
- высокий уровень механизации и автоматизации производства.

Недостатки ЛН:

- сравнительно низкая световая отдача (6...22 лм/Вт);
- мал срок службы (до 2 000 ч);
- не всегда приемлемая цветопередача;
- недостаточная механическая прочность.

6.2. Устройство ламп накаливания

Наиболее распространённый искусственный источник излучения — лампы накаливания. На долю видимого излучения приходится менее 10% потока, их световой КПД — 2...2,5%. Тем не менее, лампы накаливания в основном применяют для освещения в промышленности и сельском хозяйстве, в стационаре и на транспорте, в быту и для наружного освещения. Простота устройства и схемы её включения в сеть обеспечивают широкое применение.

Схематическое устройство лампы накаливания для целей общего освещения показано на рисунке 40.

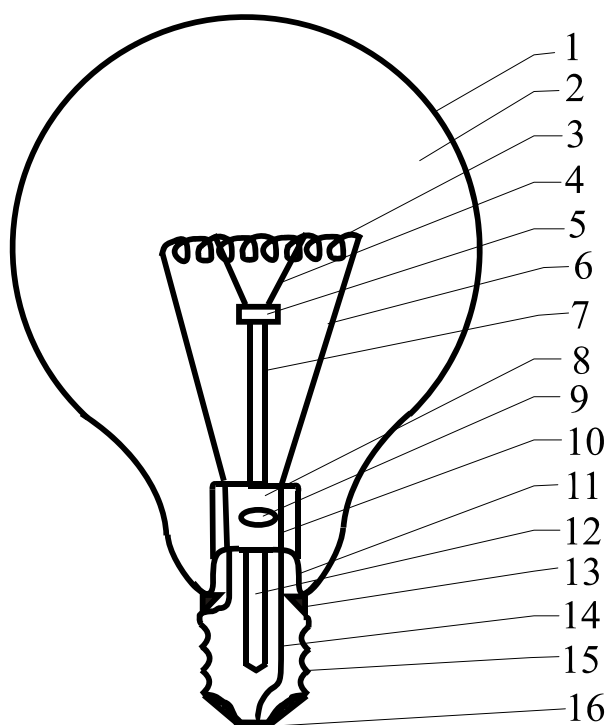


Рис. 40. Схематическое устройство лампы накаливания:

- 1 — колба лампы; 2 — смесь газов; 3 — тело накала; 4 — крючки;
- 5 — линзочка; 6 — электроды; 7 — штабик (стеклянный стержень);
- 8 — лопаточка; 9 — откачное отверстие; 10 — средняя часть электродов;
- 11 — тарелочка; 12 — откачная трубка; 13 — цоколёвочная мастика;
- 14 — выводы лампы; 15 — цоколь; 16 — контактная пластина

У вакуумных ламп давление остаточных газов в колбе после откачки составляет 10^{-5} - 10^{-7} мм рт. ст., у газонаполненных ламп после откачки колба заполняется смесью инертных газов под давлением около 600 мм рт. ст.

К стеклу колбы лампы предъявляют следующие требования: легкое сваривание; постоянный коэффициент пропускания; достаточно высокая механическая прочность; термостойкость стекла.

Основной частью лампы накаливания является тело накала 3, выполненное из вольфрамовой проволоки, свитой в спираль, биспираль или триспираль. Тело накала изготавливают из вольфрама, обладающего высокой температурой плавления (3663 К) и высокой пластичностью, позволяющей получать из него проволоки весьма малых диаметров. Важным преимуществом вольфрама является также низкая скорость испарения. Молибденовые крючки 4 придают телу накала определенную форму, препятствующие его провисанию. Электроды 6 служат для подачи напряжения на тело накала лампы.

Подводящие электроды 6 делятся на три части:

- 1) внутренняя, соединенная с телом накала, выполняется из молибдена или платинида (сталь и 40...44% никеля), а у газонаполненных — из никеля или никелевой стали;
- 2) средняя часть, вплавленная в стекло, — наиболее ответственная часть. У этой части электрода коэффициент теплового расширения должен быть равен коэффициенту теплового расширения стекла. Выполняется из платинида для стекол платиновой группы или из молибдена для молибденовых стекол;
- 3) наружная 14, соединенная с цоколем лампы, выполняется обычно из меди.

