

Г. П. ЛЫЩИНСКИЙ
Кандидат технических наук

ЛАМПЫ ДНЕВНОГО СВЕТА, ИХ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ПРОМЫШЛЕННОЕ ПРИМЕНЕНИЕ

Многочисленными опытами и наблюдениями установлено, что правильно спроектированная и выполненная светомеханическая установка способствует повышению производительности труда и улучшению качества продукции; уменьшению зрительного и общего утомления; уменьшению травматизма; поддержанию чистоты и порядка в помещении.

До XIX века светомеханические установки совершенствовались очень медленно. Только после появления электрического света стало возможным быстрое развитие техники освещения, и в этом ведущая роль принадлежит русским электротехникам.

В 1802 г. профессор Петербургской медико-хирургической академии академик В. В. Петров открыл явление электрической дуги между угольными металлическими электродами.

В 1879 г. была создана первая постоянно действующая осветительная установка с дуговыми лампами системы В. Н. Чиколева и П. Н. Яблочкова для освещения Литейного моста в Петербурге.

Дальнейшее развитие источников света пошло по пути использования ламп накаливания, изобретенных А. Н. Лодыгиным в 1873 году. Современная светотехника применяет в качестве источников света не только лампы накаливания, но и лампы, использующие явление дуги Петрова, — газосветные и так называемые люминесцентные.

В настоящее время все большее и большее распространение получают люминесцентные лампы, как наиболее совершенные источники света, спектр которых близок к солнечному.

Явление люминесценции (свечение фосфора, серы и других веществ) привлекало внимание ученых еще в XVIII веке. Академик В. В. Петров производил исследование люминесцирующих веществ в течение 40 лет. По словам академика С. И. Вавилова, работы Петрова и теперь имеют не только исторический, но и непосредственный научный интерес.

Прошло свыше ста лет пока явление люминесценции нашло практическое применение. Глубокое теоретическое изучение явления люминесценции, в котором первостепенную роль играют работы отечественных ученых, особенно С. И. Вавилова и его школы, позволили создать новый источник света — люминесцентную лампу, значительно превосходящую по своей экономичности все другие.

ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ И КОНСТРУКЦИЯ

Люминесцентная лампа является комбинированным источником света, в котором принцип люминесценции используется дважды: для превращения электрической энергии, подводимой к лампе, в лучистую энер-

гию (электролюминесценция) и для воздействия лучистой энергии на светосоставы, нанесенные на внутренних стенках лампы (фотолюминесценция).

Современные люминесцентные лампы — это ртутные лампы низкого давления в цилиндрических стеклянных колбах.

Для того, чтобы ясней представить работу люминесцентной лампы, следует остановиться на физике происходящего в ней процесса.

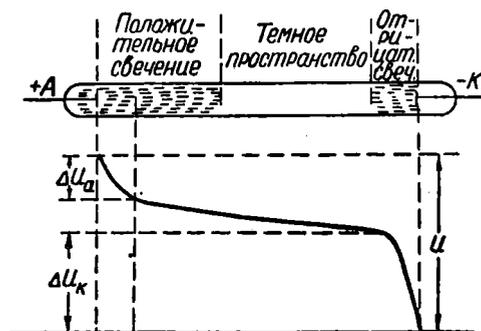


Рис. 1. Строение тлеющего разряда и распределение напряжения в газосветной трубке.

Если к запаянной с обоих концов стеклянной колбе, наполненной парами ртути или разреженным газом, приложить определенную разницу потенциалов, то электрическое поле начнет воздействовать на свободные электроны и ионы, всегда присутствующие в газе или парах.

В результате этого воздействия свободные частицы (ионы и электроны) будут перемещаться.

К положительно заряженному электроду (так называемому аноду) будут устремляться отрицательно заряженные частицы —

электроны, а к отрицательно заряженному электроду (так называемому катоду) положительно заряженные частички — ионы.

По мере увеличения разности потенциалов скорость перемещения частиц будет возрастать, а следовательно, будет увеличиваться и их запас кинетической энергии.

На своем пути электроны и ионы сталкиваются с атомами газа и производят так называемую ионизацию, т. е. высвобождение или расщепление атома на свободный электрон и положительно заряженный ион.

Эти вновь освобожденные частицы являются в дальнейшем сами причинами ионизации. Таким образом, процесс все время развивается, и электрический ток в трубке возрастает.

Масса электрона ($m = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг) в 3700 раз меньше массы иона. Поэтому ионы имеют незначительную скорость и, медленно перемещаясь, группируются у катода, создавая большой объемный положительный заряд. Электроны более подвижны и быстро переносятся к аноду.

