

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

С. В. Митрофанов
О. И. Кильметьева
К. Р. Валиуллин

ЭНЕРГОАУДИТ СИСТЕМ ОСВЕЩЕНИЯ

Учебное пособие

Рекомендовано ученым советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Оренбургский государственный университет» для обучающихся по образовательной программе высшего образования по направлению подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Оренбург
2018

УДК 621.311(075.8)
ББК 31.27я73
М 67

Рецензент – доцент, кандидат технических наук В.М. Нелюбов

Митрофанов, С. В.

М 67

Энергоаудит систем освещения: учебное пособие / С.В. Митрофанов, О.И. Кильметьева, К.Р. Валиуллин; Оренбургский гос. ун-т. - Оренбург: ОГУ, 2018. - 102 с.

Учебное пособие включает в себя основные вопросы энергоаудита систем освещения и предназначено для изучения дисциплин «Энергосбережение в энергетике» и «Методика проведения энергетического обследования». Также пособие содержит основы светотехники, вопросы классификации систем освещения, рассмотрены нормативные требования к системам освещения. Описаны энергосберегающие источники света, устройства автоматизации систем освещения и мероприятия по энергосбережению в системах освещения.

Учебное пособие предназначено для обучающихся по направлению подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника.

УДК 621.311(075.8)
ББК 31.27я73

ISBN 978-5-7410-2218-4

© Митрофанов С.В.,
Кильметьева О.И.,
Валиуллин К.Р., 2018
© ОГУ, 2018

Содержание

Введение.....	5
1 Основы светотехники	6
1.1 Основные светотехнические понятия.....	6
1.1.1 Лучистая энергия, световой поток	6
1.1.2 Сила света	7
1.1.3 Освещенность	8
1.1.4 Световые свойства тел.....	9
1.2 Источники света	11
1.2.1 Лампы накаливания	11
1.2.2 Газоразрядные лампы	17
1.2.3 Энергосберегающие лампы	30
1.3 Осветительные приборы	34
1.3.1 Светотехнические характеристики светильников.....	34
1.3.2 Классификация светильников по степени защиты	36
2 Светотехнический расчет освещения	44
2.1 Выбор источников света	45
2.2 Выбор системы и видов освещения	46
2.2.2 Выбор освещенности и коэффициента запаса.....	54
2.3 Размещение светильников в плане помещения	55
2.3.1 Выбор светильников.....	55
2.3.2 Размещение светильников	56
2.4 Расчет освещения методом коэффициента использования.....	60
светового потока	60
2.6 Точечный метод светотехнического расчета.....	65
2.7 Нормирование уровня освещенности	70
2.8 Эксплуатация осветительных установок.....	73

2.8.1 Осмотры осветительных установок	73
2.8.2 Проверки и испытания осветительных установок при эксплуатации	74
2.8.3 Выполнение фотометрических измерений освещенности в помещениях	74
2.8.4 Особенности эксплуатации люминесцентных ламп и газоразрядных ламп высокого давления.....	75
2.8.5 Эксплуатация светильников	76
2.8.6 Поддержание номинальных уровней напряжения в осветительной сети.....	77
2.8.7 Правильность работы сети аварийного освещения и действия автомата аварийного переключения освещения	78
2.8.8 Проверка соответствия мощности ламп, установленных в светильниках, проекту	78
3 Автоматизация систем освещения	79
3.1 Диммеры	79
3.2 Датчики движения и присутствия.....	84
3.3 Системы управления освещением.....	90
4 Типовые мероприятия по энергосбережению в системах освещения. Расчет экономического эффекта от внедрения энергосберегающих мероприятий в системах освещения.	94
4.1 Автоматизация освещения в местах общего пользования	96
4.2 Замена осветительных приборов на более энергоэффективные.	98
4.3 Организационные мероприятия	101
4.3.1. Очистка оконных проемов и светильников	101
4.3.2 Организационные и информационные мероприятия по энергосбережению.	101
Список использованных источников.....	102

Введение

В данном учебном пособии рассматриваются основные вопросы энергоаудита систем освещения. Для ознакомления с предметной областью приведены основы светотехники, освещены вопросы классификации систем освещения, рассмотрены нормативные требования к системам освещения. Данная информация позволит производить энергоаудит систем освещения со знаниями о предметной отрасли и избежать основных ошибок при формировании энергосберегающих мероприятий.

Также в пособии рассмотрены вопросы управления системами освещения и применения различных устройств автоматизации с основными типами осветительных приборов.

Приведена методика расчета энергосберегающих мероприятий, даны примеры расчетов.

1 Основы светотехники

1.1 Основные светотехнические понятия

1.1.1 Лучистая энергия, световой поток

Из курса физики известно, что все тела, имеющие температуру выше абсолютного нуля, излучают в пространство лучистую энергию. Эта энергия распространяется в виде электромагнитных колебаний с различной длиной волн.

Количество излучаемой в единицу времени называется ее мощностью и измеряется в Ваттах (Вт). Из всей лучистой энергии, существующей в природе и распространяющейся с длинами волн в диапазоне от долей миллиметра до сотен километров, человеческий глаз воспринимает только незначительную часть в пределах длин волн от 380 до 760 нм (1 нанометр = 10^{-9} м = 10^{-6} мм). Весь остальной спектр электромагнитных излучений для человеческого глаза невидим.

Каждой длине волны в пределах от 380 до 760 нм соответствует определенный цвет. Так, например, излучения с длинами волн, лежащими в интервале от 510 до 550 нм, воспринимаются глазом как разные оттенки зеленого цвета. Одним из основных понятий в системе световых величин и единиц является световой поток, поскольку он определяет эффективность действия лучистого потока, воспринимаемого глазом как световое излучение.

Световым потоком (F) называют часть мощности лучистой энергии (лучистого потока), воспринимаемую человеческим глазом как световое ощущение. Световой поток, так же, как и лучистый поток, может быть измерен в ваттах. Однако на практике за единицу светового потока принят люмен (лм). Например, световой поток обычной стеариновой свечи составляет от 10 до 15 лм, а электрической лампы накаливания мощностью 15 Вт – 105 лм.

1.1.2 Сила света

Идеальный источник света (ИС) может быть представлен в виде светящейся точки, равномерно излучающей световой поток во все стороны. Реальные ИС излучают световой поток в пространстве неравномерно, вследствие этого он имеет неодинаковую плотность.

Пространственная плотность светового потока называется силой света. Это есть световая величина, представляющая собой отношение светового потока к телесному углу:

$$I = \frac{F}{w}, \quad (1.1)$$

где F – световой поток, лм;

w – телесный угол, ср;

Под телесным или пространственным углом понимается часть пространства, ограниченная конической поверхностью. Величина телесного угла определяется как отношение площади участка сферы S , на которую телесный угол опирается, к квадрату радиуса R сферы (рисунок 1.1).

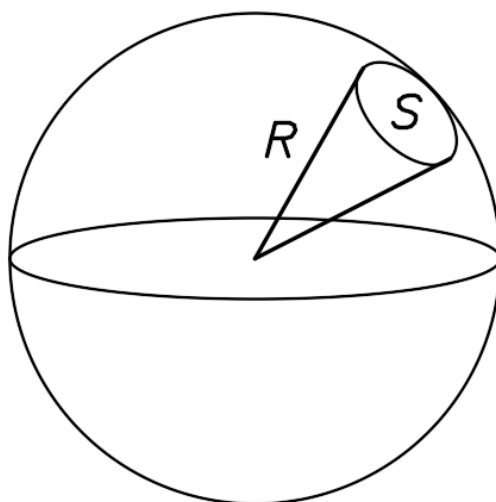


Рисунок 1.1 - Иллюстрация телесного угла

Телесный угол может быть найден по формуле:

$$\omega = \frac{S}{R^2} \quad (1.2)$$

Единицей измерения телесных углов является стерadian (ср). 1 ср — это телесный угол, который вырезает на поверхности сферы площадь, равную квадрату радиуса данной сферы.

В системе СИ единицей силы света является кандела. Одна кандела (кд) представляет силу света точечного источника, излучающего равномерно световой поток, равный одному люмену внутри телесного угла в один стерadian:

$$1 \text{ кд} = \frac{1 \text{ лм}}{1 \text{ ср}} \quad (1.3)$$

1.1.3 Освещенность

Для количественной оценки плотности светового потока на освещаемой поверхности пользуются понятием освещенности, т.е. отношением светового потока, к площади освещаемой им поверхности:

$$E = \frac{F}{S}, \quad (1.4)$$

где F - световой поток, падающий равномерно на освещаемую поверхность, лм;

S - площадь освещаемой поверхности, м².

Освещенность измеряется в люксах (лк). Освещенность, равная 1 лк, соответствует равномерному распределению светового потока в 1 лм на поверхности площадью в 1 м²:

$$1 \text{ лк} = \frac{1 \text{ лм}}{1 \text{ м}^2} \quad (1.5)$$

1.1.4 Световые свойства тел

Любые физические тела в зависимости от их свойств и состояния, обладают способностью отражать, пропускать и поглощать свет. При падении светового потока на не пропускающее свет тело, часть этого потока F_ρ отражается, а другая часть светового потока F_α поглощается телом. При падении светового потока на тело, пропускающее свет, часть светового потока F_τ проходит через него.

Для оценки светотехнических качеств тел применяют коэффициенты отражения ρ , поглощения α , и пропускания τ , которые показывают, какая часть от общего падающего на поверхность светового потока отражается, пропускается и поглощается. Соответствующие коэффициенты могут быть найдены по формулам:

$$\rho = \frac{F_\rho}{F_{nad}}; \quad (1.6)$$

$$\alpha = \frac{F_\alpha}{F_{nad}}; \quad (1.7)$$

$$\tau = \frac{F_\tau}{F_{nad}}, \quad (1.8)$$

Таким образом, падающий на тело световой поток F_{nad} можно представить в виде суммы трех составляющих:

$$F_{nad} = F_{\rho} + F_{\alpha} + F_{\tau} \quad (1.9)$$

Коэффициенты отражения, поглощения и пропускания также связаны равенством:

$$\rho + \alpha + \tau = 1 \quad (1.10)$$

Для отдельных тел и материалов один или два из этих коэффициентов могут иметь нулевое значение.

Зная величины коэффициентов отражения и пропускания, а также характер распределения в пространстве отраженного и пропущенного световых потоков, можно выбрать наиболее рациональный материал для изготовления светильников, отделки освещаемых помещений и т.д.

1.2 Источники света

1.2.1 Лампы накаливания

Лампа накаливания (ЛН) (рисунок 1.2) - это источник света, работа которого основана на принципе теплового излучения. По такому же принципу работают и галогеновые лампы.



Рисунок 1.2 – Лампа накаливания

Любое тело при нагреве выделяет лучистую энергию, количество которой увеличивается с повышением температуры. При низких температурах телом излучаются почти исключительно невидимые инфракрасные лучи, длина волны которых больше, чем у световых лучей. По мере повышения температуры происходит не только увеличение излучаемой телом лучистой энергии, но и изменение ее спектрального состава. При этом увеличивается доля видимого излучения, имеющего более короткие волны. Тело начинает светиться сначала

вишнево-красным, затем красным, оранжевым и, наконец, белым светом. На этом принципе и основана работа электрических ламп накаливания.

При протекании тока через нить накала лампы она нагревается. Нить накала изготавливают из тугоплавкого металла - вольфрама (температура плавления около 3400°C), которая нагревается до температуры $2500\text{-}2700^{\circ}\text{C}$. Чем выше температура нити накала, тем больше света она излучает. Лампы накаливания имеют низкий КПД, так как только от 3 % до 5 % от потребляемой электроэнергии превращается в световую, а остальная часть рассеивается в виде тепла.

Для снижения потерь и увеличения площади светового излучения нить накала свертывается в спираль (рисунок 1.3).

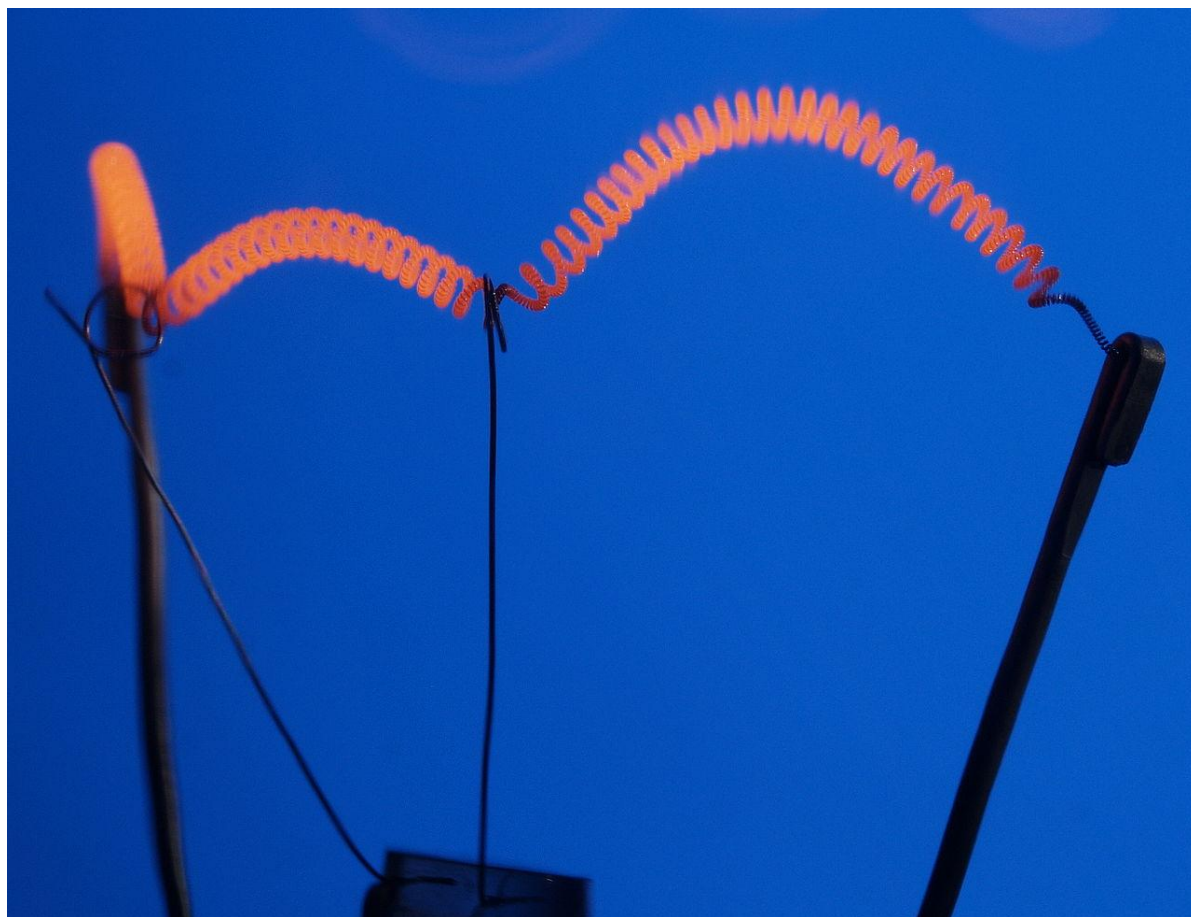


Рисунок 1.3 – Нить накала

В колбе ламп накаливания небольшой мощности (до 60 Вт) создается вакуум для уменьшения окисления нити накаливания и увеличения срока службы лампы. У более мощных ламп после откачки воздуха колба заполняется инертными газами и их смесями (аргон, азот). Газовая среда, окружая раскаленную вольфрамовую нить, уменьшает скорость ее испарения, увеличивая срок службы и создавая условия для повышения температуры нити накала, а, следовательно, увеличения светового потока. В некоторых случаях, колбы ламп могут заполнять криптоново-ксеноновой смесью, которая дает возможность поднять температуру нити и ее световой поток еще выше. Основными характеристиками ЛН являются:

- номинальное напряжение;
- электрическая мощность;
- световой поток;
- световая отдача;
- средняя продолжительность горения.

Номинальным напряжением лампы называется напряжение питающей сети, при котором лампа может работать в течение заявленного срока службы. Наиболее широко применяются лампы напряжением 127 и 220 В, а для местного освещения - 12 и 36 В.

Под номинальной мощностью лампы понимают электрическую мощность, потребляемую лампой при включении ее на номинальное напряжение. Мощность лампы указывается на колбе.

Световой поток лампы накаливания зависит от потребляемой ей мощности и температуры нити накала. При работе лампы вольфрамовая нить под действием высокой температуры постепенно испаряется и диаметр ее уменьшается. Это приводит к старению лампы - уменьшению потребляемой мощности и излучаемого светового потока. Кроме того, световой поток уменьшается и в ре-

зультате испарения частиц вольфрама, которые, оседая на внутренние части колбы, делают ее менее прозрачной.

С учетом этих факторов допускается снижение светового потока ламп накаливания на 15 % за срок, равный 75 % от номинального срока службы лампы.

Световая отдача лампы характеризуется отношением излучаемого ею светового потока F к электрической мощности P , потребляемой лампой, лм/Вт:

$$\psi = \frac{F}{P} \quad (1.11)$$

Параметр световой отдачи характеризует энергоэффективность лампы. У ламп накаливания световая отдача возрастает с увеличением их мощности. Лампы большой мощности обладают более толстой нитью накала и допускают более высокую температуру нагрева нити, а, следовательно, имеют более высокую светоотдачу.

Величины светового потока и световой отдачи для наиболее часто встречающихся номиналов мощностей ламп накаливания представлены в таблице 1.1

Таблица 1.1. – Характеристики ламп накаливания

Мощность лампы, Вт	Световой поток, лм	Световая отдача, лм/Вт
5	20	4
10	50	5
15	90	6
25	220	8
40	420	10
60	710	11
75	935	12
100	1350	13
150	1950	13
200	2500	13

Срок службы ЛН при отсутствии механических воздействий определяется временем разрушения нити накала вследствие испарения вольфрама под действием высокой температуры. Средний срок службы нормальных ЛН составляет 1000 часов горения при условии поддержания неизменного номинального напряжения. При этом в конце срока горения световой поток, излучаемый ЛН, должен составлять не менее 85 % от первоначального значения. Световой поток, световая отдача и срок службы лампы существенно зависят от величины подводимого к ней напряжения (рисунок 1.4). Так при уменьшении напряжения на 5 % от номинального - световой поток составляет 84 %; световая отдача - 90 %; срок службы - 160 % от номинальных значений. При увеличении напряжения на 5 % выше номинального - световой поток равен 119 %; световая отдача - 110 %; а срок службы составляет 60 % от номинальных значений.