Штабик 7 — стеклянный стержень, в верхней части которого имеется утолщение — линзочка 5, куда впаиваются крючки 4. Полый стеклянный цилиндр 11 с расширенной нижней частью (тарелкой) и опресованной верхней частью — лопаткой 8, в которой соединены штабик, электроды и откачная трубка 12 (называемая штенгелем). В лопатке продувается отверстие 9, через которое производится откачка лампы. Штабик с крючками, тарелка, электроды с телом накала и штенгель, собранные вместе, называется ножкой.

Цоколь лампы 15 — металлический стакан с резьбой, к которому припаян один из электродов. Второй электрод припаявается к латунной контактной пластине 16, скрепленной со стаканом цоколя с помощью стекломассы.

Цоколь специальной мастикой 13 соединяется с колбой лампы.

Обозначение цоколя ламп: S — плоские цоколи, В — штифтовые (для автомобилей), Е — резьбовые цоколи — Е (6, 14, 27, 40 мм).

Наполнение ламп накаливания газом (смесь аргона с азотом или смесь криптона с азотом) даёт возможность повысить рабочую температуру тела накала без уменьшения срока службы вследствие снижения скорости распыления вольфрама в газовой среде по сравнению с распылением в вакууме. Однако технологические трудности при изготовлении ограничивают применение только для ламп небольшой мощности. Лампы мощностью до 25 Вт изготавливают вакуумными.

6.3. Классификация ламп накаливания

Классификация ламп накаливания производится по двум признакам: *по назначению и по конструкции* (технологии изготовления).

Классификация ламп по назначению

1. Лампы общего назначения:

- лампы общего назначения (вакуумные, газонаполненные и галогенные);
- лампы местного освещения (лампы для освещения рабочих мест).

2. Лампы специального назначения:

- транспортные лампы (автомобильные, железнодорожные, судовые, самолетные и др.);
- лампы для сигнализации (миниатюрные, светофорные, маячные);
- лампы для оптических систем и приборов (кинопроекторные, для оптических приборов, прожекторные, лампы-фары);
- лампы для технологических целей (инфракрасные зеркальные лампы, галогенные лампы инфракрасного излучения, лампы для фотографии и др.);
- метеорологические лампы (светоизмерительные лампы силы света и светового потока, пирометрические лампы и др.);
- лампы для специальных светотехнических систем и установок (рудничные, для подводного освещения, для эксплуатации при высоких температурах и пр.).

В основе классификации по конструкции лежит принцип группировки ламп, которые можно изготавливать на однотипном технологическом оборудовании. Это, прежде всего, определяется размером и формой колб, от которых зависят размер и конструкция ножек, тела накала, вводов, тип цоколя, а значит, и характер соответствующего технологического оборудования.

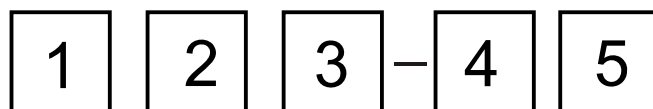
Классификация по конструктивно-технологическим признакам, мм:

- крупногабаритные: $d > 80$; $L > 175$;
- среднегабаритные: $d = 40-80$; $L = 75-175$;
- малогабаритные: $d = 25-40$; $L = 30-75$;
- миниатюрные: $d = 5-20$; $L = 10-30$;
- сверхминиатюрные: $d < 5$; $L < 10$;
- цилиндрические: $d = 15-30$; $L < 80$;
- лампы-фары;
- лампы-светильники;
- галогенные.

Лампы накаливания могут классифицироваться и по другим признакам, например по напряжению, мощности, по характеру среды, окружающей тело накала (вакуумные или газонаполненные).

Из приведённой классификации легко понять, как формируется основные требования к лампам накаливания. Прежде всего, определяется, к какому классу по назначению относится новая лампа, и полностью учитываются требования соответствующего потребителя. Затем стремятся так конструктивно выполнить лампу, чтобы она вошла в один из конструктивно-технологических классов. Первое позволяет создать лампу, полностью удовлетворяющую специфическим требованиям потребителя, а второе — использовать имеющееся технологическое оборудование для изготовления ламп, сократить затраты на организацию производства.