В силу этого вдоль трубки возникает неравномерное распределение потенциала с большим падением напряжения (градиентом) у катода, с малым — у анода (рис. 1).

Под действием большого падения напряжения у катода ионы в конце своего пути приобретают большую кинетическую энергию, ударяются о катод и выбивают из него новые электроны, которые становятся источниками ионизации.

Таким образом, устанавливается самопроизвольный, не зависящий от внешних ионизаторов процесс, сопровождающийся свечением.

Такой разряд называется *тлеющим*. Строение тлеющего разряда показано на рис. 1. У анода появляется так называемое положительное свечение. Это наиболее яркое излучение. Далее следует темное фарадеево пространство и, наконец, у катода имеет место слабое свечение, называемое отрицательным.

Так как ионизация является процессом нестабильным, имеющим по-

стоянную тенденцию к увеличению, то проводимость трубки будет все время увеличиваться, а следовательно, будет нарастать ток. Сила тока может достигнуть такой величины, что начнут расплываться электроды.

Для стабилизации тока (ограничения его) используют дополнительные балластные сопротивления, включенные последовательно в цепь.

При некотором значении силы тока, когда начинается так называемая термоионная эмиссия (т. е. испускание катодом электронов вследствие его нагрева) тлеющий разряд переходит в *дуговой*. Дуговой разряд сопровождается равномерным свечением по всей длине трубки и широко используется для освещения в газосветных лампах различных конструкций (неоновых, аргонных, ртутных и т. д.).

Выясним, в чем заключается механизм прохождения электрического тока через газы и пары.

Как известно, атом вещества состоит из положительно заряженного ядра и вращающихся вокруг него электронов. Причем заряд ядра уравновешивается суммарным отрицательным зарядом электронов. Таким образом, атом является электронейтральной частицей материи.

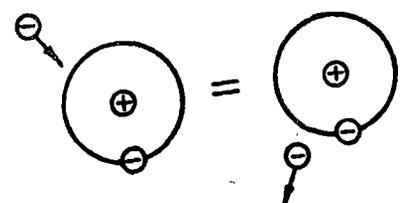
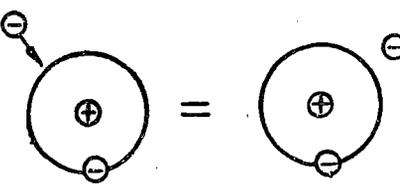
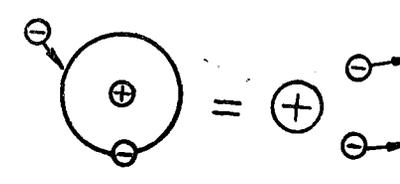
Электроны, находящиеся в свободном состоянии, соударяясь на пути своего пробега с атомами, отдают последним часть кинетической энергии.

При этом принято различать три вида соударений: а) упругий удар; б) возбуждение атома; в) ионизация.

Возникновение того или иного вида ионизации определяется, в первую очередь, величиной кинетической энергии, которой обладает движущийся электрон. Типы соударений частиц в газовой среде можно иллюстрировать следующей таблицей:

Таблица 1

Виды соударений при различной энергии электрона

Упругий удар	Энергия электрона невелика. При соударении имеет место упругий удар, возрастает скорость атома, увеличивается температура газа	
Возбуждение атома	Энергия достаточна для возбуждения атом и электрон	
Ионизация	В результате удара получаем один ион и два электрона	

Упругие удары являются источником повышения тепловых потерь, которые заметно увеличиваются при повышении давления.

Если энергия электрона достаточно велика, то может быть либо возбуждение атома, либо ударная ионизация.

При возбуждении атома его электрон переходит на другой энергетический уровень, т. е. на орбиту, отстоящую на большем расстоянии от ядра. Иначе говоря, электрон переходит с базисного уровня, при котором атом нейтрален, на более высокий энергетический уровень. Переход атома на тот или иной уровень зависит от величины приобретенной кинетической энергии.

Достигнув уровня возбуждения, атом находится в таком состоянии очень малое время (в среднем $10^{-8} \div 10^{-9}$ сек.), после чего он вновь возвращается на исходный, базисный уровень.

При возвращении в исходное положение полученная при соударении энергия выделяется в виде порции (кванта) лучистой энергии. Чем больше возбужденных атомов, тем большая часть энергии будет отдаваться в виде лучистого излучения.

Атом каждого вещества характеризуется присущей ему системой уровней. Кроме того, в зависимости от режима работы лампы, спектр излучения может лежать в видимой или невидимой части.