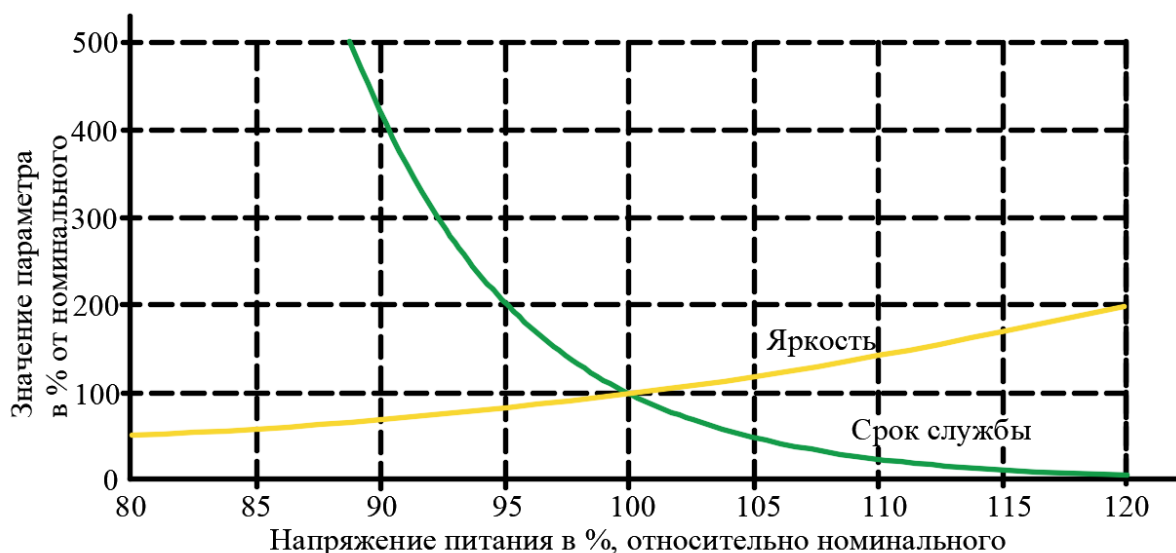
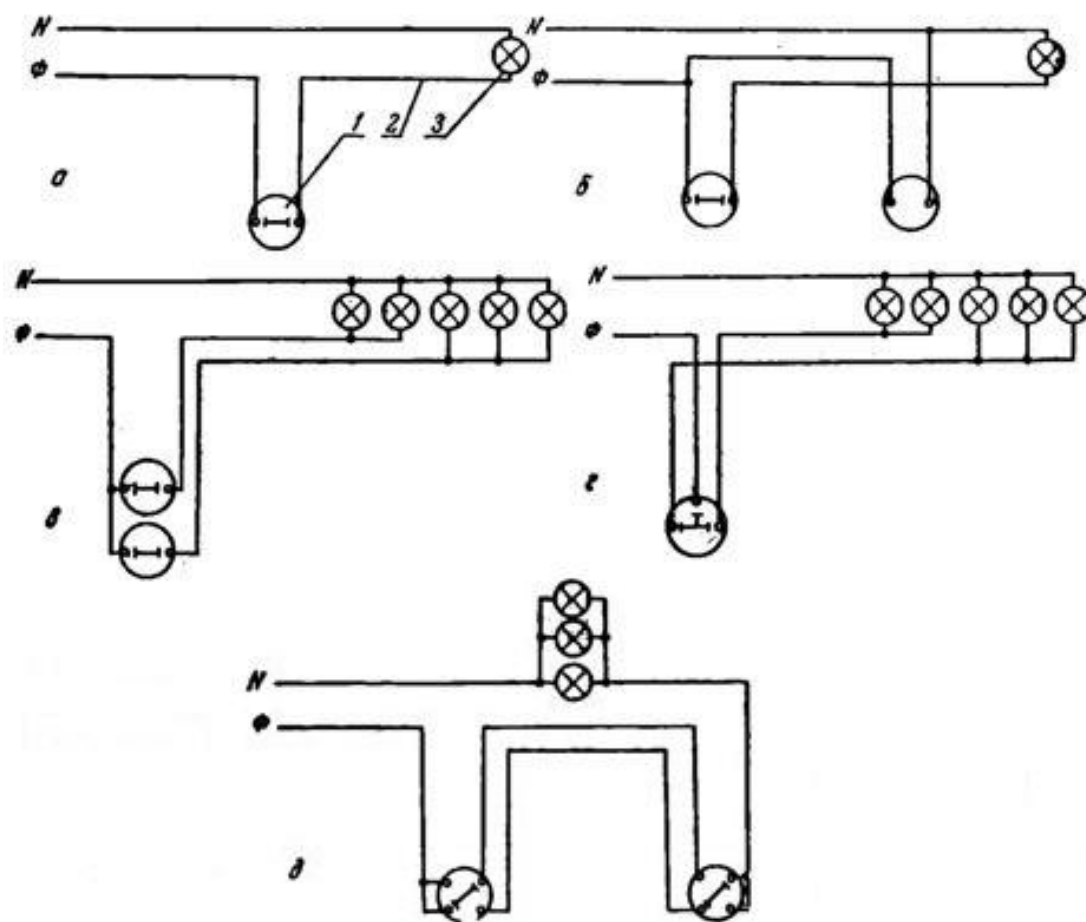


Рисунок 1.4 – Зависимость срока службы и яркости лампы накаливания от величины подводимого к ней напряжения

Исходя из рисунка 1.4, можно сказать, что при снижении напряжения в сети световая отдача и световой поток значительно уменьшаются, в то время как срок службы возрастает. При увеличении напряжения в сети световая отдача возрастает, а срок службы резко снижается. Снижение напряжения питания

ЛН также приводит к изменению спектра ее излучения. При этом освещаемые предметы кажутся окрашенными в другие цвета.

Существующие схемы включения ламп накаливания представлены на рисунке 1.5.



- а — с одной лампой; б — с лампой и розеткой;
- в — в люстре с двойным выключателем; г — в люстре с переключателем;
- д — коридорная схема включения ламп накаливания

Рисунок 1.5 – Схемы включения ламп накаливания

При монтаже осветительного устройства из соображений техники безопасности следует помнить, что нулевой провод должен подключаться к резьбовому цоколю патрона; выключатель должен быть включен в фазный провод. Если эти правила выполнены, случайное прикосновение к цоколю патрона

(например, при замене лампы) не вызовет несчастного случая даже при включенном выключателе, так как нулевой провод заземлен.

Разновидностью обычных ЛН являются кварцевые галогенные лампы. Лампа представляет собой цилиндр (колбу) небольшого диаметра (от 7 мм до 12 мм), изготовленный из тугоплавкого кварцевого стекла, наполненный определенным количеством йода и очищенным инертным газом (аргоном, ксеноном или криптоном). Вольфрамовая нить располагается по оси цилиндра. Под действием высокой температуры нити накала пары йода перемещаются к нагретым до определенной температуры стенкам цилиндра. Пары йода, соприкасаясь со стенками кварцевой колбы лампы, образуют с частицами вольфрама, осевшими на колбе в результате испарения вольфрама, газообразное вещество - йодистый вольфрам. Это соединение, прикасаясь к раскаленной нити, разлагается на йод и вольфрам. Йод снова включается в цикл работы лампы, а вольфрам опять оседает на нити. За счёт такого цикла увеличивается срок службы лампы. По сравнению с обычными лампами накаливания, галогенные имеют на величину от 15 % до 20 % более высокую световую отдачу и в два раза более высокий срок службы.

1.2.2 Газоразрядные лампы

К газоразрядным лампам относятся трубчатые люминесцентные лампы низкого давления (ЛЛ), ртутные лампы высокого давления (ДРЛ), металлогаллоидные (ДРИ), ксеноновые (ДКсТ) и натриевые (ДНаТ) низкого и высокого давления.

1.2.2.1 Люминесцентные лампы

Трубчатые люминесцентные лампы низкого давления (рисунок 1.6), получившие широчайшее применение в осветительных установках, резко отличаются от ЛН по всем своим характеристикам. Лампы этого типа являются более энергоэффективными – их световая отдача достигает 75 лм/Вт.

Выпускаются ЛЛ мощностью 15, 20, 30, 40, 65 и 80 Вт. Их световая отдача находится в пределах от 44 лм/Вт до 75 лм/Вт. Средний срок службы ЛЛ составляет 10000 часов и, в основном, определяется сроком службы ее электродов.



Рисунок 1.6 - Трубоччатая люминесцентная лампа низкого давления (ЛЛ)

ЛЛ низкого давления представляет собой цилиндрическую стеклянную трубку, на концах которой в цоколях смонтированы вольфрамовые биспиральные электроды. На внутреннюю поверхность трубки по всей ее длине наносится тонкий слой твердого кристаллического порошкообразного вещества - люминофора. От компонентов, входящих в состав люминофора зависит цветность лампы. Длина и диаметр трубки определяется мощностью лампы и напряжением, на которое она рассчитана. После откачки воздуха внутрь колбы вводится небольшое количество (до 25 мг) ртути, которая испаряется при работе, и небольшое количество чистого газа аргона, служащего для уменьшения процесса испарения вольфрамовых электродов и облегчения зажигания лампы.

Физический принцип работы ЛЛ заключается в том, что под воздействием тлеющего электрического разряда пары ртути излучают невидимое глазу ультрафиолетовое излучение. Люминофор, которым покрыты внутренние стенки лампы улавливает ультрафиолетовое излучение и преобразует его в видимое человеческому глазу.

Аргон, находящийся в трубке до подключения тока, является хорошим изолятором, поскольку атомы и молекулы газа в обычных условиях представляют собой нейтральные незаряженные частицы.

Для прохождения электрического тока через газ необходимо создать в нем искусственную электрическую проводимость, которая достигается ионизацией. При включении ЛЛ в сеть процесс ионизации газа происходит за счет свободных электронов, испускаемых электродами, нагретыми до 800 °С (термоэлектронная эмиссия). Для увеличения выхода электронов из электродов вольфрамовые спирали покрываются тонким слоем окислов щелочно-земельных металлов (барий, стронций, калий). Электроны, вылетая из электродов лампы, при своем движении бомбардируют нейтральные атомы газа и превращают их в частицы, обладающие электрическим зарядом. Происходит ионизация газа, возрастает его электрическая проводимость.

В определенный момент в лампе возникает электрический разряд сначала в атмосфере разряженного аргона, а затем в парах ртути, вызывая сильное ультрафиолетовое излучение. Падая на порошкообразный светочувствительный слой люминофора, ультрафиолетовое излучение преобразуется в видимое световое, проникающее через стеклянные трубки в окружающее пространство.

Люминесцентные лампы выпускаются следующих типов:

- белого цвета (ЛБ);
- холодно-белого света (ЛХБ);
- дневного света (ЛД);
- дневного света улучшенной цветопередачи (ЛДЦ);
- тепло-белого света (ЛТБ);
- холодно-белого света улучшенной цветопередачи (ЛЕ или ЛХБЦ);

Для рекламы и иллюминации выпускаются также цветные лампы.

Небольшие изменения напряжения на зажимах ЛЛ практически не влияют на ее световой поток. При больших отклонениях напряжения (более вели-

чины от 10 % до 15 %) ЛЛ могут вообще не зажигаться, либо их зажигание сопровождается длительным миганием. Повышение напряжения приводит к увеличению давления паров ртути в лампе, вследствие этого снижается эффективность ее работы.

Колебания температуры окружающей среды также влияют на работу ЛЛ. Оптимальной температурой окружающей среды, при которой лампа излучает максимальный световой поток, является температура от 20°C до 25°C . При температурах окружающей среды близких к нулю зажигание ЛЛ сильно затрудняется, либо становится невозможным. Существенным недостатком ЛЛ являются периодические пульсации их светового потока во времени с частотой, равной удвоенной частоте тока. Благодаря зрительной инерции глаз не в состоянии заметить это непрерывное мелькание света, однако оно воспринимается мозгом и приводит к повышенной утомляемости, головным болям и прочим негативным последствиям.

Количественной характеристикой пульсации светового потока является коэффициент пульсации:

$$k_n = \frac{E_{\text{макс}} - E_{\text{мин}}}{2 \cdot E_{\text{ср}}} \cdot 100 \% \quad (1.12)$$

где $E_{\text{макс}}$, $E_{\text{мин}}$ и $E_{\text{ср}}$ - максимальное, минимальное и среднее значения освещенности за период колебания, лк.

Коэффициент пульсации люминесцентных ламп определяется состоянием пускорегулирующей аппаратуры и напряжением питающей сети и может достигать величины от 30 % до 40 %. При этом, стоит отметить, что согласно нормативным документам пульсации освещенности, частотой до 300 Гц, на рабочих местах не должны превышать 20 %, а в некоторых случаях (при работе с

ПЭВМ) – 5 %. В местах временного пребывания (коридоры, лестницы, переходы и т.п.) уровень пульсации не нормируется.

Существует несколько схем включения ЛЛ. Рассмотрим стартерную схему включения ЛЛ (рисунок 1.7).

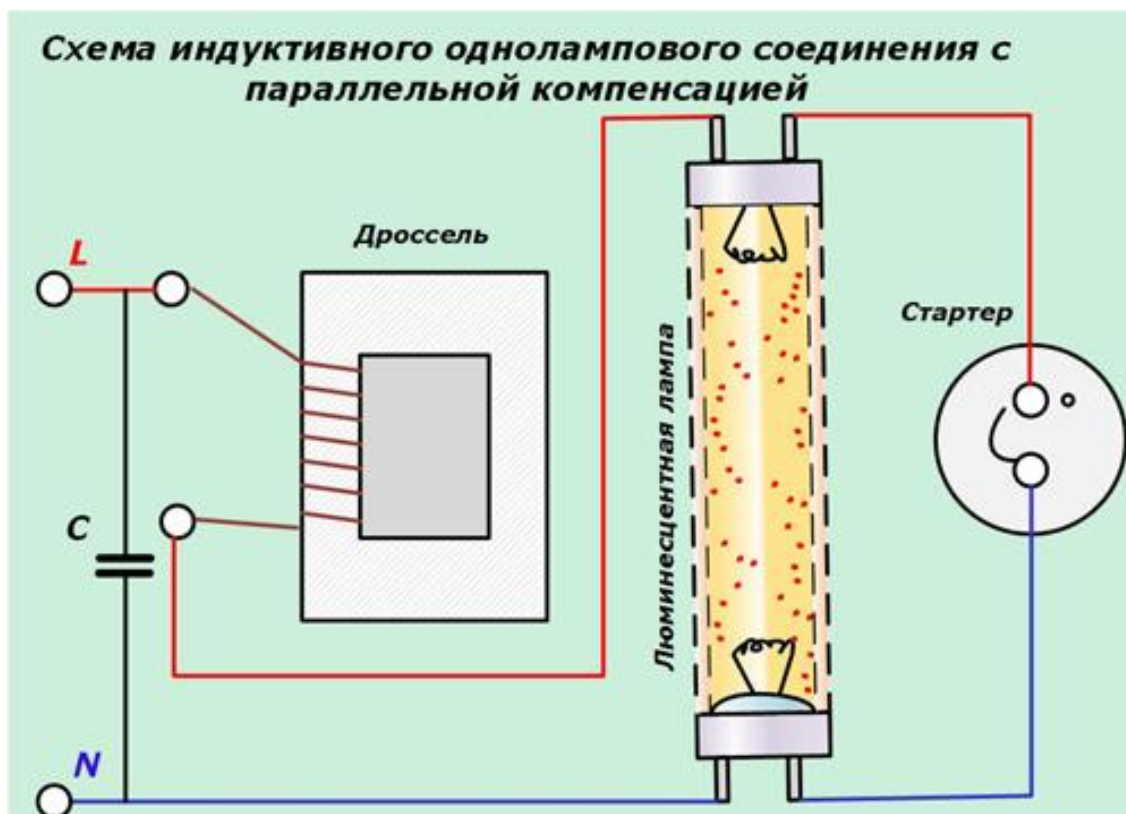


Рисунок 1.7 - Схема включения люминесцентной лампы

Для зажигания ЛЛ используются: стартер, добавочное сопротивление – дроссель и конденсатор. Стартер служит для автоматического включения и выключения предварительного накала электродов и представляет собой тепловое реле, помещенное в стеклянный баллон, наполненный инертным газом, чаще всего неоном.

Реле имеет два электрода, один из которых биметаллический, а другой – металлический. Между электродами имеется зазор величиной от 2 мм до 3мм.

Величина зазора, устанавливаемая заводом-изготовителем, зависит от напряжения сети, при этом напряжение зажигания неоновой лампы должно быть меньше напряжения сети и меньше напряжения зажигания ЛЛ с холодными электродами.

Дроссель, представляет собой обмотку, намотанную на сердечник из листовой стали. Он облегчает зажигание лампы, а также ограничивает ток и обеспечивает устойчивую работу лампы. Конденсатор служит для повышения коэффициента мощности от величины от 0,5 до 0,6 (из-за наличия дросселя) до 0,95.

Рассмотрим процесс зажигания лампы. В момент включения лампы в электрическую сеть, электроды лампы и стартера оказываются под полным напряжением сети. Однако этого напряжения сети недостаточно для зажигания лампы и, к тому же, в момент включения ее электроды не могут быть нагреты, поскольку цепь разомкнута. Но подведенного к зазору между электродами стартера напряжения достаточно, чтобы вызвать в нем тлеющий разряд. Под его действием биметаллическая пластинка нагревается и, изгибаясь, замыкает цепь стартера. Начинается процесс нагрева электродов лампы.

В результате нагрева электродов возникает термоэлектронная эмиссия, которая создает условия для зажигания лампы. Между тем тлеющий разряд в стартере прекращается и биметаллическая пластина, остывая, выпрямляется и затем размыкает электрическую цепь. Благодаря наличию в цепи дросселя с большой индуктивностью в момент размыкания возникает импульс повышенного напряжения, который вызывает мощный дуговой разряд и зажигание лампы. При этом напряжение на лампе становится меньше, чем напряжение сети.

Стартер, включенный параллельно лампе, оказывается под тем же уменьшенным напряжением, которого недостаточно, чтобы вызвать в нем новый разряд. Поэтому во время нормальной работы ЛЛ стартер бездействует.

Данная схема зажигания ЛЛ имеет следующие недостатки:

-габариты дросселя требуют создания отдельного корпуса для пускорегулирующей аппаратуры, занимающего определенное пространство. При работе дроссель может издавать шумы.

-конструкция стартера не отличается надежностью. Периодически лампы гаснут из-за его неисправностей. При отказе стартера происходит фальстарт, когда можно визуально наблюдать несколько вспышек до начала стабильного горения. Это явление уменьшает ресурс нитей накала.

-электромагнитные ПРА из-за высоких потерь энергии снижают КПД.

Поэтому в современных условиях используют электронные ПРА (ЭПРА).

Рассмотрим особенности работы люминесцентной лампы с ЭПРА (рисунок 1.8).

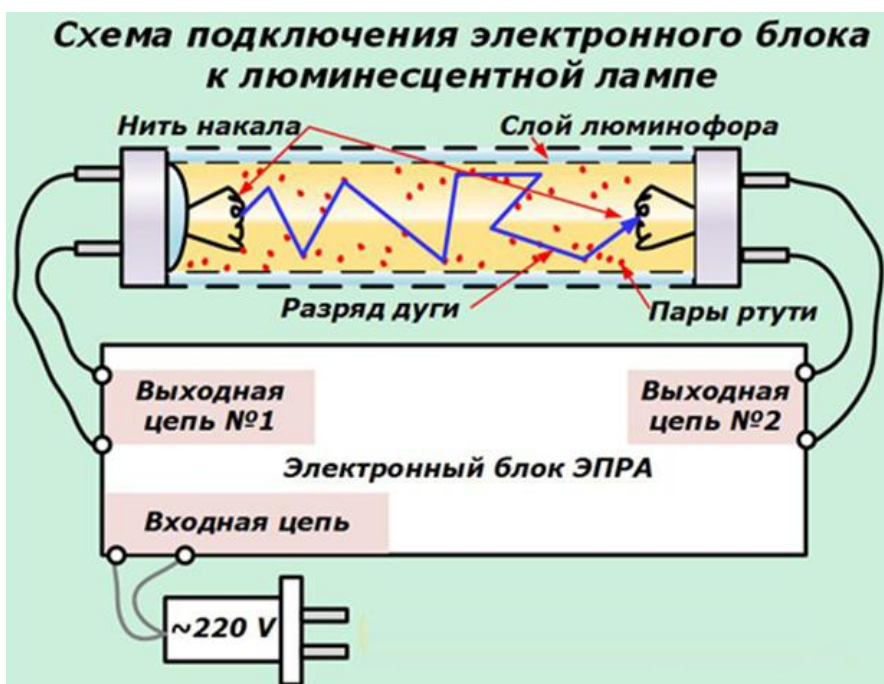


Рисунок 1.8 – Схема включения ЛЛ через ЭПРА

Рассмотрим устройство электронного ПРА (рисунок 1.9). Конструктивно электронный блок состоит из нескольких частей:

-фильтра, устраняющего и блокирующего электромагнитные помехи, поступающие из питающей сети в схему или создаваемые электронным блоком при работе;

- выпрямителя синусоидальных колебаний;
- схемы коррекции мощности;
- сглаживающего фильтра;
- инвертора;
- электронного балласта (аналог дросселя).

Для обеспечения надежного зажигания люминесцентной лампы алгоритмы ЭПРА разбиты на 3 этапа:

- 1) Подготовительный этап, связанный с первоначальным нагревом электродов с целью увеличения термоэлектронной эмиссии;
- 2) Поджигание дуги подачей импульса высоковольтного напряжения;
- 3) Обеспечение стабильного протекания дугового разряда.

Такая технология позволяет быстро включать лампу в работу даже при отрицательной температуре, обеспечивает мягкий запуск и выдачу минимально необходимого напряжения между нитями накала для хорошего свечения дуги.

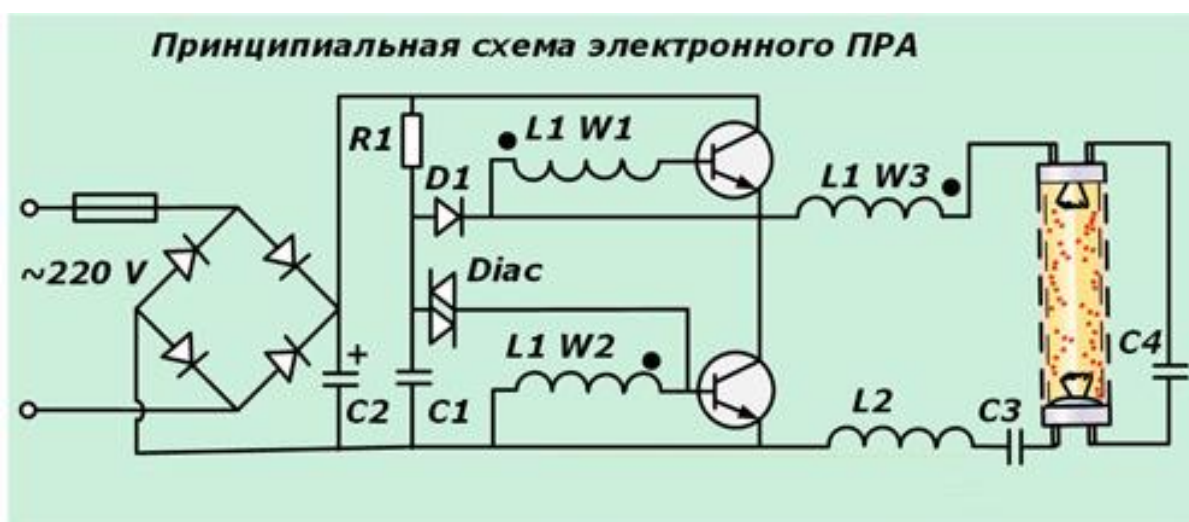


Рисунок 1.9 – Устройство электронного ПРА

Диодный мост на входе выпрямляет переменное напряжение. Пульсации выпрямленного напряжения сглаживаются конденсатором C_2 . После него работает двухтактный инвертор, включенный по полумостовой схеме.