Маркировка ламп накаливания:



- 1) от одной до четырех букв, обозначает особенности лампы: В — вакуумная; Г — газонаполненная; Б — газонаполненная биспиральная; БК — биспиральная криптоновая; МТ — матированные колбы; МЛ — лампа из молочного стекла (стекло с добавками);
- 2) одна-две буквы, обозначает назначение лампы (может отсутствовать): А — автомобильная; Ж — железнодорожная; СМ — самолётная; ПЖ — прожекторная;
- 3) от 3-х до 6-ти цифр, обозначает номинальное напряжение, В;
- 4) через дефис — мощность лампы, Вт, или световой поток, лм, или сила света, кд;
- 5) порядковый номер разработки (может отсутствовать).

Принцип действия ламп накаливания

Работа ламп накаливания основана на тепловом действии электрического тока, проходящего через тело накала.

Известно, что проводник — металл, который имеет в кристаллической решетке свободные электроны.

Приложенное напряжение в проводнике создаёт электрическое поле напряженностью без учета диэлектрических свойств

$$\vec{E} = \frac{U}{l},$$

где l — расстояние между электродами.

Под действием поля на электроны действует сила, которая заставляет их двигаться с ускорением a :

$$\vec{F} = \vec{E}q = m\vec{a}.$$

Таким образом, электрическое поле совершает работу по увеличению кинетической энергии электрона на длине свободного пробега между электродами:

$$A = \vec{F}\lambda = \frac{m\vec{v}^2}{2},$$

где λ — длина свободного пробега;

m — масса электрона.

Встречая на своем пути атомы кристаллической решетки, разогнавшиеся электроны отдают им часть своей энергии. Атомы получают энергию, которая идет: 1) на увеличение скорости движения атома в кристаллической решетке, а это означает, что температура проводника возрастает; 2) на увеличение внутренней энергии атома, атом возбуждается и его внешние электроны переходят на более высокие энергетические уровни. В этом состоянии они находятся $10^{-8} \dots 10^{-5}$ с, после чего атом, переходя в нормальное состояние, излучает излишек энергии в виде кванта:

$$W = h\frac{c}{\lambda}.$$

Чем выше напряжение, тем выше напряженность поля и сила, действующая на заряд, тем большая скорость свободных электронов, тем сильнее удар и больше переданной энергии, тем сильнее возбуждение атома и излучаются кванты с большей энергией и с меньшей длиной волны:

$$U \uparrow \Rightarrow \vec{E} \uparrow \Rightarrow \vec{F} \uparrow \Rightarrow \frac{mv^2}{2} \uparrow \Rightarrow T \uparrow \Rightarrow C \Rightarrow W \uparrow \Rightarrow \lambda \downarrow.$$

В этом суть закона смещения Вина.

Распределение энергии в лампе накаливания следующее (табл. 4).

Таблица 4. Распределение энергии в лампе накаливания

Тип лампы	Потери на конвекцию, %	Потери на теплопередачу, %	Потери на ИК-излучение, %	Излучение в видимой зоне, %
В	—	7	86	7
Г	19	3	68	10
Б	12	2	74	12
БК	9	2	76	13

6.4. Световые и электрические характеристики ламп накаливания

Основной характеристикой является температура тела накала. Как следует из основных законов теплового излучения, важнейшие показатели работы лампы накаливания (спектральный состав излучения, поток излучения, КПД и др.), при прочих равных условиях, зависят только от температуры излучающего тела. Однако добиться повышения эффективности ламп накаливания только путём повышения температуры накала непросто, так как нагревание тела накала сопровождается его распылением. Интенсивность процесса распыления резко возрастает с повышением температуры нагрева, что в свою очередь приводит к резкому снижению срока службы лампы накаливания.

При тех значениях температуры, до которых обычно нагревается тело накала (у вакуумных (В) — 2400 К, у газонаполненных (Г) — 2900...3000 К), повышение её на 1% увеличивает скорость распыления вольфрама примерно в два раза.

К электрическим характеристикам ламп накаливания относят:

- номинальное напряжение — это напряжение, при котором лампа предназначена к работе. Выпускаемые промышленностью лампы накаливания имеют различные значения номинального напряжения от 1 до 220 В, в зависимости от типа и назначения;
- электрическая мощность — это мощность лампы накаливания, которая указывается как средняя величина для номинального напряжения при регламентируемых соответствующими стандартами о допусках. Промышленность выпускает лампы накаливания мощностью от долей ватта до нескольких киловатт.