Поэтому необходимо обеспечить такой режим работы лампы, при котором большая часть излучений приходилась бы на видимую часть спектра. Видимые излучения возникают при переходе атомов на более высокие уровни.

При этом возможно повторное соударение, которое вызывает ионизацию.

Все это говорит о целесообразности увеличить давление паров или газов внутри лампы. Однако увеличение давления, с одной стороны, влечет за собой увеличение вероятности повторного соударения, но, с другой стороны, уменьшает длину свободного пробега, что вызывает уменьшение кинетической энергии электронов.

Таков вкратце механизм электролюминесценции.

Рассмотрим физику фотолюминесценции.

Внутренняя поверхность лампы покрыта светосоставом — люминофором. После откачки воздуха внутрь вводится дозированное количество ртути, а также под небольшим давлением — аргон, облегчающий зажигание лампы. В первый момент разряд возникает в атмосфере аргона, а по истечении небольшого промежутка времени, необходимого для испарения ртути, разряд происходит в ее парах.

При разряде в парах ртути около 60% энергии приходится на ультрафиолетовую часть спектра. Эта энергия, воздействуя на светосостав, частично преобразуется в видимую часть спектра, а частично (большая часть) — в тепло.

Конструктивно современная люминесцентная лампа представляет собой цилиндрическую стеклянную трубку (рис. 2), длина и диаметр которой определяются мощностью лампы. По обоим концам трубки на специальной конструкции, цоколе, укрепляется биспиральный электрод, покрытый тонким слоем окиси бария для облегчения эмиссии электронов.

На рис. 3 представлена одна из схем включения люминесцентной лампы в сеть. Схема состоит из лампы, стартера, дросселя и конденсатора (C_1), предназначенного для устранения радиопомех. Стартер представляет собой тепловое реле, выполненное в виде двух электродов, заключенных в газоразрядный стеклянный баллон, наполненный неонем.

Один из электродов — биметаллическая пластинка, состоящая из двух металлов, спаянных с различным коэффициентом линейного расширения.

При включении лампы в электрическую цепь между электродами стартера возникает тлеющий разряд, вследствие чего биметаллическая пластинка нагревается и замыкает цепь тока, который, протекая по электродам люминесцентной лампы, нагревает их до температуры $800 \div 1000^\circ\text{C}$.

При замыкании электродов стартера тлеющий разряд прекращается, пластинка разрывает цепь лампы. Тогда полное

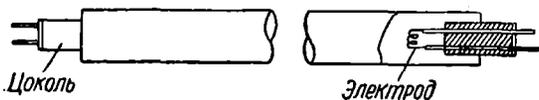


Рис. 2. Конструкция люминесцентной лампы.

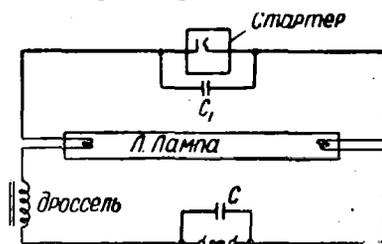


Рис. 3. Принципиальная схема включения люминесцентной лампы.

напряжение сети ложится на люминесцентную лампу. Ее потенциал зажигания становится значительно ниже благодаря нагретым электродам и внутри лампы происходит разряд.

СВЕТСОСТАВЫ, ТИПЫ ВЫПУСКАЕМЫХ ЛАМП, СРАВНЕНИЕ ИХ ХАРАКТЕРИСТИК С ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ЛАМП НАКАЛИВАНИЯ

Светосоставы, используемые в настоящее время в люминесцентных лампах, являются сернистыми соединениями металлов: кальция, магния, цинка, кадмия и других. Эти соединения прокаливаются с мельчайшими частицами меди, марганца, висмута. В результате этого образуется новая структура, содержащая комплексные (сложные) молекулы, которые способны аккумулировать падающую на них лучистую энергию, а затем, в свою очередь, отдавать ее в виде излучений.

В зависимости от состава люминофоры обладают различными цветовыми оттенками.

Например:

Состав люминофора	Цвет свечения
Вольфрамат кальция	Синий
Силикат цинка	Зеленый
Кадмий, борат	Розовый

Комбинируя два или несколько люминофоров, можно получить сложный цвет свечения, в том числе излучение, по своему спектральному составу близкое к дневному свету.

В настоящее время изготавливаются как белые, так и цветные люминесцентные лампы. Последние предназначаются преимущественно для световой рекламы.

Наибольший интерес представляют люминесцентные лампы, имеющие при свечении белый цвет. Они делятся на три типа:

- 1) лампы дневного света — ДС;
- 2) лампы белого света — БС;
- 3) лампы теплого белого света — ТБ.