В его состав входят 2 n-p-n транзистора, создающие колебания высокой частоты, которые управляющими сигналами подаются в противофазе на обмотки W_1 и W_2 трехобмоточного тороидального высокочастотного трансформатора L_1 . Его оставшаяся обмотка W_3 выдает высокое резонансное напряжение на люминесцентную лампу.

Таким образом, при включении питания до начала зажигания лампы в резонансном контуре создается максимальный ток, который обеспечивает нагрев обеих нитей накала.

Параллельно лампе подключен конденсатор C_4 . На его обкладках создается резонансное напряжение высокого значения. Оно запускает электрическую дугу в среде инертных газов. Под ее действием обкладки конденсатора закорачиваются и резонанс напряжений прерывается. Лампа выходит на номинальный режим работы.

1.2.2.2 Дуговые ртутные лампы высокого давления типа ДРЛ

Для освещения больших и высоких (более 6 м) производственных помещений, в которых не требуется правильной цветопередачи, а также для освещения улиц, площадей применяют дуговые ртутные лампы высокого давления типа ДРЛ. В обычных ртутных лампах при разряде в парах ртути спектр излучения характеризуется отсутствием лучей красного цвета, вследствие чего цветность освещаемых предметов и, в частности, человеческого лица резко искажается. В связи с этим в лампах ДРЛ применяется специальный люминофор, который под действием ультрафиолетовых лучей разряда излучает свет оранжево-красного цвета, который добавляет к излучению лампы ДРЛ недостающую красную составляющую спектра. Этим самым исправляется цветность излучения лампы ДРЛ.

Конструктивно лампа ДРЛ состоит из кварцевой газоразрядной трубки (горелки), которая заполнена аргоном с добавлением дозированной капли ртути, облегчающими процесс зажигания лампы (рисунок 1.10).



Рисунок 1.10 - Дуговая ртутно-кварцевая лампа высокого давления с исправленной цветностью типа ДРЛ

В торцах трубки впаяны два основных вольфрамовых электрода (двухэлектродная лампа), либо к двум основным электродам дополнительно подключаются два дополнительных электрода, облегчающих возникновение разряда между двумя основными электродами (четырёхэлектродная лампа).

Кварцевая трубка помещается в колбе, изготовленной из тугоплавкого стекла, покрытого люминофором. Для обеспечения охлаждения кварцевой горелки пространство между ней и стеклянной колбой заполняется инертным газом, обычно азотом.

Схема включения лампы ДРЛ представлена на рисунке 1.11.

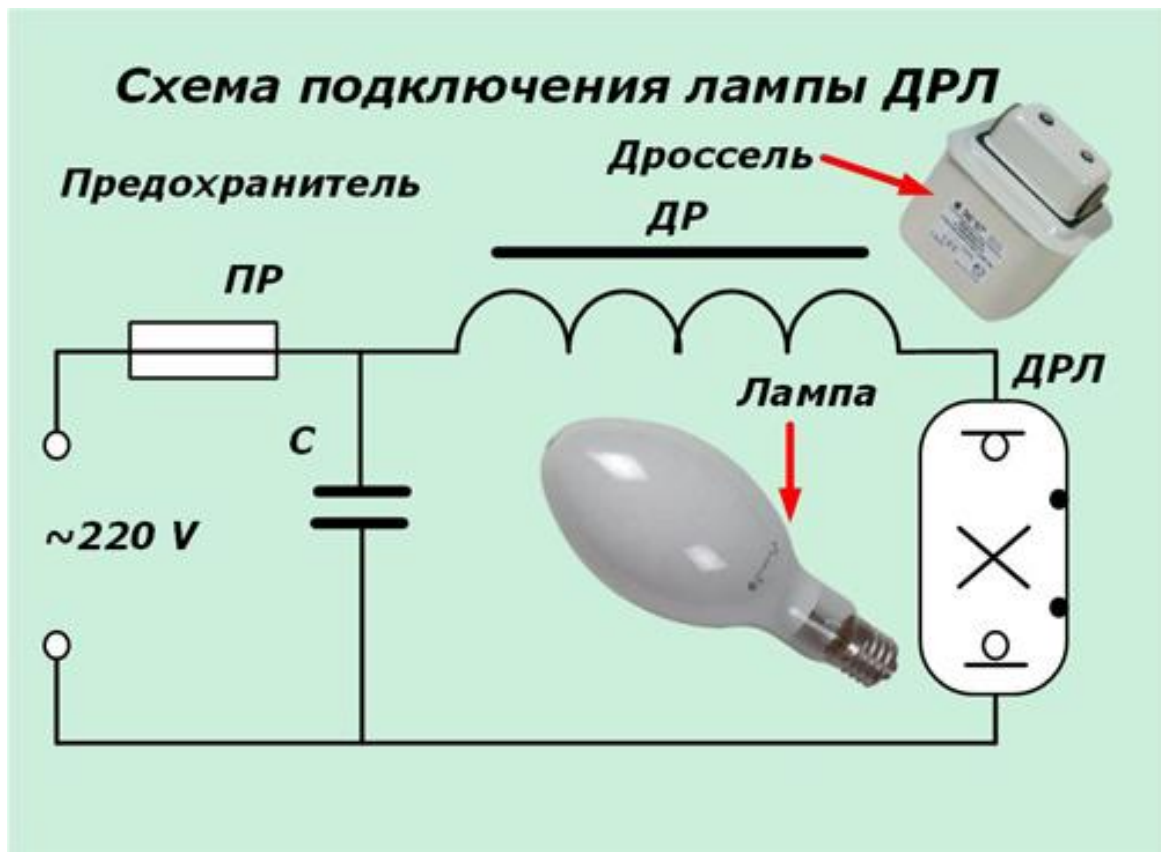


Рисунок 1.11 – Схема включения лампы ДРЛ

Физические процессы, происходящие в лампе ДРЛ при ее горении, не отличаются от процессов, происходящих в рассмотренных ранее люминесцентных лампах. Отличие состоит в схеме зажигания. Для зажигания лампы ДРЛ питающего напряжения сети недостаточно.

Для создания дугового разряда внутри горелки необходимо к межэлектродному пространству приложить высоковольтный импульс. Функцию формирования высоковольтного импульса выполняет ИЗУ — импульсное зажигающее устройство.

Принцип действия устройства создания высоковольтного импульса условно можно представить упрощенной принципиальной схемой, показанной на рисунке 1.12.

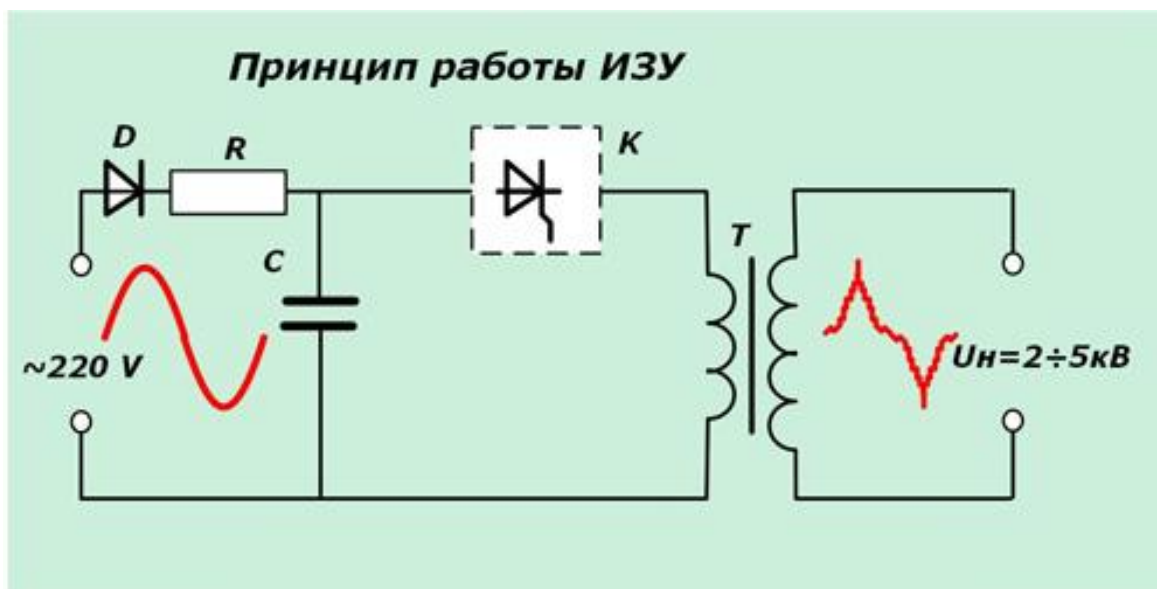


Рисунок 1.12 - Принцип действия устройства создания высоковольтного импульса

Рабочее напряжение питания подводится на вход схемы. Через диод D , резистор R происходит зарядка конденсатора C . По окончании заряда через открывшийся тиристорный ключ, конденсатор разряжается на обмотку подключенного трансформатора T .

В повышающей напряжением выходной обмотке трансформатора создается высоковольтный импульс величиной от 2 кВ до 5 кВ. Он поступает на контакты лампы и создает дуговой разряд в газовой среде, обеспечивающий зажигание лампы.

Рассмотрим схемы включения лампы ДРИ (рисунки 1.13 и 1.14).



Рисунок 1.13 – Схема включения лампы ДРИ с двухконтактным ИЗУ



Рисунок 1.14 - Схема включения лампы ДРИ с трехконтактным ИЗУ

Основное преимущество четырехэлектродной лампы ДРЛ, по сравнению с двухэлектродной, состоит в том, что для ее зажигания не требуется специального поджигающего устройства (разрядник, выпрямитель, зарядное сопротивление и конденсатор), что упрощает схему включения лампы в электрическую

сеть. Нашей промышленностью выпускаются лампы ДРЛ на напряжение 220 В мощностью 250, 500, 1000 Вт – четырехэлектродными.

Средняя продолжительность горения двухэлектродных ламп ДРЛ составляет 5000 часов, а четырехэлектродных – 10000 часов.

1.2.3 Энергосберегающие лампы

К энергосберегающим лампам относятся компактные люминесцентные лампы (КЛЛ) (рисунок 1.15, а), индукционные лампы (рисунок 1.15, б) и светодиодные лампы (рисунок 1.15, в).



а) компактная люминесцентная; б) индукционная; в) светодиодная

Рисунок 1.15 – Энергосберегающие лампы

1.2.3.1 Компактные люминесцентные лампы (КЛЛ)

Работа такой лампы осуществляется так же, как и ЛЛ, то есть при работе компактной люминесцентной лампы между двумя электродами, находящимися в противоположных концах лампы, возникает низкотемпературный дуговой разряд. Лампа заполнена инертным газом и парами ртути, проходящий ток приводит к появлению ультрафиолетового излучения. Это излучение невидимо

для человеческого глаза, поэтому его преобразуют в видимый свет с помощью явления люминесценции. Внутренние стенки лампы покрыты специальным веществом — люминофором, которое поглощает ультрафиолетовое излучение и излучает видимый свет. Изменяя состав люминофора, можно менять оттенок свечения лампы. В качестве люминофора используют в основном галофосфаты кальция и ортофосфаты кальция-цинка. Срок службы КЛЛ составляет от 8000 до 10000 часов.

1.2.3.2 Индукционные лампы

Принцип работы такой лампы заключается в следующем: электронный балласт вырабатывает высокочастотный ток, протекающий по индукционной катушке на магнитном кольце или стержне. Электромагнит и индукционная катушка создают газовый разряд в высокочастотном электромагнитном поле, и под воздействием ультрафиолетового излучения разряда происходит свечение люминофора. Конструктивно и по принципу работы лампа напоминает трансформатор, где имеется первичная обмотка с высокочастотным током и вторичная обмотка, которая представляет собой газовый разряд, происходящий в стеклянной трубке (рисунок 1.16).

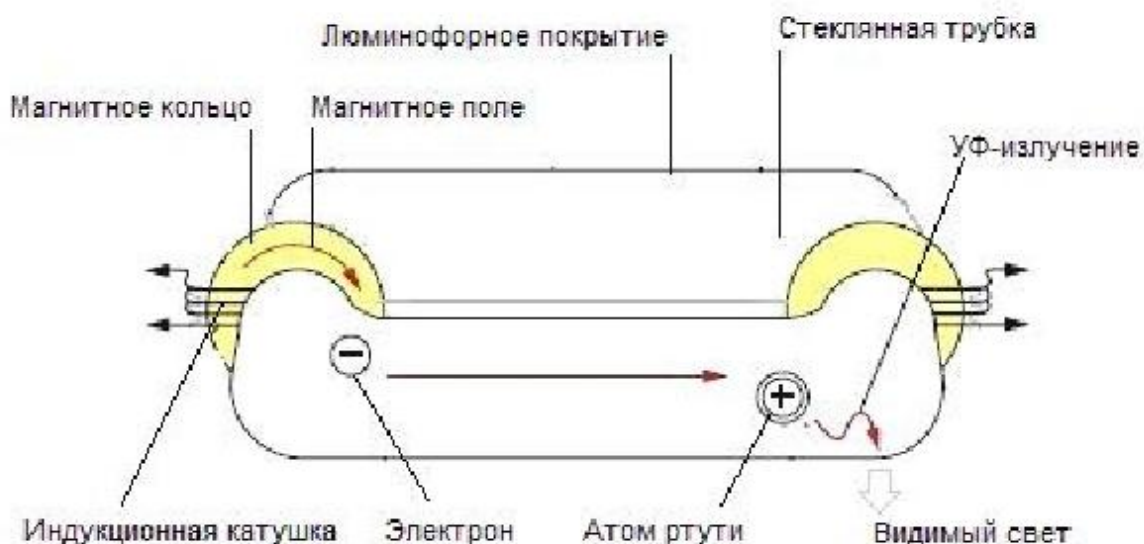


Рисунок 1.16 – Принцип работы индукционной лампы

К достоинствам индукционных ламп следует отнести более высокий срок службы (до 80 тысяч часов), связанный в первую очередь с отсутствием электродов, а к недостаткам – высокую цену и наличие электромагнитного поля вблизи лампы.

1.2.3.3 Светодиодные лампы

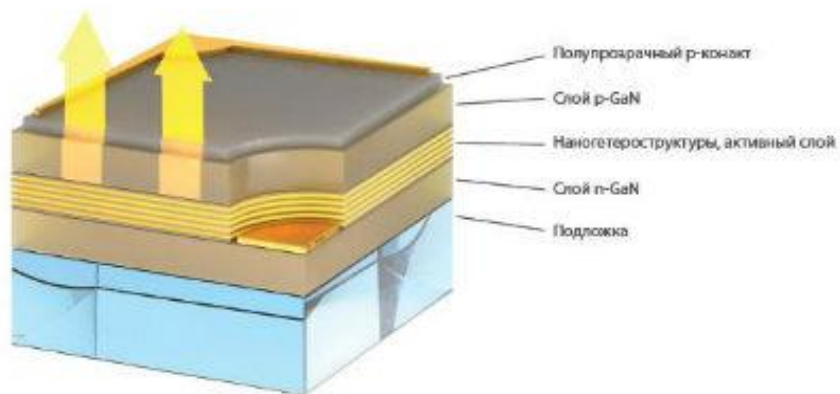
Светодиод или светоизлучающий диод (СД, СИД, LED англ. *Light-emitting diode*) — полупроводниковый прибор с электронно-дырочным переходом или контактом металл-полупроводник, создающий оптическое излучение при пропускании через него электрического тока. Излучаемый свет лежит в узком диапазоне спектра, его спектральные характеристики зависят, в том числе, от химического состава использованных в нём полупроводников.

При пропускании электрического тока через р-п переход в прямом направлении, носители заряда — электроны и дырки — рекомбинируют с излучением фотонов (из-за перехода электронов с одного энергетического уровня на другой). Строение и принцип действия светодиода представлены на рисунке 1.17.

Основной проблемой эксплуатации светодиодных ламп является их высокая стоимость, они - самые дорогие среди энергосберегающих ламп. Данный недостаток будет решен только при увеличении производства ламп отечественного производителя, что значительно сократит их стоимость.

В настоящий момент светодиодные источники света следует считать самыми перспективными – световая отдача лабораторных образцов превышает 200 лм/Вт, а для имеющихся в продаже источников света этот параметр достигает 120-140 лм/Вт. Стоит также отметить, что в светодиодных лампах не содержится ртути и прочих вредных веществ, а также их высокий срок службы.

СТРОЕНИЕ СВЕТОДИОДА



Принцип действия светодиода



Рисунок 1.17 – Строение и принцип действия светодиода

1.3 Осветительные приборы

Источники света (ИС) в комбинации с осветительной арматурой носят название осветительный прибор.

Осветительные приборы можно разделить на осветительные приборы ближнего и дальнего действия. Осветительные приборы, расположенные от освещаемых объектов не больше, чем на расстояние от 20 м до 30 м, носят название светильников, свыше этого расстояния – прожекторов. Осветительная арматура светильника выполняет следующие функции:

- а) рационально распределяет световой поток, излучаемый источником света;
- б) защищает глаза наблюдателя от чрезмерной яркости источников света;
- в) предохраняет ИС от механических повреждений и загрязнения;
- г) является конструкцией для крепления ИС и подвода питания.

Светильники могут классифицироваться по многим признакам, например: по распределению светового потока, по роду защиты от окружающей среды, по целевому назначению (светильники общего и местного освещения, светильники внутреннего и наружного освещения), по способу установки (подвесные, потолочные, настенные) и т.д.

1.3.1 Светотехнические характеристики светильников

Светотехническими характеристиками светильников являются их кривые силы света, соотношение потоков, излучаемых в нижнюю и верхнюю полусферы, КПД и защитные углы.

1.3.1.1 Кривая силы света

Кривая силы света (КСС)– это графическое представление распределения силы света в пространстве:

$$I = f(\alpha, \beta), \quad (1.13)$$

где I – сила света, кд;

α, β – продольный и поперечный угол распространения светового потока.

КСС наглядно показывает, каким образом распределяется в пространстве световой поток источника света. Основные типы КСС показаны в таблице 1.2, их графическое представление показано на рисунке 1.18.

Таблица 1.2 – Типовые КСС

Обозначение	Расшифровка	Зона направления максимальной силы света
К	Концентрированная	0-15°
Г	Глубокая	0-30°; 180-150°
Д	Косинусная	0-35°; 180-145°
Л	Полуширокая	35-55°; 145-125°
Ш	Широкая	55-85°; 125-95°
М	Равномерная	0-180°
С	Синусная	70-90°; 110-90°

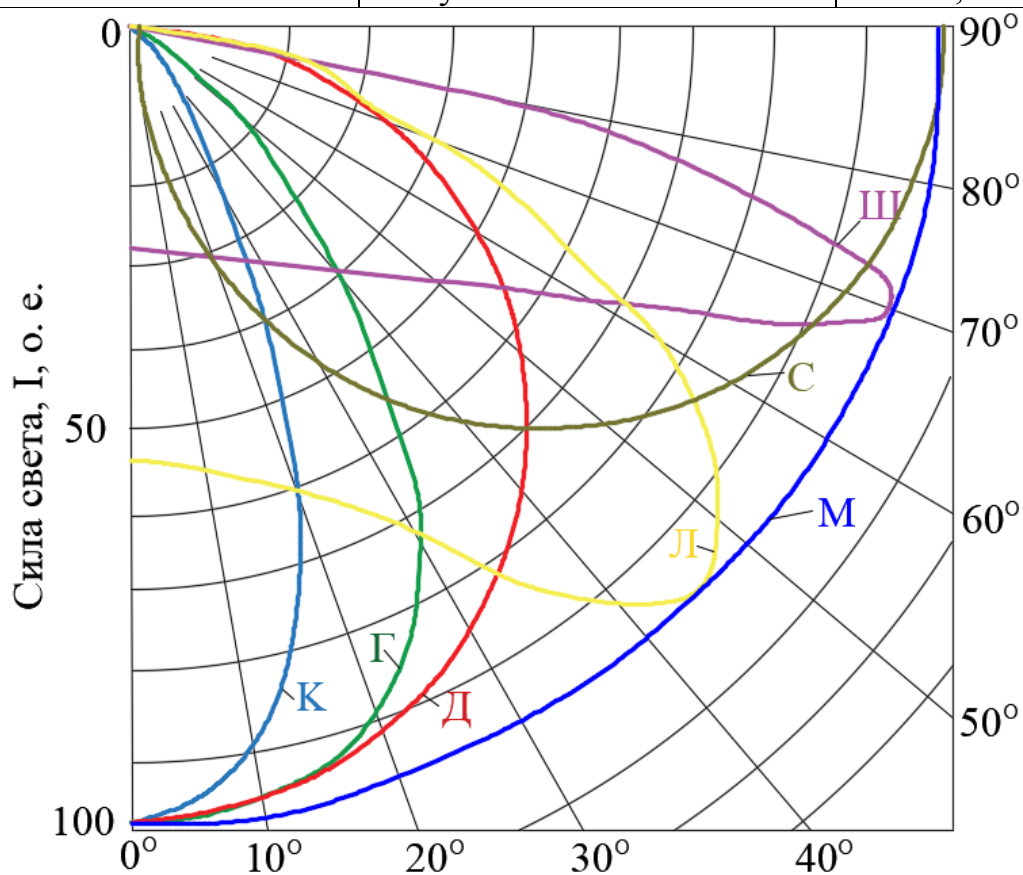


Рисунок 1.18 – Типовые КСС

Для освещения производственных помещений рекомендуется применять светодиодные светильники (светильники направленного света) или прожекторов с КСС типа "К", "Г", "Д". Причем чем выше подвес, тем уже зона направления максимальной силы света. Для общего освещения офисов в основном годятся светодиодные светильники прямого и рассеянного света с КСС типа "Г" и "Д".