Световые характеристики ламп накаливания

1. *Световой поток* — основная величина, которая указывается в паспорте для номинального напряжения и зависит от мощности лампы, температуры тела накала. В процессе эксплуатации световой поток снижается вследствие испарения тела накала, уменьшения сечения нити и увеличения её сопротивления, что приводит к снижению тока и температуры тела накала, а значит, к смещению спектра излучения в сторону длинных волн и светового потока к снижению. Кроме того, испарившиеся атомы оседают на стенках колбы, что является затеняющим предметом.

Допускается снижение светового потока на 5...10%, а для ламп, прогоревших 75% срока службы, снижение допускается на 15 ...20%.

2. *Светоотдача* H_c , лм/Вт, — одна из основных характеристик, определяющих экономичность ламп накаливания, зависит от температуры, площади излучения и диаметра тела накала: $H_c = \frac{\Phi_c}{P}$.

У ламп с криптоновым наполнителем светоотдача увеличивается на 11...13% (табл. 5).

Таблица 5. Световая отдача ламп накаливания, лм/Вт

Наименование	Отдача ЛН
Танталовая нить	7
Вольфрамовая нить (вакуум)	8,5
Вольфрамовая спираль	10
Биспираль (аргон)	12,8
Биспираль (криптон)	13,9
Вольфрам при температуре плавления	53
Чёрное тело ($T = 6\ 500\ K$)	87,5

Лампы накаливания большей мощности и меньшего напряжения, при прочих равных условиях, имеют большую световую отдачу. Биспиральная лампа накаливания мощностью 40 Вт, рассчитанная на напряжение 125...135 В, имеет световую отдачу 12,3 лм/Вт, а лампа того же типа и напряжения, но мощностью 1000 Вт, имеет световую отдачу 19,1 лм/Вт. Обыкновенные лампы накаливания обладают световой отдачей 20...22 лм/Вт.

3. *Световой КПД* η_c — это отношение светового потока лампы к ее мощности

$$\eta_c = \frac{H_c}{680} = \frac{\Phi_c}{680P}$$

Существует ряд проектов повышения КПД ламп. Однако в настоящее время в основном значение светового КПД не превышает 2...3%, для лучших ламп достигает 5%.

4. *Срок службы* — это средняя продолжительность горения всех типов ламп накаливания общего назначения:

- 127, 220 В — 1 000 ч.,
- 230-240 В, 235-245 В — 2 500 ч.

При этом после 1000 ч. горения ламп накаливания световой поток должен составлять 80% первоначального значения.

6.5. Влияние отклонения напряжения сети на основные показатели ламп накаливания

При изменении напряжения в сети, к которой присоединена лампа накаливания, изменяются ток, протекающий по нити накала, температура нагрева, сопротивление и мощность, рассеиваемая нитью в окружающее пространство. Следствием этого будет изменение яркости нити накала, светового потока, световой отдачи и срока службы лампы (рис. 41):

$$I = I_H \left(\frac{U}{U_H} \right)^{0,53} ; \quad H = H_H \left(\frac{U}{U_H} \right)^{2,14} ;$$

$$P = P_H \left(\frac{U}{U_H} \right)^{1,63} ; \quad \Phi = \Phi_H \left(\frac{U}{U_H} \right)^{3,67} ; \quad \tau = \tau_H \left(\frac{U}{U_H} \right)^{-14,8} .$$