Лампы дневного света по своему излучению наиболее близки к спектральному составу излучения небосвода в облачный день, а лампы БС и ТБ — к лампам накаливания (в их спектре преобладают желтый и оранжевый цвета).

Широкое распространение получили лампы дневного света как наиболее экономичные и

обеспечивающие лучшее различие цветов и оттенков.

К основным характеристикам люминесцентных ламп относятся:

а) мощность лампы — электрическая мощность, потребляемая из сети;

б) напряжение сети (110÷127 в, 220 в);

в) световой поток,

т. е. лучистый поток, оцениваемый по световому

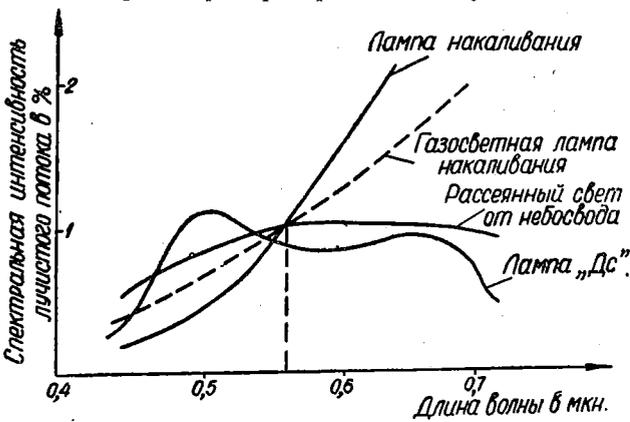


Рис. 4. Распределение энергии по видимой части спектра.

ощущению, которое он производит (единица измерения — люмен);

г) световая отдача — отношение излучаемого светового потока к электрической мощности лампы;

д) средняя продолжительность горения.

Удобнее всего привести данные по этим характеризующим величинам в сравнении с привычными нам лампами накаливания (таблица 2).

Таблица 2

Основные характеристики люминесцентных ламп и ламп накаливания

Основные характеристики	Название ламп					
	лампа накал.	люмин. лампа	лампа накал.	люмин. лампа	лампа накал.	люмин. лампа
Мощность в вт	15	15	25	20	40	40
Напряжение в сети в в	127	127	127	127	220	220
Световой поток в лм	124	465	225	660	336	1520
Световая отдача лм/вт	8,25	33,0	9,00	38,0	8,4	42,5
Срок службы в час	1000	2000+ 3000	1000	2000+ 3000	1000	2000+ 3000

Примечание: К.п.д. ламп накаливания — 2+2,5%, к. п. д. люминесцентных ламп — 4+6%.

Сравнивая табличные величины, видно, что люминесцентные лампы имеют показатели в 3—4 раза выше, чем лампы накаливания.

Кроме того, можно произвести сравнение люминесцентной лампы с другими источниками света с точки зрения распределения энергии по видимой части спектра (график рис. 4).

В то время как наибольшая интенсивность спектрального потока лампы накаливания приходится в видимой части спектра на оранжевые и красные излучения при недостатке в синей и фиолетовых частях по сравнению с природным составом дневного света, спектральный состав люминесцентной лампы приближается к последнему.

В заключение следует сказать, что на работу люминесцентных ламп влияет окружающая температура и колебания напряжения в сети.

Лампы наиболее хорошо работают при температуре окружающей среды от $+18$ до 25°C . При других температурах их светоотдача снижается, а при температуре ниже $+5^{\circ}$ зажигание не гарантируется (хотя отмечаются случаи работы ламп даже при температуре -10°).

При изменении напряжения на 1% в ту же сторону изменяется примерно на 1% и световой поток лампы.

При напряжении 90% от номинального значения зажигание лампы не гарантируется.

УСТАНОВКИ ЛЮМИНЕСЦЕНТНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

При малых освещенностях примерно до 100 люкс люминесцентное освещение производит неприятное сумеречное впечатление и по производственно-гигиеническим показателям уступает освещению ламп накаливания. При больших освещенностях люминесцентные лампы дают лучший эффект, чем лампы накаливания. В настоящее время действуют нормы освещенности для производственных помещений при люминесцентном освещении (утверждены Министерством здравоохранения и Министерством электростанций в 1951 г.), которые выше в 1,5—2,5 раза соответствующих норм при освещении лампами накаливания.

Специфическая форма люминесцентных ламп в значительной мере определяет и конструкцию предназначенной для нее осветительной аппаратуры.