Для подсветки магазинных витрин, архитектурных решений и деталей интерьера подходят световые приборы с КСС типа "К". Для формирования отраженного или приглушенного света (например, в холле здания) необходимо применять светодиодные светильники преимущественно отраженного света, (КСС типа С), достигается применением матового рассеивателя.

Для освещения дорог и автотранспортных тоннелей, надземных и подземных пешеходных переходов, и вытянутых коридоров и проходов общественных зданий применимы светодиодные светильники, имеющие в одной из плоскостей КСС типа Л и Ш.

1.3.2 Классификация светильников по степени защиты

По степени защиты от пыли светильники подразделяют на следующие виды: открытый пылезащищенный, перекрытый пыленезащищенный, частично пылезащищенный, полностью пылезащищенный, частично пыленепроницаемый, полностью пыленепроницаемый.

По степени защиты от воды светильники делятся на следующие виды: водонезащищенный, каплезащищенный, дождезащищенный, брызгозащищенный, струезащищенный, водонепроницаемый, герметичный.

По степени защиты от взрыва светильники делятся на следующие виды: рудничный нормальный, повышенной надежности против взрыва, взрывобезопасный, взрывонепроницаемый.

Для классификации защищенности светильников от пыли и воды применяется международная система классификации IP, приведенная в таблице 1.3.

Таблица 1.3 - Разделение светильников по степени защиты IP

Степени защиты IP		IP x0	IP x1	IP x2	IP x3	IP x4	IP x5	IP x6	IP x7	IP x8
		Нет защиты	Вертикальные капли	Капли падающие под углом 15°	Брызги под углом 60°	Брызги со всех сторон	Струи со всех сторон	Сильные потоки	Временное погружение (до 1 м)	Полное погружение
IP 0x	Нет защиты	IP 00								
IP 1x	Частицы >50 мм	IP 10	IP 11	IP 12						
IP 2x	Частицы >12,5 мм	IP 20	IP 21	IP 22	IP 23					
IP 3x	Частицы >2,5 мм	IP 30	IP 31	IP 32	IP 33	IP 34				
IP 4x	Частицы >1 мм	IP 40	IP 41	IP 42	IP 43	IP 44				
IP 5x	Пыль частично	IP 50				IP 54	IP 55			
IP 6x	Пыль полностью	IP 60					IP 65	IP 66	IP 67	IP 68

Рассмотрим наиболее часто встречающиеся типы исполнения светильников.

IP20 - такие светильники могут применяться для внутреннего освещения в нормальной незагрязненной среде (рисунок 1.19). Типовые области применения: офисы, сухие и теплые промышленные цеха, магазины, театры.



Рисунок 1.19 – Светильник по степени защиты IP20

IP21 / IP22 - светильники могут применяться в неотапливаемых (промышленных) помещениях и под навесами, так как они защищены от попадания капель и конденсации воды (рисунок 1.20).



Рисунок 1.20 - Светильник по степени защиты IP21

IP23 - светильники могут применяться в неотапливаемых промышленных помещениях или снаружи (рисунок 1.21).



Рисунок 1.21 - Светильник по степени защиты IP23

IP43 / IP44 - светильники тумбовые и консольные для наружного уличного освещения (рисунок 1.22). Тумбовые светильники устанавливаются на небольшой высоте и защищены от проникновения внутрь мелких твердых тел, а также дождевых капель и брызг. Для промышленных светильников, используемых для освещения высоких цехов, и уличных светильников распространенной комбинацией является защита электрического блока по классу IP43 (для обеспечения безопасности), а оптического блока по классу IP54/IP65 (чтобы предотвратить загрязнение отражателя и лампы).



Рисунок 1.22 - Светильник по степени защиты IP43

IP50 - светильники для пыльных сред, защищенные от быстрого внутреннего загрязнения (рисунок 1.23). Снаружи светильники IP50 могут легко очищаться. На объектах пищевой промышленности следует применять закрытые светильники, в которых предусмотрена защита от попадания осколков стекла от случайно разбитых ламп в рабочую зону. Хотя степень защиты предусматривает обеспечение работоспособности самого светильника, она также означает, что отдельные частицы не могут выпасть из корпуса, что соответствует требованиям пищевой промышленности. Для освещения помещений с повышенной влажностью светильники с IP50 применять нельзя.



Рисунок 1.23 - Светильник по степени защиты IP50

IP54 - традиционный класс для водозащищенного исполнения (рисунок 1.24). Светильники можно мыть без каких-либо отрицательных последствий. Такие светильники также часто используют для освещения цехов пищевой промышленности, рабочих помещений с повышенным содержанием пыли и влаги, а также под навесами.



Рисунок 1.24 - Светильник по степени защиты IP54

IP60 - светильники полностью защищены от накопления пыли и могут использоваться в очень пыльной среде (предприятия по переработке шерсти и тканей, в каменоломнях) и для освещения предприятий пищевой промышленности (по соображениям, изложенным выше). Светильники в исполнении IP60 встречаются редко. Чаще там, где требуется IP60, применяют класс IP65/IP66.

IP65 / IP66 - светильники часто выпускаются в ударозащищенном исполнении. IP65/IP66 относятся к струезащищенным светильникам, которые применяются там, где для их очистки используются струи воды под давлением или в пыльной среде (рисунок 1.25).



Рисунок 1.25 - Светильник по степени защиты IP65

Хотя светильники не являются полностью водонепроницаемыми, проникновение влаги не оказывает никакого вреда на их функционирование

IP67 / IP68 - светильники этого класса можно погружать в воду. Могут применяться для подводного освещения бассейнов и фонтанов. Светильники для освещения палубы кораблей также соответствует этому классу защиты. Метод испытаний не подразумевает, что светильники с IP67/IP68 также удовлетворяют требованиям класса IP66/IP67.

Высокий уровень защиты от пыли и влаги обеспечивают настенные светильники - либо встроенные в стену, либо закрепленные на ее поверхности. Они могут работать как с лампами накаливания, КЛЛ, индукционными и светодиодными лампами, так и с галогенными лампами.

В отдельную группу уличных светильников входят светильники на опорах (столбах) и грунтовые светильники. Первые работают, в основном, с газоразрядными источниками света, вторые, кроме этого, с лампами накаливания, КЛЛ, индукционными и светодиодными лампами и галогенными лампами. Степень защиты этих групп должна составлять не ниже IP65 и IP67 соответственно.

Помимо описанного стандарта IP, для уличных источников света предельно актуальными являются характеристики ударопрочности (их же иногда называют антивандальными). Степени защиты светильника от ударов прописаны в европейском стандарте EN 50102. Несмотря на то, что идеальных светильников не существует (любой вандал теоретически сможет одолеть любой светильник, если поставит себе это в качестве жизненной цели), наивысшая степень защиты IK10 все же названа "вандалостойкой", а две предшествующие IK08 и IK09 - "вандалозащищенными".

Цифры после IK означают определенную силу удара в джоулях. К примеру, по расчетам специалистов, упроченный светильник с кодом IK07 спосо-

бен принять удар полукилограммового кирпича, упавшего с высоты полметра, что соответствует энергии 2 Дж. При этом подразумевается, что светильник после такого испытания будет продолжать не только выполнять свои функции, но также будет отвечать требованиям электрической безопасности и сохранит степень защищенности IP, которая у него имеется. Кстати, вмятины и деформации корпуса не служат причиной для понижения кода IK.

Расшифровка классов ударопрочности светильников кода IK представлена в таблице 1.4.

Таблица 1.4 - Расшифровка классов ударопрочности светильников кода IK

БГ код	Энергия удара	Описание	Пример
1	2	3	4
IK00			
IK01	0,15 Дж		
IK02	0,2 Дж	Стандартный	Стандартный открытый светильник
			Закрытый светильник с плафоном из полиметилметакрилата
IK03	0,3 Дж		
IK04	0,5 Дж	Прочнее стандартного	Открытый светильник с упрощенной оптической системой
IK05	0,7 Дж		
IK06	1 Дж		
IK07	2 Дж	Упрочненный	
IK08	5 Дж	Вандалозащищенный	Закрытый светильник с плафоном из поликарбоната или стекла
IK09	10 Дж		
IK10	20 Дж	Вандалостойкий	Закрытый светильник

2 Светотехнический расчет освещения

Задачей расчета освещения является определение числа и мощности ИС, необходимых для создания нормированной освещенности на освещаемой поверхности или определение фактической освещенности в любой точке поверхности от установленных источников света.

Для помещений, в которых предусматривается общее равномерное освещение горизонтальных поверхностей, рассчитывают освещение методом коэффициента использования светового потока. По этому методу расчетная освещенность на горизонтальной поверхности определяется с учетом как светового потока, падающего от светильников непосредственно на освещаемую поверхность, так и отраженного от стен, потолка и самой освещаемой поверхности.

В светотехнической части расчета осветительной установки рассматриваются следующие вопросы:

- а) выбор источников света;
- б) выбор видов и системы освещения;
- в) выбор освещенностей и коэффициента запаса;
- г) выбор осветительных приборов;
- д) выбор расположения осветительных приборов;
- е) расчеты освещения.

Светотехнический расчет предполагает следующие этапы:

- 1 Выбор вида освещения (рабочее и аварийное)
- 2 Выбор системы освещения (общее, местное, комбинированное)
- 3 Выбор типа источников света (ЛН, ДРЛ, ЛЛ и т.д.)
- 4 Выбор освещенности (в зависимости от разряда работ)

- 5 Выбор коэффициента запаса (в зависимости от помещения)
- 6 Выбор типа осветительных приборов (светильников)
- 7 Выбор высоты подвеса светильников
- 8 Выбор расположения светильников в плане помещения
- 9 Определение светового потока ламп или принятой освещенности
- 10 Выбор мощности ламп источников света, обеспечивающих световой поток
- 11 Определение суммарной установленной мощности источников света
- 12 Проверка правильности расчета

2.1 Выбор источников света

Благодаря высокой световой отдаче, большому сроку службы, а также достаточно хорошей цветопередаче за последние годы основными источниками света широкого применения стали люминесцентные лампы. Их применяют для освещения помещений, где необходимо правильное различение цветовых оттенков; производственных помещений, в которых выполняется работа большой и средней точности (школы, учебные заведения, проектно-конструкторские бюро и т.д.); помещений административных, торговых и т.п. зданий.

В зависимости от назначения освещаемых помещений и вида производимых в них работ выбираются соответствующие типы ЛЛ, которые были рассмотрены в разделе 1.2.2.1.

Лампы накаливания постепенно вытесняются более энергоэффективными источниками света, но, благодаря невысокой стоимости, они всё еще применяются для освещения помещений с особо тяжелыми условиями среды; жилых зданий; помещений детских учреждений и т.д.

Ртутные лампы ДРЛ, обладающие большим единичным световым потоком, находят применение для освещения больших производственных помещений высотой более 6 м, в которых не требуется различать цветовые оттенки. При их применении резко снижается количество устанавливаемых осветительных приборов, а это приводит к упрощению распределительной сети, уменьшению монтажных работ и снижению расходов на эксплуатацию.

2.2 Выбор системы и видов освещения

2.2.1 Системы освещения

Все виды и системы производственного освещения можно представить с помощью рисунка 2.1. При устройстве осветительных установок могут применяться две системы освещения: система общего освещения и система комбинированного освещения. Качество и экономичность осветительной установки во многом зависят от правильности выбора системы освещения.

Система общего освещения применяется для освещения всего помещения в целом и, в том числе, рабочих поверхностей. Общее освещение может осуществляться двумя способами: с равномерным размещением светильников и неравномерным. Общее освещение с равномерным размещением светильников применяется, когда в производственных помещениях технологическое оборудование расположено равномерно по всей площади с одинаковыми условиями зрительной работы (рисунок 2.2), либо, когда необходимо обеспечить равномерность освещения по всей площади.

При общем освещении происходит равномерное распределение света по всей площади. Как правило, для организации общего равномерного освещения светильники располагают на равном расстоянии друг от друга.

При расположении источника света в одной точке, будет наблюдаться разница в яркости света, но резкие перепады будут отсутствовать. Примером может послужить расположенная посередине потолка люстра.

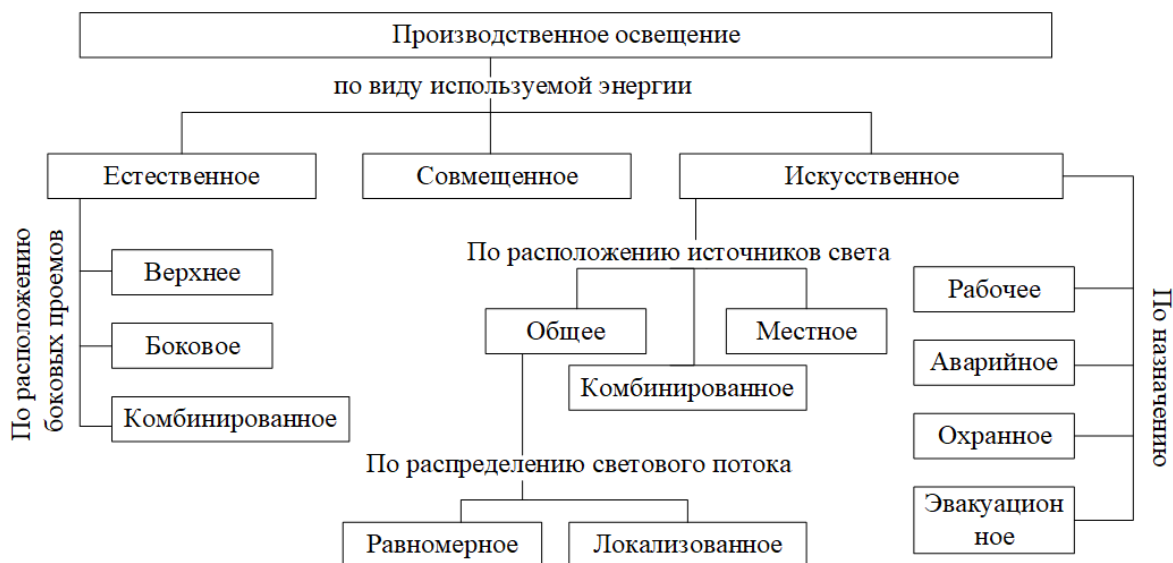


Рисунок 2.1 – Виды и системы производственного освещения



Рисунок 2.2 - Общее освещение с равномерным размещением светильников

КОВ

Система комбинированного освещения применяется в помещениях с тонкими зрительными работами, требующими высокой освещенности. При такой системе освещения часть светильников освещает только рабочие места (местное освещение), а другая часть – освещает все помещение, главным образом, проходы и коридоры (общее освещение).

Все системы освещения представлены на рисунке 2.3.

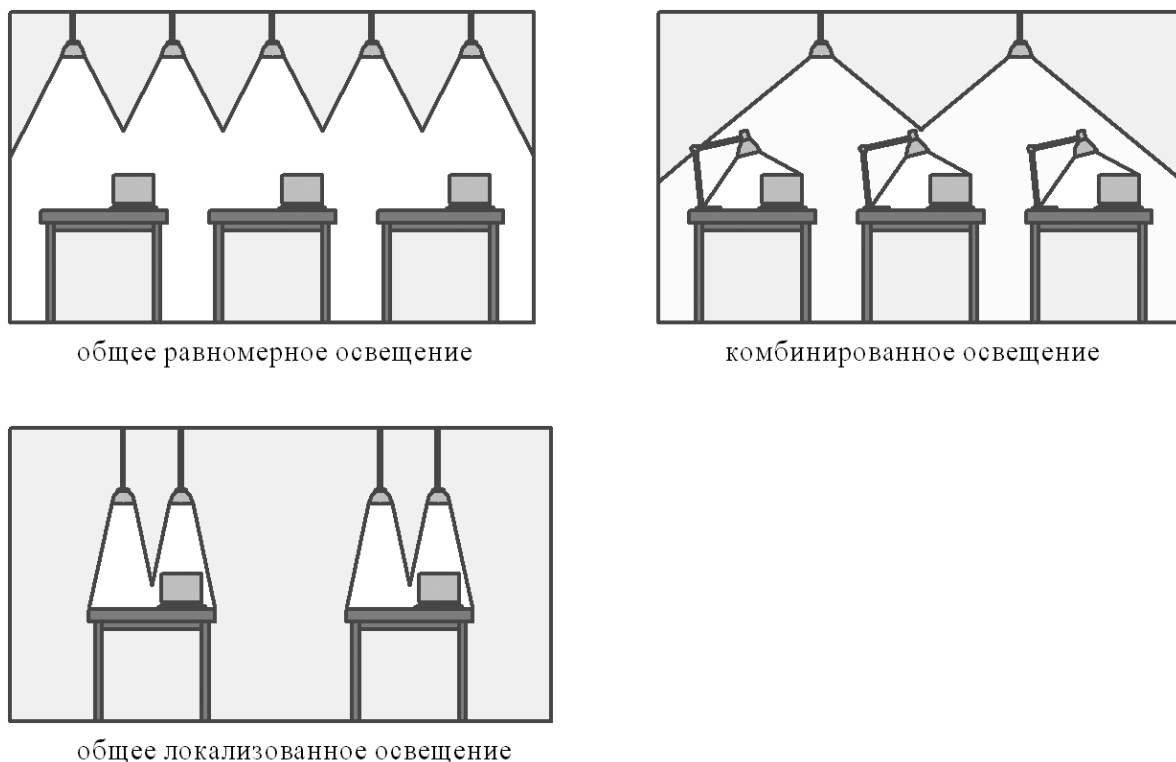


Рисунок 2.3 – Системы освещения

При общем равномерном освещении светильники одного типа размещаются равномерно; при локализованном – могут на разной высоте и неравномерно.

Общее равномерное освещение, как правило, применяется в прокатных, сборочных цехах машиностроительных заводов, в цехах текстильных и деревообрабатывающих предприятиях.

Общее локализованное характерно для цехов с выделенными складскими и сборочными участками, с отдельными группами станков и конвейеров.

Преимущество локализованного освещения в сравнении с общим:

- в сокращении мощности осветительных установок;
- можно создать требуемое направление и избежать теней на рабочей поверхности.

К недостаткам локализованного освещения следует отнести:

- неравномерность распределения яркости поверхностей, в поле зрения работающих;
- усложнение осветительных сетей в помещении.

Местное освещение предусматривается на отдельных рабочих местах, станках, верстаках и т.д. и выполняется светильниками, установленными непосредственно у рабочих мест (местное освещение может быть стационарным и переносным, например, для ремонта).

Комбинированное освещение - это применение совместного общего и местного освещения. Оно применяется в помещениях, где выполняются точные зрительные работы.

По функциональному назначению освещение можно разделить на рабочее и аварийное.

Рабочее освещение устраивается во всех без исключения помещениях и создает на рабочих поверхностях нормированную освещенность. В некоторых случаях помимо рабочего освещения необходимо аварийное освещение, которое обеспечивает при внезапном отключении рабочего освещения минимальную освещенность на рабочих местах для продолжения производственной работы (освещение безопасности) или эвакуации людей (эвакуационное освещение) (рисунки 2.4, 2.5).

Освещение безопасности необходимо на производствах, которые не могут быть остановлены из-за потери общего освещения. Это те производства, остановка которых может вызвать пожары, взрывы, отравление людей; длительное нарушение технологического процесса; нарушение работы таких объ-

ектов, как электрические станции, узлы радио- и телевизионных передач и связи, диспетчерские пункты, насосные установки водоснабжения, канализации и теплофикации, установки вентиляции и кондиционирования воздуха для производственных помещений, в которых недопустимо прекращение работ и т.п.; нарушение режима детских учреждений независимо от числа находящихся в них детей.