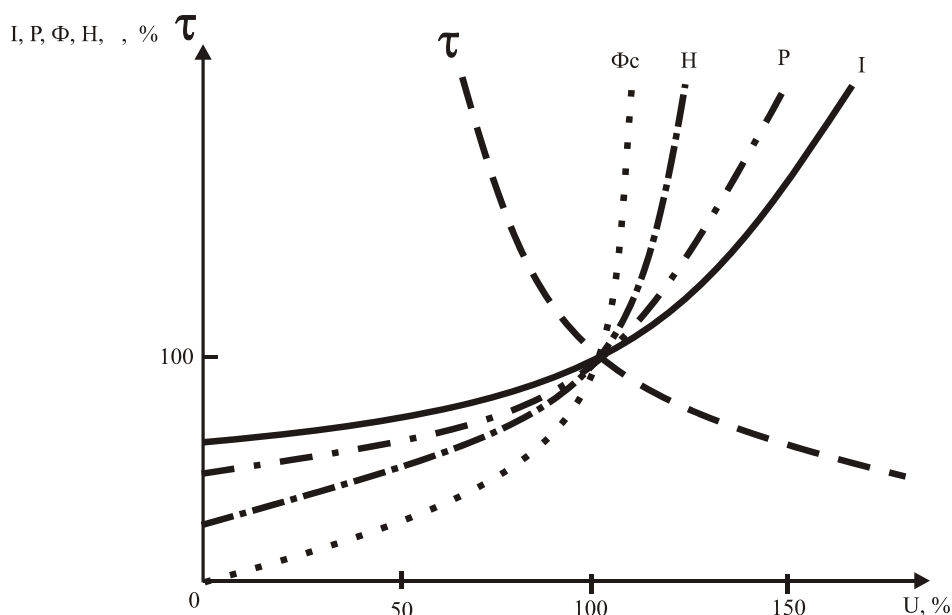


Рис. 41. Зависимость характеристик ламп накаливания от напряжения сети

6.6. Галогенные лампы накаливания

Основными недостатками лампы накаливания являются низкая светоотдача — до 20 лм/Вт, неудовлетворительный спектральный состав излучения, чрезмерная яркость, низкий КПД.

Увеличить КПД и светоотдачу можно путем увеличения температуры тела накала, вследствие чего произойдет смещение максимума спектральной плотности излучения в сторону коротких волн и увеличится доля активного и эффективного потоков. Однако увеличение температуры тела накала приведет к интенсивному распылению вольфрама и резкому сокращению срока службы.

Для снижения распыления тела накала применяют йодный цикл. В колбу лампы добавляют йод. Образующиеся в результате распыления тела накала атомы вольфрама движутся от нити к стенке колбы лампы, где вступают в химическое соединение с йодом, образуя йодистый вольфрам WJ_2 . При температуре колбы, превышающей 500 К, йодистый вольфрам остаётся в парообразном состоянии и постепенно диффундирует к нити лампы. В зоне нити лампы (при температуре выше 1 500 К) йодистый вольфрам разлагается на вольфрам и йод; атомы вольфрама осаждаются на нити накала, а атомы йода вновь возвращаются к стенкам колбы. При таком непрерывном цикле происходит восстановление вольфрамовой нити, что позволяет повысить температуру тела накала, светоотдачу и приводит к увеличению срока службы ламп. Йодистый вольфрам WJ_2 может образовываться при температуре 250...1600 °С, поэтому конструктивно галогенные лампы накаливания изготавливаются из длинной узкой кварцевой трубки (рис. 42).

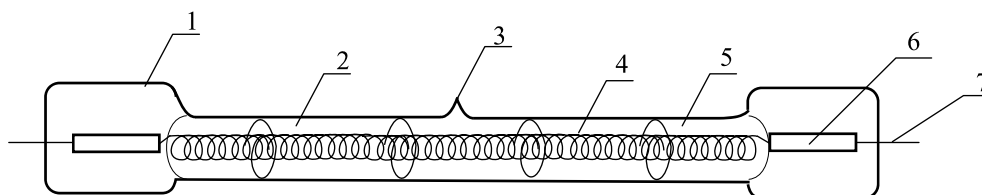


Рис. 42. Схематическое изображение галогенной лампы накаливания

Колба 1 лампы выполнена в виде трубки из кварцевого стекла, по оси которой располагаются тело накала в виде одинарной или двойной спирали 4. Выводы в кварц изготовлены из полосок молибденовой фольги 6, запрессованной в сплюснутые концы кварцевой трубки. Внутренняя часть электродов состоит из вольфрама, внешние выводы — из стали или меди. В лампах большой мощности, имеющих длинную спираль, для устранения ее провисания применяются вольфрамовые подпорки 2.

Для откачки, вакуумной обработки и наполнения лампы в средней части трубки колбы припаявается штенгель из кварцевого стекла, после запайки которого остаётся носик 3.

Внутреннее пространство лампы 5 заполняется инертным газом — аргоном, ксеноном или криптоном с добавлением определённого количества йода.

Преимущества ГЛН

По сравнению с обычными лампами накаливания галогенные лампы имеют:

- более стабильный во времени световой поток;
- большой срок службы (2 000 ч);
- меньшие размеры;
- большую механическую прочность, что позволяет наполнять лампу ксеноном и получать на этой основе большую светоотдачу и КПД.