Для обычных производственных и конторских помещений используют корытообразные светильники с рассеивающим отражателем на одну, две или три лампы (рис. 5).

Корпус светильника делается из стали, алюминия или пластмассы. К.п.д. таких светильников от 60 до 85%. В верхней части светильника предусматривается место для установки пусковых приспособлений.

Для архитектурно-художественных объектов применяются светильники из пластмассы, картона и стекла. Причем в этом случае источник света и светильник, кроме своей основной функции — освещать помещение, несут и дополнительную — украшение помещения.

При установке люминесцентного освещения необходимо учитывать недостаток, присущий лампам. Этим недостатком является так называемый стробоскопический эффект. Стробоскопический эффект возникает вследствие периодичности напряжения в цепях переменного тока и характеризуется множественным изображением движущихся предметов.

Для снижения стробоскопического эффекта целесообразно применять включение ламп на разные фазы электрической сети. Это мероприятие позволяет уменьшить стробоскопический эффект примерно в 3 раза.

Дроссель снижает коэффициент мощности ($\cos \varphi$) в осветительной сети до $0,5 \div 0,6$. Простейшим мероприятием является включение параллельно лампе конденсатора «С» (см. рис. 3) емкостью $4 \div 6$ мкф. При этом ($\cos \varphi$) может достигнуть значения $0,8 \div 0,9$.

В последнее время широкое распространение получила схема двухлампового параллельного включения (рис. 6), которая позволяет уменьшить стробоскопический эффект и повысить (до 0,95) коэффициент мощности. Одна из ламп включена последовательно с дросселем (4) и образует отстающую по фазе цепь, вторая — включена последовательно с дросселем и конденсатором и создает отступающую цепь. Небольшой дроссель (2) в цепи стартера второй лампы облегчает нагревание электродов.

Люминесцентные лампы применяются преимущественно для общего равномерного или локализованного освещения. Комбинированное освещение устраивается только для наиболее точных работ. Люминесцентное освещение рекомендуется для работ, при ко-

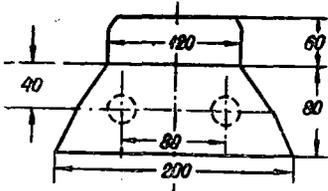


Рис. 5. Размеры светильника для двух ламп мощностью по 40 вт.

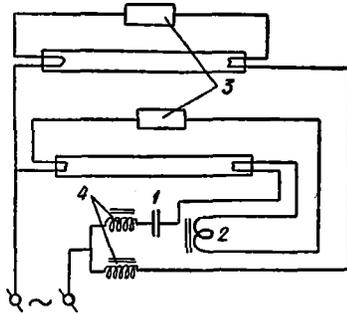


Рис. 6. Схема двухлампового параллельного включения.

торых необходимо правильно различать оттенки. Например: браковка, сортировка и приемка окрашенных поверхностей в полиграфической, текстильной, швейной, обувной и других отраслях промышленности.

Люминесцентное освещение значительно повышает производительность труда при работе с деталями малых угловых размеров.

В настоящее время люминесцентное освещение применяется для картинных галерей, ателье художников, для учебных и лечебных учреждений, магазинов тканей, готового платья, в установках архитектурно-художественного освещения.

Отечественная промышленность выпускает лампы до 100 вт мощности.

С каждым годом все большее и большее количество предприятий переходит на освещение люминесцентными лампами.

Правильно спроектированная установка не только повышает производительность труда, но и сохраняет зрение работающим.

В архитектурно-художественных помещениях люминесцентное освещение создает иллюзию солнечного света; ярче выступают художественные детали, приятнее тона красок. Помещение как бы увеличивается в размерах, создается простор и обостряется чувство высоты. Исчезают резкие тени, углы освещаются равномерно. Меньшая яркость лампы не создает блескости и ярких световых пятен, которые так мешают правильному зрительному восприятию.

Можно с уверенностью сказать, что люминесцентная лампа является лучшим источником света после естественного солнечного освещения. Задача, которая сейчас стоит перед отечественными светотехниками, заключается в том, чтобы еще больше приблизить спектральный состав люминесцентной лампы к спектральному составу солнца.

ЛИТЕРАТУРА

1. Епанешников М. М., Соколов М. В. — Электрическое освещение. Госэнергоиздат (1950).
 2. Кноринг Г. М. — Проектирование электрического освещения. Госэнергоиздат (1950).
 3. Кноринг Г. М. Справочник для проектирования электрического освещения. Госэнергоиздат (1952).
 4. Мешков В. В. — Осветительные установки. Госэнергоиздат (1947).
-