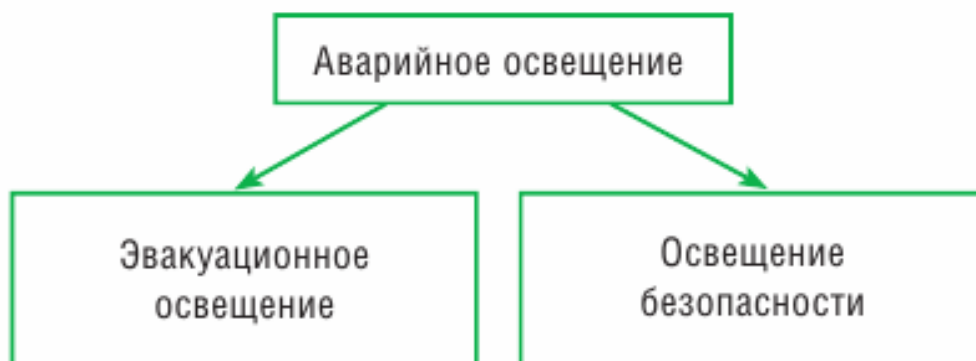


Рисунок 2.4 – Аварийное освещение согласно СНиП 23-05-95

Освещение безопасности должно создавать освещенность на рабочих местах, составляющую не менее 5 % освещенности, нормируемой для рабочего освещения при системе общего освещения, но не менее 2 лк внутри зданий и не менее 1 лк для территорий предприятий. При этом согласно п.7.63 СНиП 23–05– 95 создавать наименьшую освещенность внутри зданий более 30 лк при разрядных лампах и более 10 лк при лампах накаливания допускается только при наличии соответствующих обоснований.

При этом светильники аварийного освещения обязательно должны давать рассеянный свет. Ведь они, по сути, являются системой общего освещения в аварийный промежуток времени.

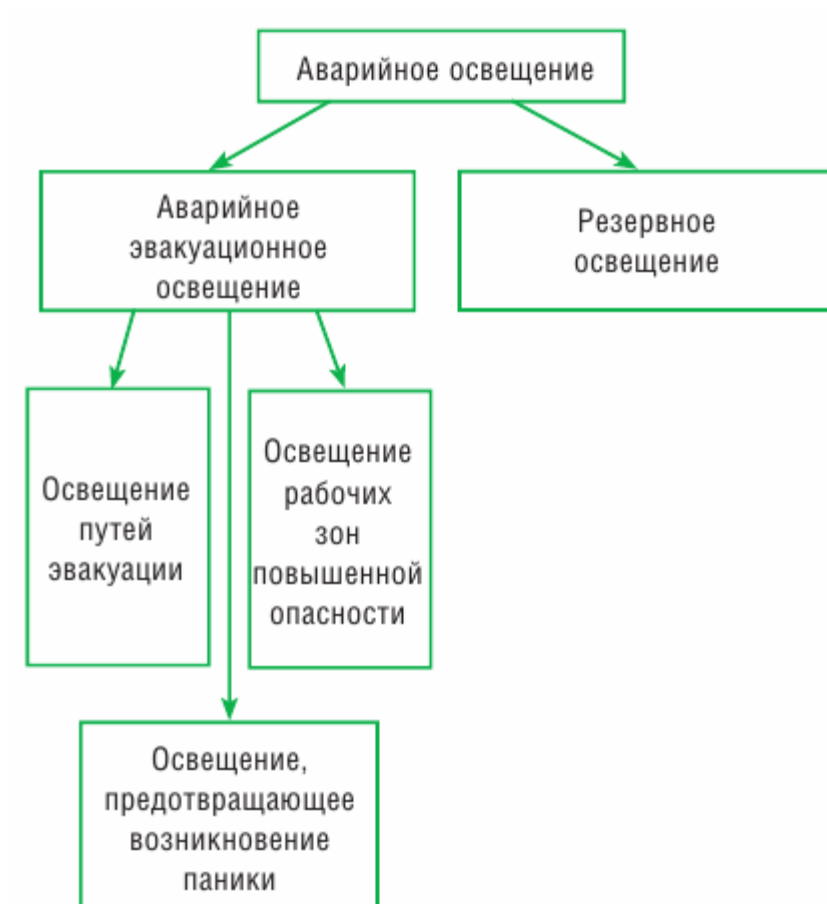


Рисунок 2.5 – Разновидности аварийного освещения согласно EN 1838

Бесперебойность работы эвакуационного и освещения безопасности обеспечивается за счет подключения данного вида освещения к независимым источникам питания, автономным генераторным установкам либо за счет подключения к автономным аккумуляторным батареям.

Примеры безопасного и эвакуационного освещения представлены на рисунках 2.6 и 2.7.

Эвакуационное освещение должно обеспечивать наименьшую освещенность на полу основных проходов (или на земле) и на ступенях лестниц: в помещениях — 0,5 лк, на открытых территориях — 0,2 лк.

Неравномерность эвакуационного освещения (отношение максимальной освещенности к минимальной) по оси эвакуационных проходов должна быть не более 40:1.

Светильники освещения безопасности в помещениях могут использоваться для эвакуационного освещения.

В общественных и вспомогательных зданиях предприятий выходы из помещений, где могут находиться одновременно более 100 чел., а также выходы из производственных помещений без естественного света, где могут находиться одновременно более 50 чел. или имеющих площадь более 150 м², должны быть отмечены указателями.

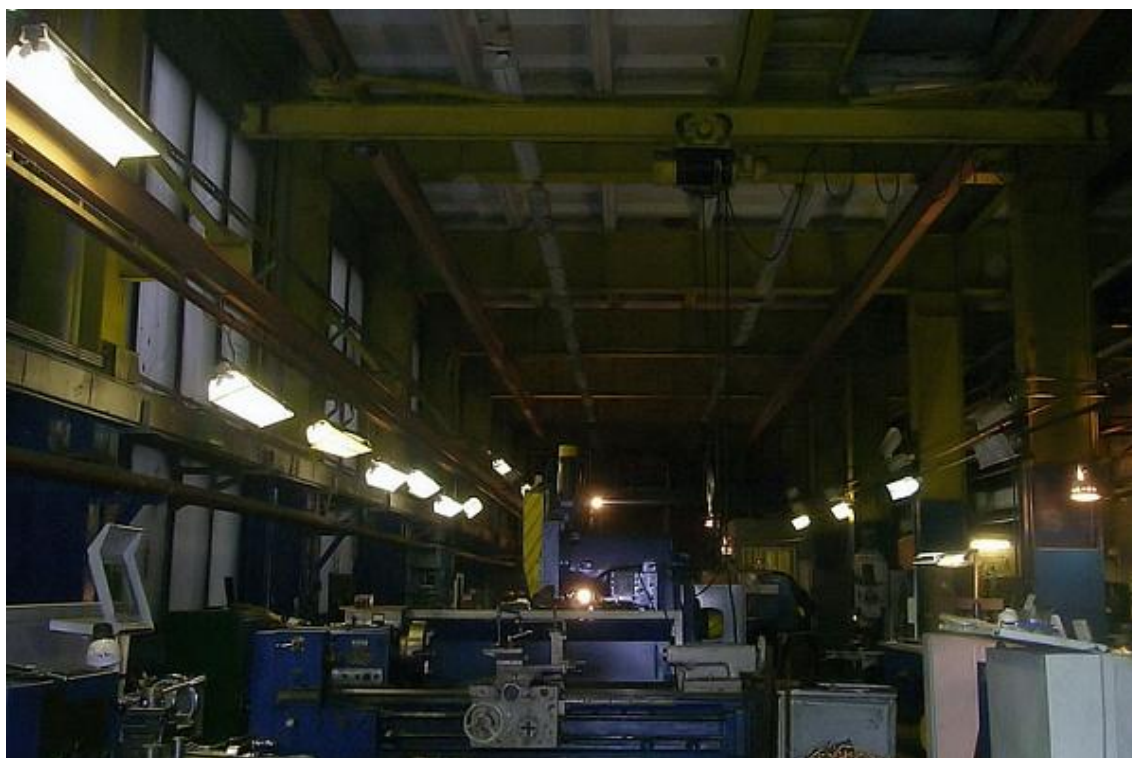


Рисунок 2.6 – Освещение безопасности

Указатели выходов могут быть световыми, со встроенными в них источниками света, присоединяемыми к сети аварийного освещения, и не световыми (без источников света) при условии, что обозначение выхода (надпись, знак и т.п.) освещается светильниками аварийного освещения.



Рисунок 2.7 – Эвакуационное освещение

При этом указатели должны устанавливаться на расстоянии не более 25 м друг от друга, а также в местах поворота коридора. Дополнительно должны быть отмечены указателями выходы из коридоров и рекреаций, примыкающих к помещениям, перечисленным выше.

Требования к освещенности в аварийном режиме представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Требования к освещенности в аварийном режиме

Вид аварийного освещения	Требования к освещенности в аварийном режиме	Прочие требования
1	2	3
Освещение путей эвакуации	Для путей эвакуации шириной до 2 метров: E_{\min} по оси прохода ≥ 1 люкс; E_{\min} по проходу $\geq 0,5$ люкс; Неравномерность освещенности $E_{\max}:E_{\min} \leq 40:1$ $(E_{\min}:E_{\max} \geq 1:40)$	Продолжительность работы освещения путей эвакуации и антипанического освещения должна быть не менее 1 часа

Продолжение таблицы 2.1

1	2	3
Антипаническое освещение	Для всей свободной площади пола, за исключением полосы 0,5 м по периметру: $E_{\min} \geq 0,5$ люкс; Неравномерность освещенности $E_{\max}:E_{\min} \leq 40:1$ ($E_{\min}:E_{\max} \geq 1:40$)	Через 5 секунд после перехода в аварийный режим должно обеспечиваться 50 % нормируемой освещенности, через 10 секунд – 100 % нормируемой освещенности
Эвакуационное освещение зон повышенной опасности	$E_{\min} \geq 10$ % нормируемой освещенности для общего рабочего освещения, но не менее 15 люкс; Неравномерность освещенности $E_{\max}:E_{\min} \leq 40:1$ ($E_{\min}:E_{\max} \geq 1:40$)	Минимальная продолжительность освещения должна определяться временем, при котором существует опасность для людей. Эвакуационное освещение зон повышенной опасности должно обеспечивать 100 %-ную нормируемую освещенность через 0,5 с с момента перехода в аварийный режим
Резервное освещение	$E_{\min} \geq 30$ % нормируемой освещенности для общего рабочего освещения	Резервное освещение должно обеспечивать 50 % нормируемой освещенности не более чем через 15 с после нарушения питания рабочего освещения и 100 % нормируемой освещенности – не более чем через 60 с, если иное не установлено специальными нормами или соответствующим обоснованием

2.2.2 Выбор освещенности и коэффициента запаса

Выбор минимальной освещенности для внутреннего и наружного освещения производят в зависимости от размера объекта различения, контраста объекта с фоном и отражающих свойств фона (рабочей поверхности).

При установлении норм освещенности следует руководствоваться следующей шкалой: 0,2; 0,3; 0,5; 1; 2; 3; 5; 10; 20; 30; 50; 75; 100; 150; 300; 400; 500; 600; 750; 1000 лк.

В строительных нормах приводятся величины освещенности для каждого помещения, расположение рабочих поверхностей, рекомендуемые источники света и коэффициент запаса, а также качественные показатели освещения.

В процессе эксплуатации осветительной установки освещенности на рабочих поверхностях уменьшаются вследствие того, что с течением времени световой поток ламп снижается. Это вызвано загрязнением ламп, осветительной арматуры и отражающих поверхностей стен и потолков. Для того, чтобы поддерживать освещенность на рабочих поверхностях на уровне нормируемой в течение всего периода эксплуатации, расчетное значение освещенности принимают больше нормируемой. Это учитывается коэффициентом запаса, который всегда больше единицы и характеризует кратность между расчетным и нормированным значениями освещенности, т.е.:

$$K_{зап} = \frac{E_{рас}}{E_{норм}} \quad (2.1)$$

2.3 Размещение светильников в плане помещения

2.3.1 Выбор светильников

Выбор светильников производится с учетом следующих требований:

- 1) светотехнических;
- 2) экономических, в том числе энергетических;
- 3) связанных с условиями среды;
- 4) эстетических (в определенных случаях).

Для уменьшения слепящего действия выбираются светильники с защитным углом или светорассеивающими стеклами. Например, если поверхности (потолков, стен) имеют хороший коэффициент отражения, то целесообразно применение светильников преимущественно прямого или рассеянного света.

Большое значение для надежной работы осветительной установки и ее экономичности имеет правильный выбор светильника. При выборе светильника в каждом освещаемом помещении проектировщик должен учитывать условия окружающей среды, в которой будет работать светильник, требуемое рас-

пределение светового потока в зависимости от назначения и характера отделки помещения и экономичность самого светильника.

Для общего освещения производственных помещений с нормальными условиями среды, в зависимости от отражающих свойств стен и потолков, применяют подвесные или потолочные светильники с ЛЛ типа ЛД (ОД).

Из светильников с ЛН, КЛЛ, индукционными и светодиодными лампами применяют светильники типа "Универсаль" (У) в помещениях с высотой от 4 м до 6 м и светильник типа "Глубокоизлучатель" (Гс, Гэ) в помещениях с высотой свыше 6 м.

В сырых, жарких, пыльных и пожароопасных производственных помещениях применяют светильники с ЛН, КЛЛ, индукционными и светодиодными лампами соответственно типа ППД, ПУН, ПГТ и т.п., а с ЛЛ типа ПВЛ-1, ПВЛЛ, ПВЛМ и т.п. В помещениях со взрывоопасной средой следует применять светильники типа ВЗГ.

2.3.2 Размещение светильников

Выбор расположения светильников общего освещения является одним из основных вопросов, решаемых при устройстве осветительных установок, влияющим на экономичность последних, качество освещения и удобство эксплуатации.

На рисунке 2.8 показано расположение светильников по высоте помещения, где приняты следующие обозначения: H - высота помещения; h_c - расстояние светильников от потолка помещения; h_p - высота рабочей поверхности.

Выбор расположения светильников в плане помещения показан на рисунке 2.9.

При общем равномерном освещении выгоднейшими вариантами расположения светильников с ЛН, КЛЛ, индукционными и светодиодными лампами, а также ДРЛ являются расположение их по углам квадрата, прямоугольника

или по углам равностороннего треугольника. Варианты размещения светильников показаны на рисунке 2.10.

H - высота помещения;
 h_c - расстояние светильника от перекрытия (или высота свеса)
 h_{Π} - высота светильника над полом
 $h_{\Pi} = H - h_c$;
 h_p - высота расчетной поверхности над полом (высота рабочей поверхности);
 $h = h_{\Pi} - h_p$ - расчетная высота.

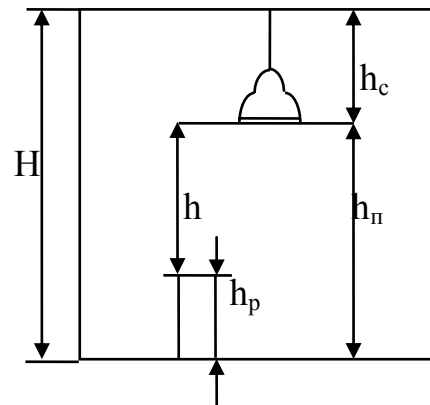


Рисунок 2.8 – Высота подвеса светильников

L - расстояние между соседними светильниками или рядами.

расстояния по длине и ширине обозначаются соответственно L_a и L_b .

l - расстояние от крайних рядов до стены.

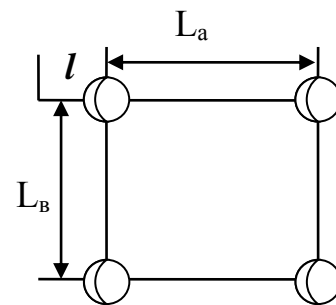


Рисунок 2.9 - Выбор расположения светильников в плане помещения

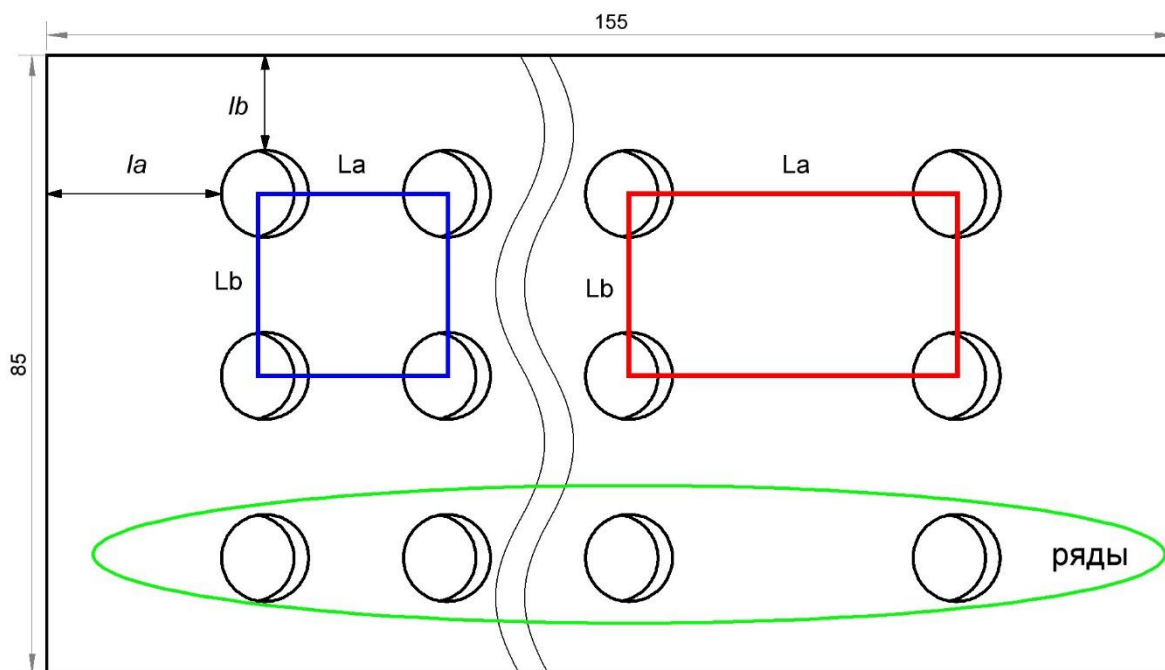


Рисунок 2.10 - Варианты размещения светильников

Если светильники располагаются по вершинам треугольника, то -

$$L_a = L_g \cdot 1,5, \text{ а если по углам равностороннего треугольника, то } - L_g = \sqrt{3L_a}.$$

В светотехнике пользуются понятием относительного расстояния между светильниками:

$$L / h = \lambda, \quad (2.2)$$

где L - расстояние между светильниками, м;

h - расчетная высота, м.

В таблице 2.2 приведены наиболее выгодные относительные расстояния между рядами светильников, обеспечивающие максимальную равномерность освещения.

Кроме того, в светотехнике используется выражение:

$$L = \sqrt{L_a L_g} \quad (2.3)$$

Зная тип светильника и значение λ можно определить расстояние L и, задаваясь способом расположения светильников, определить L_a и L_b .

ЛЛ необходимо размещать рядами параллельно длинной стороне помещения со световыми проемами либо без них (рисунок 2.11). Расстояние от крайнего ряда светильников до стен не должно превышать 0,3 (как исключение до 0,5) расстояния между рядами светильников (L), которое определяется как произведение $\lambda \cdot h$.

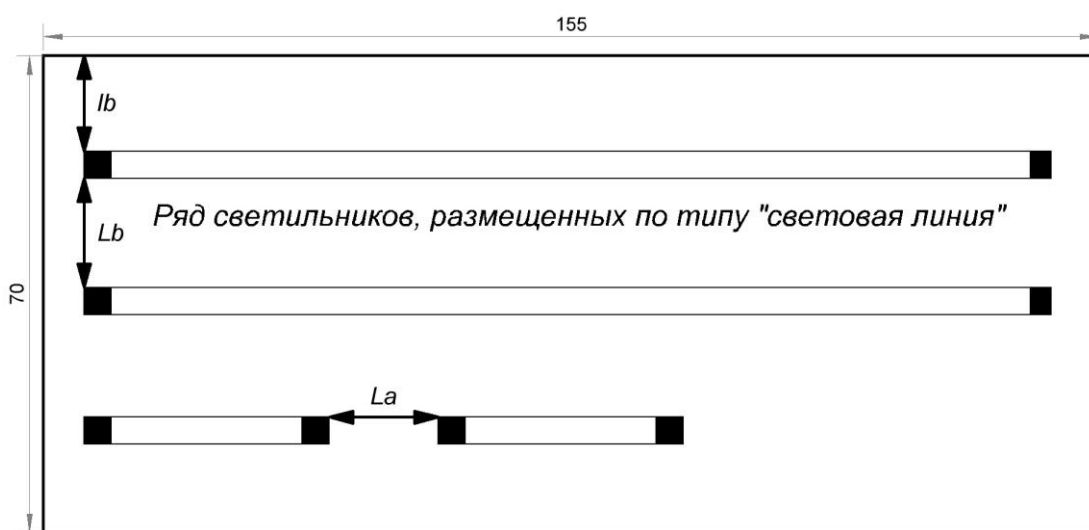


Рисунок 2.11 – Размещение люминесцентных ламп

Таблица 2.2 – Наиболее выгодные значения $\lambda=L/h$ для светильников

Светильник с ЛН, КЛЛ, индукционными или светодиодными лампами	λ	Светильник с ЛЛ	λ
Универсаль	1,9	ЛД,ЛДР,ЛДО,ЛДОР (ОД,ОДО,ОДОР) ПВЛ-6, ВЛО,ПЛУ,НОТЛ,ПЛ-1	1,4
Универсаль с затенителем	1,8		
Люцетта	1,6		
Шар молочного стекла	2,8		
Кольцевые подвесные светильники	1,7		
Плафон одноламповый	2,6		
Плафон ПГТ	2,1		
ПУ без отражателя	2,5		

При общем освещении рабочих помещений светильниками с ЛЛ для создания равномерного освещения следует размещать их непрерывными рядами, также светильники могут располагаться рядами с разрывами, при этом выбирается окончательно тот вариант, который имеет наименьшую длину разрыва.