Недостатки ГЛН:

- работа только в горизонтальном положении;
- более высокая стоимость, т.к. необходимо использовать кварцевое стекло и особо чистый вольфрам;
- более частые вольфрамовые поддержки.

Эффективность ламп накаливания повышена применением йодного цикла.

Типы и маркировка галогенных ламп накаливания

Галогенные лампы накаливания классифицируются по применению и конструктивному исполнению. Применяются:

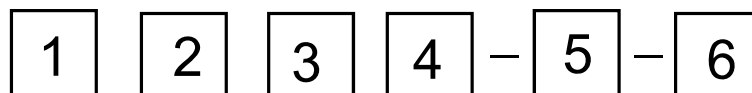
- для прожекторного и общего освещения;
- для инфракрасного облучения;
- для освещения в кино-, теле- и фотостудиях;
- автомобильных фарах;
- в оптических приборах.

По конструктивному исполнению галогенные лампы накаливания делятся на 2 группы: 1 — с длинным спиральным телом; 2 — с компактным телом накала.

В первом случае отношение длины лампы к диаметру более 10 ($L/d > 10$); во втором — $L/d < 8$.

Обозначение:

- 1) одна буква К — кварцевая (материал колбы, трубки);



- 2) одна буква — вид галогенной добавки (И-йод, Г-галоген);
- 3) одна буква — область применения или конструктивная особенность (О — облучательная, М — мелогобаритная);
- 4) три цифры — напряжение, В;
- 5) три-пять цифр — мощность, Вт (может быть I, А; Ф_с, Лм; и т.д.);
- 6) номер разработки.

Перспективы совершенствования ЛН

Резервы совершенствования ламп накаливания очень велики: об этом говорит то, что КПД современных ламп накаливания составляет 2...5%, а теоретический — 14,5%.

Каковы же пути увеличения светоотдачи и КПД ламп накаливания?

1. Поиск новых материалов для тела накала, которое имело бы более высокую температуру, а следовательно, более высокую светоотдачу и КПД.
2. Создание новых материалов для оболочек стекла.

3. Уменьшение потребления энергии без изменения температуры тела накала и светового потока путем рационального использования ИК части излучения. Для этого создаются пленочные экраны на колбе лампы, пропускающие видимое излучение и отражающее ИК-излучение на спираль. В этом случае светоотдача увеличивается на 15...30%.

4. Заполнение ламп вместо аргона и азота криптоном, что позволяет увеличить светоотдачу на 11...13%.

6.7. Источники ИК-излучения, используемые в сельскохозяйственном производстве

ИК-излучение в сельскохозяйственном производстве используется во многих технологических процессах:

- 1) для обогрева молодняка животных и птиц;
- 2) для сушки с.-х. продуктов и лакокрасочных покрытий;
- 3) для дезинсекции зернопродуктов;
- 4) для пастеризации молока, соков и т.д.

Светлые источники ИК-излучения — лампы накаливания с температурой тела накала 2 200...2 500 К. Максимум спектральной плоскости излучения находится в области 1...1,4 мкм — это инфракрасные зеркальные лампы.

ИКЗК 220-250, ИКЗК 220-500 и ИК-галогенные ЛН-КГ 220-1000-1.

У этих ламп часть внутренней поверхности покрыта слоем алюминия с коэффициентом отражения 0,9, нижняя часть этих ламп покрыта красным простым лаком для снижения светового потока.

Срок службы ламп — до 5000 ч.

Темные источники ИК-излучения — лампы с температурой тела накала 600...1 000 °С, максимум спектральной плотности излучения $\lambda_{\text{макс}} = 1,4...10$ мкм.

Вопросы для самопроверки

1. Назовите основные этапы совершенствования лампы накаливания. 2. Назовите основные детали лампы накаливания. 3. Укажите основные причины снижения светового потока лампы накаливания. 4. Назовите мероприятия, снижающие распыливание тела накаливания. 5. Объясните, почему лампы с биспиралью имеют более высокую светоотдачу. 6. Почему светоотдача и световой КПД лампы накаливания с увеличением напряжения сети возрастает? 7. Как электрическая энергия в лампе накаливания преобразуется в световую? 8. Как влияет напряжение сети на световые характеристики ламп накаливания? 9. Назовите преимущества галогенной лампы накаливания. 10. Почему светоотдача галогенных ламп выше? 11. Назовите перспективы совершенствования ламп накаливания.