Расстояние от потолка до светильника обычно принимается от 0,5 м до 0,7 м (в жилых и общественных зданиях пониженной высоты от 0,3 м до 0,4 м).

2.4 Расчет освещения методом коэффициента использования светового потока

После того, как произведен выбор типа ламп, их расположение в рассматриваемом помещении и количество, необходимо определить мощность отдельных ламп и всей осветительной установки в целом при помощи светотехнического расчета.

Для осветительных установок с ЛН, КЛЛ, индукционными и светодиодными лампами, а также ДРЛ число ламп считается известным из условия их рационального размещения и определяется мощность одной лампы.

Для осветительных установок с ЛЛ конечной целью расчета является определение числа светильников из общей установленной мощности, т.к. величина мощности ламп уже известна, она выбирается вместе с типом светильника.

Среднюю освещенность на расчетной поверхности можно определить по формуле:

$$E_{cp} = \frac{F_p}{S}, \quad (2.4)$$

где F_p - световой поток, падающий на расчетную поверхность, лм;

S – площадь освещаемой поверхности, м².

Следует иметь в виду, что не весь световой поток, излучаемый ИС, доходит до освещаемой поверхности, часть его поглощается (стенами, потолком, полом, элементами арматуры ИС), часть не пропускается материалами арматуры ИС, слоем пыли на последних и т. д.

Показателем, характеризующим какая часть светового потока, излучаемого некоторым количеством ламп N располагающим световым потоком лампы F , доходит до освещаемой расчетной поверхности, называется коэффициентом использования светового потока K_u . Коэффициент использования светового потока всегда меньше единицы. Световой поток, падающий на расчетную поверхность, равен:

$$F_p = N \cdot F \cdot \kappa_u \quad (2.5)$$

Отсюда можно определить коэффициент использования светового потока:

$$\kappa_u = \frac{F_p}{F \cdot N} \quad (2.6)$$

Если подставить формулу (2.5) в (2.4), то получим:

$$E_{cp} = \frac{N \cdot F \cdot \kappa_u}{S} \quad (2.7)$$

Отсюда можно определить необходимый световой поток лампы.

Однако, нормируемая освещенность на рабочей поверхности задается в справочниках не средней величиной освещенности, а минимально допустимой, которая определяется через переводной коэффициент Z :

$$E_{cp} = E_{\min} \cdot Z \quad (2.8)$$

Надо отметить, что минимальную освещенность обеспечит ИС, имеющий световой поток F_l , только в первое время после включения, т.к. с течением времени, за счет старения, запыления и загрязнения ИС, световой поток F_l будет уменьшаться относительно первоначального значения.

Чтобы обеспечить минимальную освещенность в конце срока службы ламп вводится коэффициент запаса K_3 , величина которого принимается в зависимости от типа светильника и окружающей среды.

Окончательно, расчетный световой поток лампы (типа ЛН, КЛЛ, индукционных или светодиодных ламп, а также ДРЛ) определяется по формуле:

$$F_l = \frac{E_{\min} Z S K_3}{N \cdot K_u} \quad (2.9)$$

где $Z=1,15$ - для ЛН, КЛЛ, индукционных или светодиодных ламп, а также ДРЛ;

$K_3=1,3 \div 1,7$ - для ЛН, КЛЛ, индукционных или светодиодных ламп, а также ДРЛ.

Коэффициент использования светового потока определяется по справочникам в зависимости от типа светильника; от коэффициентов отражения от стен, потолка и рабочей поверхности $\rho_c, \rho_n, \rho_{p.n.}$, от размеров помещения, которые характеризуются индексом помещения (i). Расчетное значение индекса помещения определяется:

$$i_p = \frac{A \cdot B}{h(A + B)} \quad (2.10)$$

где A - длина помещения, м;

B – ширина помещения, м.

По определенному значению (i_p) по (2.10) по справочникам принимается ближайшее стандартное значение индекса помещения.

По значению ($F_{л.р}$), в зависимости от напряжения сети, выбирают стандартную лампу с ближайшим значением светового потока. При выборе лампы по стандартам допускается отклонение номинального потока лампы от требуемого расчетом в пределах от -10 % до +20 %. При невозможности выбрать лампу, поток которой лежит в указанных пределах, изменяется число светильников.

При освещении помещения ЛЛ предварительно выбирают тип светильника и мощность лампы, а количество определяют из формулы (2.9).

Затем определяется число рядов в помещении, в зависимости от расстояния между рядами. Деля число ламп (N) на число рядов и на количество ламп в светильниках, получаем число светильников в ряду (N_I). Зная длину светильника и количество светильников в ряду, можно определить длину ряда и решить вопрос о сплошном размещении или с разрывами.

2.5 Приближенный метод расчета освещения по удельной мощности

Удельной мощностью ($P_{y\partial}$) называют отношение суммарной мощности всех ламп, установленных в данном помещении, к площади освещаемой поверхности (пола):

$$P_{y\partial} = \frac{NP_l}{S} \quad (2.11)$$

В проектной практике широко применяют метод удельной мощности, позволяющий без выполнения светотехнических расчетов непосредственно определять мощность всех ламп общего равномерного освещения, требуемую в данном помещении. Кроме того, метод удельной мощности применяют для приблизительной оценки правильности произведенного светотехнического расчета осветительной установки.

В основу расчета по удельной мощности положен метод коэффициента использования. Известно, что световая отдача лампы определяется по формуле:

$$\psi = \frac{F_l}{P_l} \quad (2.12)$$

Отсюда:

$$F_l = P_l \cdot \psi = \frac{E_{\min} Z S \kappa_3}{N \cdot \kappa_u} \quad (2.13)$$

Решив это уравнение относительно NP_l и разделив обе части уравнения на площадь (S) получим:

$$\frac{NP_l}{S} = \frac{E_{\min} Z S \kappa_3}{\psi \cdot \kappa_u} = P_{y\partial} \quad (2.14)$$

Из формулы (2.14) видно, что удельная мощность является функцией переменных величин, входящих в формулу расчета по методу коэффициента использования. На основании светотехнических расчетов, выполненных методом коэффициента использования, были составлены таблицы удельной мощности при равномерном размещении стандартных светильников общего освещения.

Порядок расчета по методу удельной мощности следующий:

1) Для освещаемого помещения выбирают тип светильника и расчетную высоту его подвеса; при светильниках с ЛН, КЛЛ, индукционными и светодиодными лампами намечают наивыгодное число светильников (N): в зависимости от величины нормируемой освещенности (E_{\min}), площади освещаемого помещения (S) и расчетной высоты (h) по соответствующей таблице находят удельную мощность ($P_{y\partial}$);

2) Определяют суммарную установленную мощность ламп ($P_{нo} = P_{y\partial} S$) и, наконец, определяют мощность одной лампы ($P_l = P_{н.o} / N$).

Для светильников с ЛЛ порядок расчета несколько изменяется, поскольку заранее известна мощность ламп в каждом светильнике. Поэтому после определения мощности осветительной установки ($P_{нo} = P_{y\partial} S$) определяют число светильников ($N_{св} = P_{нo} / nP$), где n - число ламп в светильнике.

2.6 Точечный метод светотехнического расчета

Этот метод дает возможность определить световой поток ламп, необходимый для создания освещенности при любом расположении светильников, но при условии, если отраженный свет не имеет существенной роли. При расчете освещения по данному методу светильники с ЛН, КЛЛ, индукционными и све-

диодными лампами рассматриваются как точечные светящиеся элементы, а ЛЛ и их ряды - как линейные светящиеся элементы. Пусть горизонтальная поверхность Q освещается светильником общего назначения с «точечным» источником света O . На рисунке 2.12 источник света может считаться точечным, если расстояние от него до освещаемой поверхности от 5 раз до 10 раз превышает его размер. Точка "А", лежащая на этой поверхности, находится на расстоянии l от источника света.

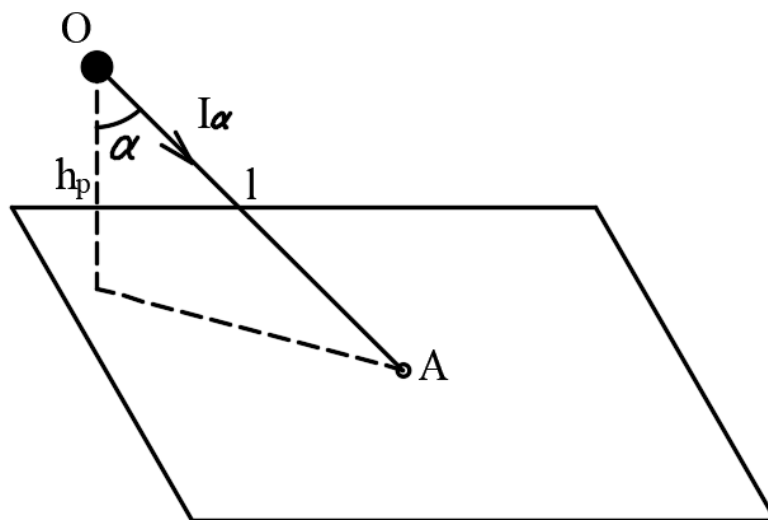


Рисунок 2.12 - Схема к расчету освещенности точки на горизонтальной плоскости

Для определения освещенности в точке "А" воспользуемся известным в светотехнике соотношением между освещенностью и силой света, т.е. освещенности данной точки поверхности, расположенной под углом α к падающему световому потоку, прямо пропорциональной силе света, направленного к ней, и косинуса угла между падающим лучом и нормалью к освещаемой поверхности и обратно пропорциональной квадрату расстояния освещенной точки от источника света.

$$E_{za} = \frac{I_{\alpha} \cos \alpha}{l \cdot \kappa_{зан}} \quad (2.15)$$

Из рисунка 2.12 выразим расстояние l через высоту подвеса светильника над расчетной поверхностью h_p :

$$l = h_p / \cos \alpha \quad (2.16)$$

Отсюда горизонтальная освещенность в точке "А" определится из выражения:

$$E_{za} = \frac{I_{\alpha} \cos^3 \alpha}{h_p^2 \kappa_{зан}} \quad (2.17)$$

Если рассматриваемая точка "А" на поверхности Q освещается несколькими светильниками общего освещения, то

$$E'_{za} = e_{1a} + e_{2a} + \dots + e_{na} = \sum_1^n e_{na} \quad (2.18)$$

где e_{1a} , e_{2a} и т. д. - освещенности, создаваемые в точке "А" отдельными светильниками.

Расчетная формула для определения фактической освещенности в точке А от нескольких однотипных светильников общего освещения с лампами одинаковой мощности примет вид:

$$E'_{za} = \frac{\Phi_l}{1000} = \sum_1^n e_{na} \quad (2.19)$$

Если задана освещенность E_z в данной точке освещаемой поверхности, то по выражению (2.19) можно определить величину светового потока лампы, а, следовательно, и необходимую мощность лампы:

$$F_{л} = \frac{E_z 1000 \kappa_{зан}}{\mu \sum_1^n e_{na}} \quad (2.20)$$

где μ - коэффициент, учитывающий дополнительную освещенность в заданной точке от удаленных светильников, не учтенных при определении $\sum e_z$.

Значение $\mu = 1 \div 1,2$ принимают в зависимости от коэффициентов отражения поверхностей помещения.

Сумма освещенности может также определяться по пространственным кривым равной освещенности (изолюксы). Эти кривые построены для различных типов стандартных светильников с условной лампой в 1000 лм в прямоугольной системе координат в зависимости от высоты подвеса светильника h_p и от расстояния проекции светильника на горизонтальную поверхность до заданной точки.

Расчет производится в следующем порядке:

а) по кривым для выбранного типа стандартного светильника в зависимости от высоты его подвеса h_p и расстояния α , определенного по плану, находят для каждого значения близлежащую кривую, на которой указана условная освещенность;

б) найденные по кривым условные освещенности от различных светильников для расчетной точки суммируются

$$\sum e_{zn} = e_{z1} + e_{z2} + \dots + e_{zn} \quad (2.21)$$

в) если установленные светильники однотипны с ЛН одинаковой мощности, величину светового потока одной лампы при заданной освещенности E_z определяют как

$$F_{л} = \frac{E_z 1000 \kappa_{зан}}{\mu \sum_1^n e_{na}} \quad (2.22)$$

Рассмотренный точечный метод применим к случаю расположения светильников светящимися линиями.

После определения светового потока ламп ($F_{л}$), обеспечивающего заданную (нормируемую) величину освещенности, по справочнику определяем какой мощности ($P_{л}$) будет соответствовать $F_{л}$.

При выборе необходимо помнить, что $F_{л}$ не должен отличаться от $F_{расч.}$ меньше, чем на 10 % и больше, чем на 20 %, т.е

$$(0,9F_{л,р} \leq F_{л} \leq 1,2F_{л,р}) \quad (2.23)$$

Определив и окончательно приняв мощность одной лампы, и зная их общее количество, определяется установленная (номинальная) мощность установки.

Расчетная мощность осветительной установки будет равна:

$$P_{р.о} = P_{н.о} K_c \quad (2.24)$$

где $P_{р.о}$ - расчетная активная мощность осветительной установки;

K_c - коэффициент спроса, принимаемый в соответствии с ПУЭ (от 0,6 до 1).

2.7 Нормирование уровня освещенности

Уровень освещенности нормируется. Нормы освещенности представлены в таблице 2.3. Согласно СП 52.13330.2011 "Естественное и искусственное освещение" нормируемые величины освещенности по Российским и, для сравнения, по международным нормам представлены в таблице 2.4. Нормы освещенности для некоторых помещений общественных и бытовых корпусов промышленных предприятий представлены в таблице 2.5.

Таблица 2.3 – Нормы освещенности

Характеристика зрительной работы	Наименьший размер объекта различения, мм	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Контраст объекта с фоном	Фон	Освещенность, лк	
						Комбиниров. освещение	Общее освещение
Наивысшая точность	Менее 0,15	1	а) б) в) г)	малый	темный	5000	1500
				малый,	средний	4000	1250
				средний	темный	2500	1000
				малый,	светлый,	1500	400
				средний,	средний,		
				большой	темный		
				средний,	светлый,		
				большой,	светлый,		
				большой	средний		
Грубая (очень малой точности)	Более 5	У1	----	Независимо от характеристики фона и контраста объекта с фоном		----	150
Общее наблюдение за ходом производственного процесса: постоянное периодическое при постоянном пребывании людей в помещении периодическое при периодическом пребывании людей в помещении	----	УШ	а)	Независимо от характеристики фона и контраста объекта с фоном		----	75
			б)	То же		----	50
			в)	То же		----	30

Таблица 2.4 – Нормируемые величины освещенности по Российским и международным нормам

Тип помещения	Освещенность (лк) по Российским нормам	Освещенность (лк) по международным нормам (МКО)
Офисы общего назначения с использованием компьютеров	200-300	500
Офисы большой площади со свободной планировкой	400	750
Офисы с чертежными работами	500	1000
Конференц-залы	200	300
Лестницы, эскалаторы	50-100	150
Коридоры, холлы	50-75	100
Архивы	75	200
Кладовые	50	100

Таблица 2.5 - Нормы освещенности для некоторых помещений общественных и бытовых корпусов промышленных предприятий

Наименование помещений	Наименьшая освещенность, лк		Плоскость, для которой нормируется освещенность и ее высота от пола, м
	ЛЛ	ЛН, светодиодные и индукционные лампы	
1	2	3	4
Канторы, кабинеты, комнаты для занятий	300	150	Г-0,8
Конструкторские, чертежные помещения для проектных работ	500	300	Г-0,8
Машиносчетные, машинописные бюро	400	200	Г-0,8
Читальный зал	300	150	Г-0,8
Книгохранилище	75	30	В-1,0

Продолжение таблицы 2.5

1	2	3	4
Конференц-зал	200	100	Г-0,0
Фойе, рекреации	150	75	Г-0,0
Помещение для записи и регистрации читателей, справочный отдел	300	150	Г-0,8
Помещения общественных организаций	200	100	Г-0,8
Комнаты преподавателей	200	100	Г-0,8
Вычислительный центр:			
помещения приема и выдачи информации	400	200	Г-0,8
помещения для программистов	300	150	Г-0,8
Школьные классы, кабинеты, лаборатории	300	200	В-1,8; Г-0,8
Спортзал	200	150	Г-0,0
Обеденные залы, буфеты	200	100	Г-0,8
Раздаточные	300	150	Г-0,8
Вспомогательные помещения:			
гардеробные (уличной одежды) в школе	150	75	Г-0,0
гардеробные в прочих общественных зданиях	75	30	Г-0,0
лестницы главные	100	50	Г-0,0
прочие лестницы в общественных зданиях	75	30	Г-0,0
коридоры и проходы	75	30	Г-0,0
прочие коридоры и проходы	50	20	
санузлы	75	30	Г-0,0
венткамеры, кубовые	50	20	Г-0,0
тепловой пункт	75	30	Г-0,0
кладовые инвентаря	75	30	Г-0,8

2.8 Эксплуатация осветительных установок

2.8.1 Осмотры осветительных установок

Периодичность осмотров осветительных электроустановок зависит от характера помещений, состояния окружающей среды и устанавливается главным энергетиком. Ориентировочно для запыленных помещений с агрессивной средой можно принять необходимую периодичность осмотров рабочего освещения один раз в два месяца, а в помещениях с нормальной средой — один раз в четыре месяца. Для установок аварийного освещения сроки осмотров сокращают в 2 раза.

При осмотрах осветительных электроустановок проверяют состояние электропроводки, щитков, осветительных приборов, автоматов, выключателей, штепсельных розеток и других элементов установки. Проверяют также надежность имеющихся в установке контактов: ослабленные контакты должны быть затянуты, а обгоревшие — зачищены или заменены новыми.

В производственных цехах промышленных предприятий существуют два способа смены ламп: индивидуальный и групповой. При индивидуальном способе лампы заменяют по мере их выхода из строя; при групповом способе их заменяют группами (после того, как они отслужили положенное количество часов). Второй способ более выгоден с точки зрения расхода рабочего времени, так как может быть совмещен с очисткой светильников, но связан с большим расходом источников света

При замене не следует использовать лампы большей мощности, чем это допускается для осветительного прибора. Завышенная мощность ламп приводит к недопустимому перегреву светильников и патронов и ухудшает состояние изоляции проводов.

Светильники и арматуру очищают от пыли и копоти в цехах с небольшим выделением загрязняющих веществ (механические и инструментальные цеха,

машинные залы, кожевенные заводы и т. п.) два раза в месяц; при большом выделении загрязняющих веществ (кузнечные и литейные цеха, прядильные фабрики, цементные заводы, мельницы и др.) - четыре раза в месяц. Очищают все элементы светильников — отражатели, рассеиватели, лампы и наружные поверхности арматур. Очистку окон для естественного освещения проводят по мере их загрязнения.

2.8.2 Проверки и испытания осветительных установок при эксплуатации

Электроосветительные установки при эксплуатации подвергают ряду проверок, испытаний. Проверяют сопротивление изоляции рабочего и аварийного освещения. Исправность системы аварийного освещения проверяют, отключая рабочее освещение, не реже одного раза в квартал. Автомат или блок аварийного переключения освещения проверяют один раз в неделю в дневное время. У стационарных трансформаторов на напряжение от 12 В до 36 В изоляцию испытывают 1 раз в год, а у переносных трансформаторов и ламп на напряжение от 12 В до 36 В — каждые три месяца.

2.8.3 Выполнение фотометрических измерений освещенности в помещениях

Фотометрические измерения освещенности в основных производственных и технологических цехах и помещениях с контролем соответствия мощности ламп проекту и расчетам проводят 1 раз в год. Освещенность проверяют с помощью люксметра во всех производственных цехах и на основных рабочих местах. Полученные значения освещенности должны соответствовать расчетным и проектным.

Перед тем как приступить к проверке освещенности, необходимо установить места, на которых целесообразно измерить освещенность. Результаты осмотров и проверок оформляют актами, утвержденными главным энергетиком.

2.8.4 Особенности эксплуатации люминесцентных ламп и газоразрядных ламп высокого давления

Газоразрядные конструкции требуют соблюдения условий эксплуатации: Монтаж осуществляется в закрытые светильники.

Установка устройств натриевого типа производится в местах с низкими требованиями по цветопередаче при обеспечении яркости освещения и экономичности источников. Источники желтого цвета используют для освещения улиц, дорог, зданий, при добавлении ксенона изделия устанавливаются в транспортных средствах.

Применение источников света ртутного типа эффективно для мест, требующих хорошей цветопередачи. Модели имеют широкие возможности благодаря компактным размерным параметрам. Устанавливают изделия ртутного типа для создания внутреннего или наружного освещения, декоративных подсветок зданий.

Использование металлогалогенных устройств оправдано в местах со значительными требованиями к светопередаче и цветопередаче. Состав наполнителя колбы дополняют примеси редкоземельных материалов, улучшающие технические свойства. Характеристики ламп обеспечивают освещение высокой эффективности с созданием ровного свечения натурального оттенка. Устанавливаются для освещения зданий, рекламных щитов, стадионов, помещений коммерческого назначения.

Другой особенностью люминесцентного освещения является то, что для нормального зажигания и работы люминесцентной лампы напряжение сети не должно быть менее 95 % от номинального. Поэтому при эксплуатации люминесцентных ламп необходимо контролировать напряжение сети. Нормальный режим работы люминесцентной лампы обеспечивается при температуре от 18 °С до 25 °С, при более низкой температуре люминесцентная лампа может не зажечься.

Во время эксплуатации осмотр люминесцентных ламп проводится чаще, чем ламп накаливания. Осмотр люминесцентных ламп рекомендуется проводить ежедневно, а очистку от пыли и проверку исправности — не реже одного раза в месяц.

При эксплуатации необходимо учитывать также, что после окончания нормального срока службы люминесцентной лампы (около 10 тыс. ч) она практически теряет свои качества и подлежит замене. Лампа, при работе которой наблюдаются мигание или свечение только на одном конце, подлежит замене.

Сокращение продолжительности горения ламп дает прямую экономию электроэнергии, к этому направлены мероприятия по максимальному использованию естественного освещения, правильному устройству управления освещением, применению автоматического и программного управления освещением.

2.8.5 Эксплуатация светильников

Правилами технической эксплуатации электроустановок (ПТЭ) предусмотрено, что очистка ламп и светильников производится в сроки, определяемые ответственным за электрохозяйство, в зависимости от местных условий. В Правилах устройства электроустановок (ПУЭ) и ведомственных инструкциях имеются указания о рекомендуемой периодичности чистки светильников. Потери светового потока резко возрастают от загрязнения светильников.

Для обеспечения экономичной эксплуатации применяемые светильники должны допускать легкий съем всех загрязняющихся частей — защитных стекол, отражателей, рассеивателей, патронов для их очистки в стационарных условиях мастерских.

Должны быть в деталях проработаны процессы замены съемных деталей светотехнической арматуры чистыми и очистки грязных деталей в мастерских с применением специальных моющих составов и средств механизации. В экс-

плуатации должен иметься обменный фонд объемом не менее от 5 % до 10% съемных деталей, находящихся в осветительных установках.

Следует устранять одну из главных причин неудовлетворительной эксплуатации светильников — трудность доступа к ним. Особенно это касается помещений высотой более 4 м, где остро стоят эти вопросы. Наиболее удобны для обслуживания осветительных установок стационарные устройства, в том числе: технические этажи (устраиваемые для различного рода коммуникаций, вентиляции, кондиционирования воздуха), площадки, специальные электро-технические мостики.

2.8.6 Поддержание номинальных уровней напряжения в осветительной сети

Колебания напряжения приводят к перерасходу электроэнергии. Напряжение на выводах ламп не должно быть выше 105 % и ниже 85 % от номинального напряжения. Снижение напряжения на 1 % вызывает уменьшение светового потока ламп: накаливания — на величину от 3 % до 4 %, люминесцентных ламп — на 1,5 % и ламп ДРЛ — на 2,2 %.

Одной из основных причин, вызывающих значительные колебания напряжения в осветительной сети промышленных предприятий являются пусковые токи крупных электродвигателей, установленных на агрегатах с тяжелыми маховыми массами, прессах, компрессорах, молотах и др. Значительно повышается напряжение в электросети промышленных предприятий в ночное время, когда остаются выключенными на ночь компенсирующие устройства. Колебание напряжения вызывается также изменением силовой нагрузки в течение суток.

Для устранения влияния колебаний напряжения на эффективность осветительной установки применяются отдельные трансформаторы для осветительной нагрузки и компенсирующие устройства, включаемые и отключаемые строго по суточному графику.

В последнее время для стабилизации напряжения в осветительных установках находит применение автоматическое регулирование напряжения. Для промышленных осветительных электросетей разработаны и широко применяются автоматическое регулирование напряжения с помощью вольтодобавочных трансформаторов и включение в сеть дополнительной индуктивности.

2.8.7 Правильность работы сети аварийного освещения и действия автомата аварийного переключения освещения

Необходимо тщательно проверить готовность к действию всех элементов сети. Все светильники аварийного освещения должны находиться в исправном состоянии, должны быть снабжены лампами требуемой мощности и иметь отличительные знаки.

Правильность действия автомата аварийного переключения освещения производится проверкой правильности переключения автомата при отключении рубильником питающей его линии переменного тока.

2.8.8 Проверка соответствия мощности ламп, установленных в светильниках, проекту

Мощность ламп должна соответствовать проекту для того, чтобы обеспечить нормы освещенности помещений и рабочих мест.

Применение ламп мощностью большей, чем конструкция конкретного светильника, также не допускается, так как это приводит к перегреву светильника, патрона и проводов и может привести к разрушению рассеивателя и нарушению изоляции проводов.

У дежурного электромонтера должны быть чертежи или списки объектов с указанием мощности ламп соответственно проекту или расчету, учитывающему требуемые нормы освещенности.

3 Автоматизация систем освещения

3.1 Диммеры

Диммеры – это устройства для изменения уровня потребляемой мощности. Наиболее широкое применение диммеры нашли в области регулирования потребляемой мощности осветительных приборов. Использование диммера позволяет снизить световой поток осветительного прибора и за счет этого уменьшить потребляемую им мощность. Диммеры могут применяться как для энергосбережения, так и в тех случаях, когда по каким-то причинам требуется изменять световой поток и освещенность.

Простейшая реализация диммера представлена на рисунке 3.1.

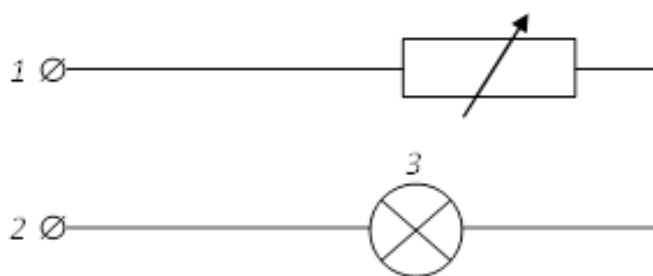


Рисунок 3.1 – Простейший диммер

Подобное устройство представляет собой переменный резистор, включенный в цепь питания источника света. При увеличении сопротивления на резисторе на нем теряется часть питающего напряжения, и напряжение на зажимах лампы опускается ниже номинального. Световой поток лампы и потребляемая ей мощность при этом снижаются. Самым большим недостатком подобных устройств является то, что они не осуществляют энергосбережения: несмотря на то, что мощность, потребляемая самой лампой, уменьшается, мощность, потребляемая из сети, остаётся прежней, так как разница выделяется в виде тепла на переменном резисторе. Отсюда вытекает еще один недостаток

диммеров подобного рода – высокое тепловыделение. Кроме того, подобные диммеры эффективно работают только с лампами накаливания, а использование их с другими типами ламп не только неэффективно, но еще и вредно – при долгой работе с пониженным напряжением, пускорегулирующая аппаратура светодиодных и компактных люминесцентных ламп быстрее выходит из строя. Единственным достоинством диммеров данного типа является их низкая цена. Однако в этом случае, как никогда применима поговорка «скупой платит дважды» - за диммер и за потери электрической энергии в нём.

Более совершенными являются диммеры на электронных компонентах (рисунок 3.2).

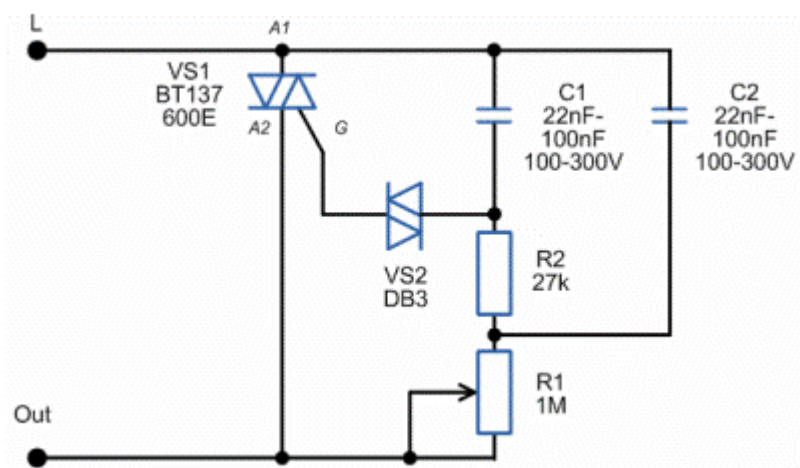


Рисунок 3.2 – Диммер на электронных компонентах

Симисторные сборки, используемые в диммерах этого типа «срезают» часть синусоиды питающего напряжения, тем самым уменьшая потребляемую мощность лампы (рисунок 3.3). В связи с тем, что собственное потребление электронной сборки очень мало, диммеры этого типа действительно снижают потребляемую из сети мощность и могут считаться энергосберегающими устройствами. К их достоинствам можно также отнести низкое тепловыделение и возможность очень плавного регулирования светового потока в диапазоне от 0 до 100 %.

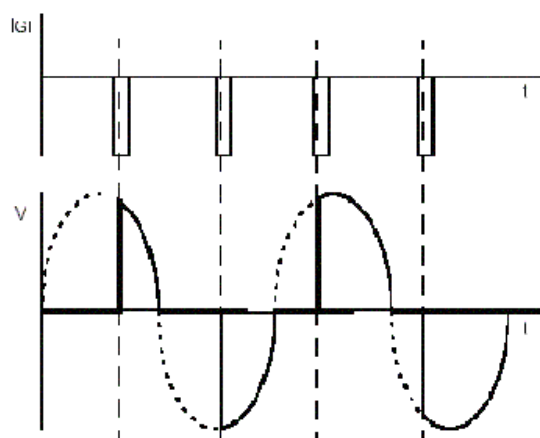


Рисунок 3.3 – Иллюстрация принципа работы диммера на электронных компонентах

Однако стоит отметить, что диммеры этого типа могут применяться только совместно с лампами накаливания. При их включении с компактными люминесцентными или светодиодными лампами из-за искажения формы питающего напряжения возможно возникновение высших гармоник, негативно влияющих на остальные приборы и явления резонанса напряжений, приводящего к резкому увеличению напряжения на выводах лампы и выходу ее из строя. В связи с этим, с диммером можно использовать только те компактные люминесцентные и светодиодные лампы, на упаковке которых заявлено, что они могут работать со светорегулирующими устройствами. При этом стоит отметить, что подобные лампы относительно редки и отличаются более высокой ценой.

Стоит также выделить некоторые неочевидные особенности использования диммеров с лампами накаливания, которые необходимо учитывать:

- плавное включение лампы накаливания («с нуля») позволяет увеличить ее срок службы. Это связано с тем, что уменьшается пусковой ток лампы и снижается износ ее внутренних контактов;

- при снижении светового потока изменяется и цветовая температура лампы. Чем меньше яркость лампы, тем более выражена красная составляющая ее спектра;

- с уменьшением напряжения резко падает КПД ламп накаливания. В связи с этим, вместо постоянного уменьшения светового потока мощной лампы целесообразнее использовать лампу меньшей мощности без светорегулирующего устройства;

- частые переключения в электронных схемах диммера вызывают радиопомехи и могут быть причинами постороннего шума при звукозаписи. Это следует учитывать в случае организации освещения в звукозаписывающих студиях и в том случае, если требуется обеспечение максимально благоприятной электромагнитной обстановки.

Стоит также отметить, что у любого диммера есть максимальная мощность, на которую он рассчитан. Использование диммера с лампами большей мощности приведет к его быстрому выходу из строя. Типовая схема включения диммера в электрическую цепь представлена на рисунке 3.4. Диммер должен включаться в разрыв фазного проводника. При этом, если у диммера отсутствует возможность полного отключения лампы, необходимо также предусмотреть наличие выключателя.

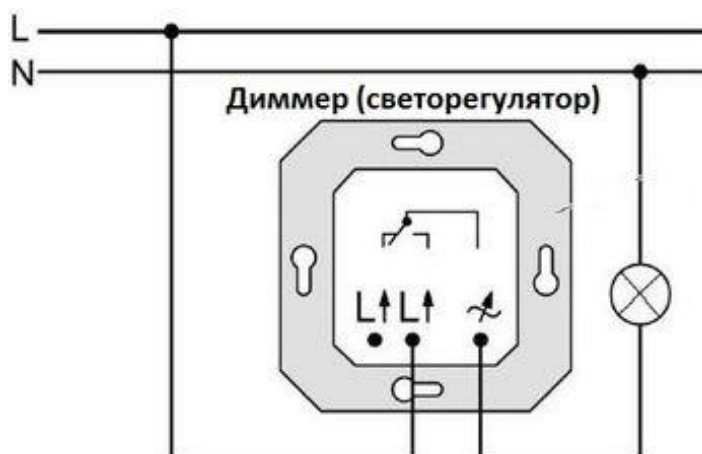


Рисунок 3.4 – Подключение диммера к сети

В настоящее время также производятся специальные диммеры для компактных люминесцентных ламп. Однако, данные диммеры могут быть несовместимы с определенными конструкциями пуско-регулирующих устройств и обладают достаточно высокой ценой. При этом, в связи с тем, что компактные люминесцентные лампы обладают меньшей мощностью, использование дорогого устройства для снижения потребляемой ими мощности зачастую нецелесообразно, так как не даёт большой экономии.

Для светодиодных источников света применяются устройства регулирования светового потока, работающие по принципу широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Применяемые при этом электронные схемы осуществляют быстрые включения и отключения светодиода на высокой частоте (рисунок 3.5). Из-за инерционности, человеческий глаз воспринимает частые отключения и включения светодиода не как его мерцание, а как уменьшения яркости свечения.

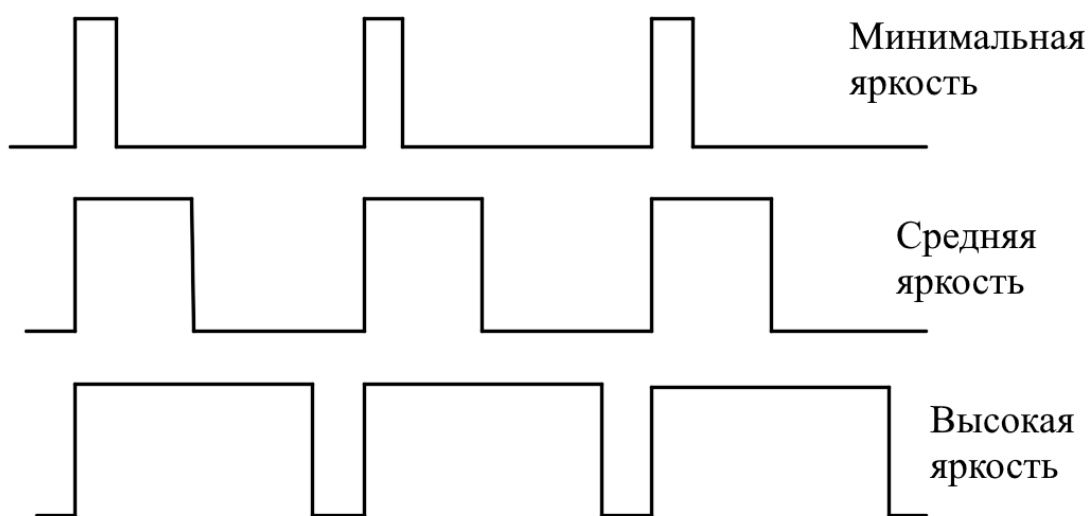


Рисунок 3.5 - Иллюстрация принципа действия широтно-импульсной модуляции

Использование ШИМ также снижает энергопотребление светодиода, но в связи с низкой мощностью светодиодных источников света, заметный эконо-

мический эффект диммирование даёт только для источников света относительно большой мощности. При использовании светорегуляторов, использующих ШИМ, необходимо обращать внимание на частоту модуляции. При частотах ШИМ ниже 1 кГц возможно появление мерцания, негативно влияющего на здоровье человека.

3.2 Датчики движения и присутствия

Датчик движения — это электронное устройство, которое включает или отключает электрическую цепь при наличии в его поле зрения движущихся объектов. Датчики движения могут использоваться для коммутации любых электроприборов, но наиболее широкое применение они находят в области управления освещением.

Самым простым и широко распространённым типом датчиков движения являются инфракрасные датчики движения. Устройство датчика такого типа представлено на рисунке 3.6.

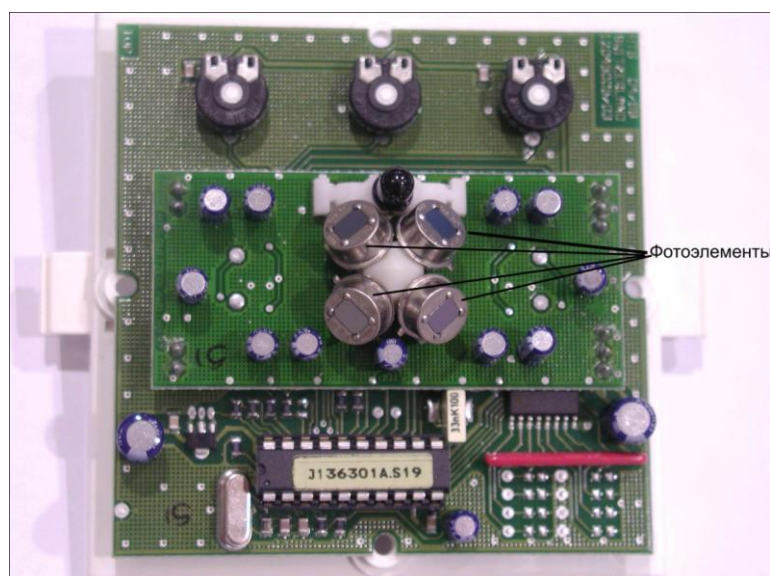


Рисунок 3.6 – Датчик движения

Основным элементом датчика являются чувствительные к инфракрасному излучению фотоэлементы. Фотоэлементы воспринимают в виде теплового пятна любой объект, температура которого выше температуры окружающей среды. Для реагирования на движения, угол обзора фотоэлемента разбивается на сектора с помощью линзы Френеля (рисунок 3.7).

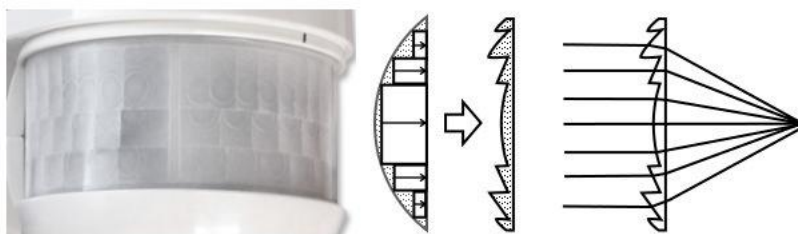


Рисунок 3.7 - Линза Френеля

Линза Френеля разбивает поле зрения датчика на отдельные сектора путем фокусировки инфракрасного излучения этого сектора на фотоэлементе. При возникновении теплового излучения в пределах одного из секторов ИК излучение фокусируется на фотоэлементе – датчик движения выдаёт сигнал о наличии движущегося объекта. При перемещении теплового объекта в зависимости от его местонахождения относительно датчика, сигнал о наличии теплового пятна то появляется, то пропадает. Исходя из этого, датчик делает вывод о наличии движения (рисунок 3.8).

Можно выделить следующие особенности инфракрасных датчиков движения:

- датчик реагирует на перемещение объектов, температура которых выше температуры окружающей среды. Поэтому он будет реагировать на перемещение животных или других теплых объектов, но может не реагировать на тепло одетого человека, наружная температура которого схожа с температурой воздуха. Ложное срабатывание может вызвать также поток теплового воздуха от радиатора отопления или кондиционера;

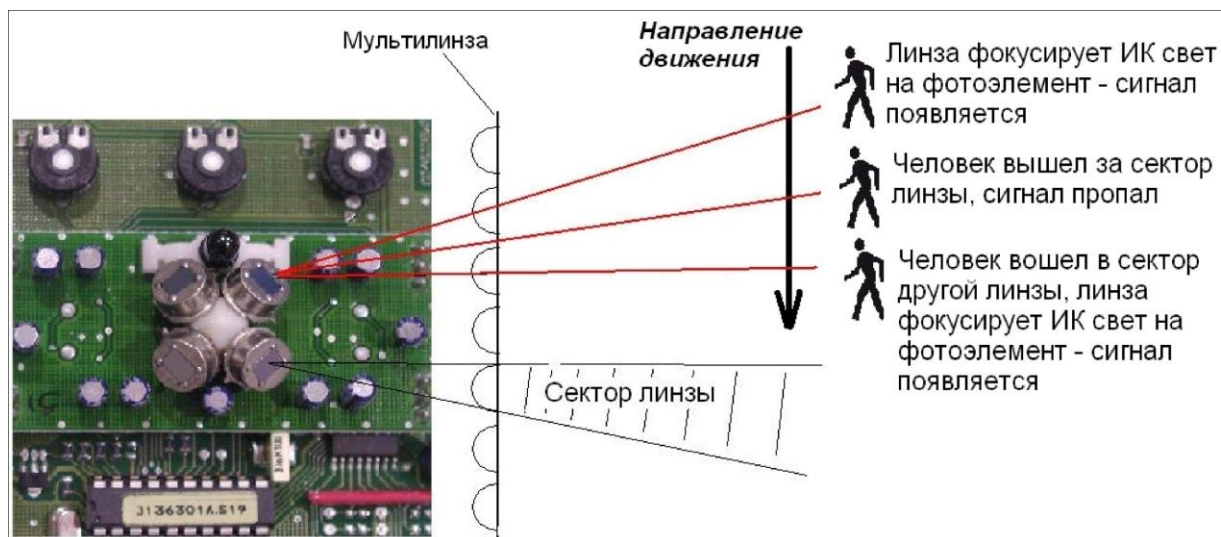


Рисунок 3.8 – Принцип действия датчиков движения

- в связи с тем, что датчик реагирует на тепло, он одинаково хорошо определяет движения как в темное, так и в светлое время суток. Однако воздействие погодных факторов, например, прямого солнечного света или осадков негативно влияет на точность работы датчика;

- датчик реагирует на перемещение объекта из одного сектора линзы в другой, но при этом перемещения в пределах одного сектора для него остаются незамеченными. Это особенно важно на больших расстояниях от датчика, так как сектор линзы, по мере увеличения расстояния до датчика становится всё более широким и для регистрации движения необходимо делать всё большие перемещения.

Исходя из этого, датчики движения, основанные на ИК принципе, следует использовать в помещениях, но при этом учитывать возможность попадания теплых потоков воздуха в поле зрения датчика.

Принцип действия ультразвуковых датчиков движения существенно отличается. В датчиках такого типа есть генераторы и приемники ультразвуковых волн (частота от 20 кГц до 60 кГц). Излучение генератора отражается от окружающих объектов и возвращается в приемник. Когда в зоне действия появляет-

ся движущийся объект, картина распределения отраженных волн меняется, что регистрируется приемником и датчик срабатывает. Ультразвуковые датчики движения обладают следующими особенностями:

- в связи с тем, что многие домашние животные могут слышать ультразвуковые волны, применение датчиков, основанных на этом принципе работы вызывает у них сильный дискомфорт;

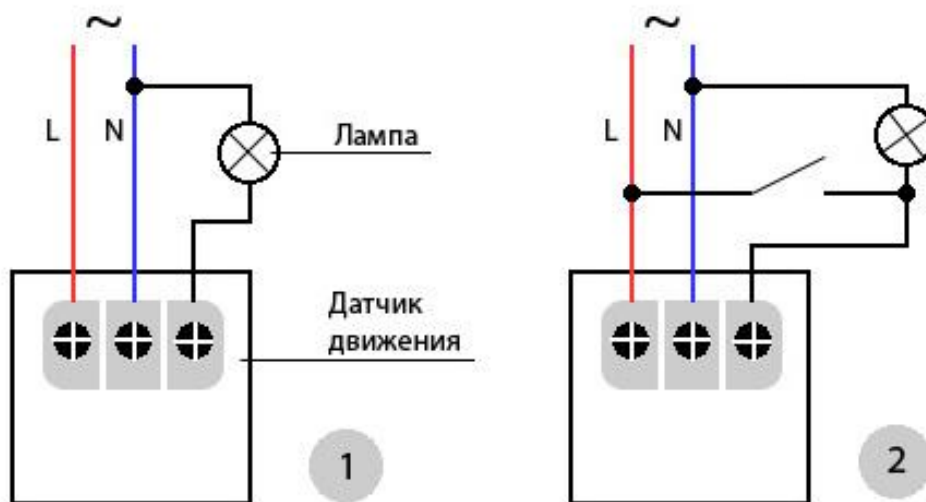
- работа датчика не зависит от состояния окружающей среды, температуры, влажности, а также материала движущегося объекта;

- из-за высокого рассеяния ультразвуковых волн, датчики этого типа имеют небольшую дальность действия. Кроме того, плавные движения с небольшой скоростью могут обмануть ультразвуковой датчик.

Микроволновые датчики движения имеют аналогичный ультразвуковым принцип работы, но их ключевое отличие заключается в том, что они излучают не ультразвук, а электромагнитное излучение высокой частоты (от 5 ГГц до 6 ГГц). За счет этого микроволновые датчики обладают намного более высокой чувствительностью и реагируют даже на самые незначительные перемещения объектов в зоне своего действия. К достоинствам датчиков этого типа также стоит отнести малые размеры и независимость от параметров окружающей среды. Стоит отметить и тот факт, что микроволновые датчики могут реагировать на движения за тонкими диэлектрическими препятствиями, что может быть как достоинством, так и недостатком.

Также существуют комбинированные датчики движения, объединяющие описанные принципы действия.

Способы подключения датчиков движения показаны на рисунке 3.9.



1 – включение освещения возможно только через датчик движения;

2 – возможно включение освещения независимо от наличия движущихся объектов

Рисунок 3.9 – Способы подключения датчиков движения

При включении в электрическую цепь в большинстве случаев стоит предусматривать возможность шунтирования датчика движения выключателем (второй случай на рисунке 3.9). Это особенно важно для датчиков движения с малой чувствительностью и в том случае, если в помещении находятся люди, не совершающие резких движений с большой амплитудой.

Многие датчики движения, помимо своей непосредственной функции могут также измерять значение освещенности и включать осветительные приборы только в том случае, если освещенность опустилась ниже определенного порога, тем самым экономя электроэнергию. Исходя из опыта эксплуатации датчиков движения, можно выделить следующие типовые ошибки при их использовании:

- расположение датчика движения в одном месте с осветительным прибором. Так как большинство датчиков имеет небольшую задержку срабатывания, при таком расположении освещение включится за спиной идущего чело-

века. В связи с этим, датчики движения необходимо располагать таким образом, чтобы идущий человек попадал в область видимости датчика движения заранее;

- использование датчиков движения совместно с люминесцентными лампами. Из-за частых включений и отключений лампы этого типа быстро выйдут из строя, и экономия от снижения часов использования освещения снижается или сходит на нет из-за частой замены ламп.

Развитием датчиков движения являются датчики присутствия, реагирующие на малейшие движения человека, например, качание головы, движение руки над клавиатурой и так далее. Применение датчиков этого типа оправдано для помещений, в которых люди долгое время работают в одной позе – так как обычный датчик движения в таких случаях может посчитать, что людей в помещении нет и отключить свет.

Различия между датчиками движения и датчиками присутствия представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 - Различия между датчиками движения и датчиками присутствия

Показатель	Датчик движения	Датчик присутствия
Реакция на движение	реагирует только на активные движения	улавливает даже небольшое движение
Измерение освещенности	<ul style="list-style-type: none"> • упрощенное; • прекращается при реагировании датчика и включении искусственного освещения 	<ul style="list-style-type: none"> • точное измерение от естественного и искусственного света; • продолжается при реагировании датчика и включении искусственного освещения
Включение освещения	<ul style="list-style-type: none"> • простое включение освещения активируется в зависимости от степени освещенности или движения; • пока присутствует движение, искусственный свет останется включенным 	<ul style="list-style-type: none"> • если дневного освещения достаточно (по заданному параметру), искусственное освещение не включится, несмотря на движение
Место размещения	в помещениях или на улице	идеально подходит для помещений, где люди работают сидя
Пример инсталляции	<p>вне зданий: дороги, подходы к зданию, лестницы, открытые парковки, подземные автостоянки;</p> <p>внутри зданий: комнаты/кабинеты или прихожие с малым количеством естественного света или без него, туалеты и помещения 1-го этажа</p>	<p>внутри зданий: индивидуальные кабинеты или офисы с открытой планировкой, школьные кабинеты, конференц-залы, гостиничные номера, туалеты, спортивные залы, лестницы/коридоры с естественным освещением</p>

3.3 Системы управления освещением

Системы управления освещением (СУО) позволяют обеспечить нужное количество освещения в нужном месте и в нужное время и являются очень эффективным способом энергосбережения в системах искусственного освещения.

Конкретные способы реализации СУО различных производителей могут отличаться, но, как правило, во всех подобных системах можно встретить следующие элементы:

- выключатели с возможностью дистанционного управления;

- диммеры с возможностью плавного регулирования светового потока и дистанционного управления;
- источники света с возможностью регулирования светового потока, а иногда и с возможностью изменения цветовой температуры и цвета;
- датчики движения и присутствия;
- датчики освещенности;
- датчики открытия дверей, окон и так далее.
- устройства мониторинга и измерения количества потребленной электроэнергии.

Как правило, все указанные устройства объединяются по проводному или беспроводному каналу, тем самым формируя единую, взаимосвязанную информационную систему. Как правило, системы управления освещением реализуют либо уже заложенные в них алгоритмы управления освещением, либо позволяют пользователю самому определить необходимые шаблоны включения/отключения освещения. Возможные шаблоны поведения СУО представлены в таблице 3.2.

За счет сочетания централизованного и адресного управления осветительными приборами СУО позволяют эффективно экономить электрическую энергию за счет отключения неиспользуемых осветительных приборов и их включения только в те периоды, когда в этом есть необходимость. Кроме того, важным аспектом является и повышение комфорта работников и жильцов при наличии систем управления освещением, так как система берет на себя все операции, связанные с обеспечением необходимого уровня освещения. Побочным эффектом от внедрения таких систем является увеличение срока службы осветительных приборов, за счет снижения времени их горения.

Таблица 3.2- Шаблоны поведения СУО

Критерии управления	Возможный шаблон	Пусковое устройство
Расписание	включить свет в 8 утра; приглушить свет в 10 вечера; выключить в полночь весь свет, кроме ночника	
Астрономический график	выключить свет через час после рассвета; включить свет за полчаса до за- ката	
Таймер	выключить свет через 3 минуты после включения	
Освещенность	включить свет, когда освещен- ность снизится ниже определен- ного порога	датчик света
Присутствие / отсут- ствие людей	включить свет, когда в комнату кто-то вошел; включить свет при наличии дви- жения; выключить свет, когда в комнате никого нет	датчик движения, датчик присут- ствия
Открывание / закрыва- ние двери	включить свет, когда открылась входная дверь	датчик открытия
Сигналы от внешних систем (пожарной, охранной и так далее)	включить весь верхний свет при пожаре; заставить лампы мигать при взломе	датчик дыма, пожарная сигнала- лизация, охранная сигнала- лизация

В наружном освещении могут также встречаться системы управления декоративной подсветкой зданий, а также автоматизированные системы управления уличным освещением.

Однако, стоит отметить, что основным недостатком большинства СУО является их высокая стоимость и необходимость проектирования СУО на этапе

строительства здания, что особенно актуально для систем, использующих проводные каналы передачи данных. Также во многих случаях возможно обеспечение автоматизации освещения более простыми средствами и только в тех местах, где это мероприятие будет наиболее эффективным. В связи с этим, необходимость такого мероприятия как внедрение автоматизированных систем управления освещением должна быть экономически обоснована.

4 Типовые мероприятия по энергосбережению в системах освещения. Расчет экономического эффекта от внедрения энергосберегающих мероприятий в системах освещения.

Уменьшения энергопотребления системами освещения можно добиться двумя способами – за счет снижения мощности осветительных приборов и за счет сокращения времени их работы. При этом стоит отметить, что согласно ФЗ-261, энергосбережение — это реализация организационных, правовых, технических, технологических, экономических и иных мер, направленных на уменьшение объема используемых энергетических ресурсов **при сохранении соответствующего полезного эффекта от их использования.** В связи с этим, при разработке энергосберегающих мероприятий необходимо помнить о необходимости сохранения уровня освещенности на прежнем или более высоком уровне, а автоматизация освещения не должна вызывать дискомфорт у тех, кто им пользуется.

Также многие мероприятия по энергосбережению могут носить организационный характер или исправлять ошибки проектирования освещения, тем самым, позволяя более эффективно использовать существующую систему освещения без существенных дополнительных затрат.

Исходя из вышесказанного, можно выделить следующие направления энергосбережения в системах освещения:

1 Автоматизация освещения в местах общего пользования:

- управление освещением с помощью датчика движения;
- управление освещением с помощью фотореле;
- управление освещением с помощью таймера;
- регулирование освещенности с помощью диммера.

2 Замена осветительных приборов на более энергоэффективные.

3 Исправление ошибок, допущенных при проектировании освещения:

- управление освещением с помощью разнесенных в пространстве переключателей;

- обеспечение оптимальной высоты подвеса светильника;

- окраска поверхностей помещения в светлые тона;

- применение светильников с оптимальной кривой силы света.

4 Организационные мероприятия:

- своевременная очистка осветительных приборов и световых проемов;

- организация инструктажей по энергосбережению;

- предупредительные плакаты.

Рассмотрим расчет экономического эффекта от внедрения энергосберегающих мероприятий по каждому из направлений.

4.1 Автоматизация освещения в местах общего пользования

Освещение в туалетных комнатах, гардеробе и подсобных помещениях, как правило, управляется обычными механическими выключателями. Человеческий фактор (забывчивость персонала) может приводить к тому, что освещение в этих помещениях остаётся включенным в течение длительного времени, хотя необходимость в нём отсутствует. В данном случае, использование датчиков движения позволило бы сократить время работы источников света и достичь энергосберегающего эффекта.

Еще одним возможным сценарием является использование фотореле для систем наружного освещения – при снижении уровня естественной освещенности фотореле будет автоматически включать освещение и отключать его, когда освещенность будет выше заданного порога, тем самым, исключая вероятность того, что освещение будет работать в тот период, когда в нем нет необходимости. Общим для указанных мероприятий будет то, что экономия достигается за счёт сокращения числа часов работы осветительных приборов.

Экономия в натуральном выражении можно определить по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{нат}} = P_{\text{свет}} \cdot (T_1 - T_2) \quad (4.1)$$

где $P_{\text{свет}}$ – мощность светильников, для которых осуществляется мероприятие, кВт;

T_1 – годовое время работы светильников до внедрения мероприятия, часов.

T_2 – годовое время работы светильников после внедрения мероприятия, часов.

Основной сложностью является оценка времени сокращения работы светильников, так как она носит случайный характер. В среднем, при 8-часовом

рабочем дне, сокращение времени работы осветительных приборов составляет приблизительно от 3 часов до 4 часов, что при 250 рабочих днях в году дает сокращение работы осветительных приборов от 750 часов до 1000 часов.

Экономия в денежном выражении может быть найдена по формуле:

$$\mathcal{E}_{ден} = \mathcal{E}_{нат} \cdot T_{э/э}, \quad (4.2)$$

где $T_{э/э}$ - тариф на электрическую энергию, руб/кВт·ч

Затраты на реализацию мероприятия можно приблизительно оценить по формуле:

$$З = 1,3 \cdot n \cdot P, \quad (4.3)$$

где 1,3 - коэффициент учитывающий затраты на монтаж;

n - количество датчиков, шт;

P - цена одного датчика, руб.

Срок окупаемости мероприятия находится по формуле:

$$T_{ок} = \frac{З}{\mathcal{E}_{ден}}, \quad (4.4)$$

Экономически целесообразным внедрение устройств автоматического управления освещения является при сроке окупаемости, не превышающем от 2 лет до 3 лет.

4.2 Замена осветительных приборов на более энергоэффективные

Использование ламп накаливания для освещения помещений приводит к значительному перерасходу электрической энергии, поскольку люминесцентные или светодиодные лампы, генерирующие аналогичный по мощности световой поток, потребляют от величины в 4 раза до 9 раз меньше электроэнергии.

Срок службы люминесцентных ламп от 2 раз до 3 раз больше, чем у ламп накаливания. Поскольку устанавливаются компактные люминесцентные лампы в те же цоколи, что и лампы накаливания, переоборудование системы освещения не является трудоемкой задачей. Как правило, замена источников света на более энергоэффективные осуществляется по мере выхода их из строя.

При реализации этого мероприятия необходимо, в первую очередь, сравнивать между собой световой поток уже установленных осветительных приборов и тех, на которые предполагается их заменить. Очевидно, что замена на осветительные приборы с меньшим световым потоком приведет к уменьшению освещенности и не будет являться полноценным энергосберегающим мероприятием.

Расчетное потребление электроэнергии на освещение помещений с временным пребыванием людей составляет, кВт·ч:

$$W_1 = N \cdot P_1 \cdot \tau \cdot z \cdot 10^{-3}, \quad (4.5)$$

где N – количество ламп накаливания в местах с временным пребыванием людей, шт;

P_1 – мощность осветительных приборов до замены, кВт;

τ – время работы системы освещения, ч;

z – число рабочих дней в году.

Расход электроэнергии на освещение мест с временным пребыванием людей после замены ламп составит, кВт·ч:

$$W_2 = N \cdot P_2 \cdot \tau_a \cdot z \cdot 10^{-3}, \quad (4.6)$$

где P_2 – мощность осветительных приборов после замены, кВт;

τ_a – время работы системы освещения после установки датчиков движения и присутствия, ч. В том случае, если установка датчиков движения и присутствия не осуществляется или экономия от их внедрения рассчитывается отдельно, то время работы системы освещения остается прежним.

Экономия электроэнергии при внедрении мероприятий будет равна, кВт·ч:

$$\Delta W = W_1 - W_2. \quad (4.7)$$

Годовая экономия в денежном выражении составит, тыс. руб.:

$$\Delta \mathcal{E} = \Delta W \cdot T_{\text{ЭЭ}} \cdot 10^{-3}, \quad (4.8)$$

где $T_{\text{ЭЭ}}$ – тариф на электрическую энергию, руб./кВт·ч.

Стоит отметить, что наибольший экономический эффект даёт использование светодиодных ламп, так как они являются наиболее энергоэффективными – во многих случаях экономически целесообразной является замена не только ламп накаливания, но и люминесцентных ламп на светодиодные с аналогичным световым потоком.

Пример расчёта

Необходимые данные:

В школе временное пребывание людей характерно для восьми помещений. Всего в указанных помещениях установлено 20 ламп накаливания, единичной мощностью 70 Вт.

Система освещения в помещениях работает в течение всего рабочего дня, который составляет 9 часов.

Тариф на электрическую энергию $T = 5,39$ руб./кВт·ч.

Число рабочих дней учреждения в году – 247 дней.

Расчет:

1 Расход электроэнергии на освещение помещений с временным пребыванием людей до замены ламп и установки датчиков движения:

$$W_{лн} = N \cdot P_{лн} \cdot \tau \cdot z \cdot 10^{-3} = 20 \cdot 70 \cdot 9 \cdot 247 \cdot 10^{-3} = 3112,2 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

При внедрении системы автоматического управления освещением в помещениях с временным пребыванием людей время использования светильников, согласно опытным данным, уменьшится до 2,5 часа.

2 Замена ламп накаливания на компактные люминесцентные лампы позволит получить расход электроэнергии, кВт·ч:

$$W_{клл} = N \cdot P_{клл} \cdot \tau_a \cdot z \cdot 10^{-3} = 20 \cdot 16 \cdot 2,5 \cdot 247 \cdot 10^{-3} = 197,6 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

3 Экономия электроэнергии при внедрении мероприятий будет равна:

$$\Delta W = W_{лн} - W_{клл} = 3112,2 - 197,6 = 2914,6 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

4 Годовая экономия в денежном выражении составит:

$$\Delta \mathcal{E} = \Delta W \cdot T_{\text{э}} \cdot 10^{-3} = 2914,6 \cdot 5,39 \cdot 10^{-3} = 15,71 \text{ тыс. руб.}$$

4.3 Организационные мероприятия

4.3.1. Очистка оконных проемов и светильников

Запыленность оконных проемов снижает их проницаемость для естественного света на величину до 30 %. При этом снижается освещенность в помещении, что вызывает повышенный расход электрической энергии на нужды освещения. Запыленность светильников снижает их световой поток на величину от 10 % до 30 %, снижая уровень освещенности в помещении. В связи с этим, своевременная очистка оконных стекол и светильников позволяет не только сэкономить электрическую энергию, но и повысить уровень комфорта людей, находящихся в помещении. В рамках данного мероприятия предлагается производить очистку оконных проемов и светильников не реже двух раз в год, силами соответствующего хозяйственного персонала. Экономия электрической энергии от данного мероприятия укрупнено оценивается в 1 % от потребления электрической энергии на нужды освещения.

4.3.2 Организационные и информационные мероприятия по энергосбережению

К данным мероприятиям относятся проведение разъяснительной работы среди персонала по вопросам экономии энергетических ресурсов, а также размещение информационных и предупреждающих плакатов о необходимости экономии энергетических ресурсов. Возможная экономия от внедрения данных мероприятий укрупнено оценивается в 1 % от суммарного потребления электроэнергии.

Список использованных источников

- 1 Айзенберг, Ю.Б. Световые приборы / Ю.Б. Айзенберг. - М.: Энергия, 1980. – 463 с.
- 2 ГОСТ Р 55706-2013. Освещение наружное утилитарное. Классификация и нормы. – Введ. 2014-07-01. – Москва: Изд-во стандартов, 2013. – 12 с.
- 3 Казаринов, Л. С. Автоматизированные системы управления энергоэффективным освещением: монография / Л.С. Казаринов [и др.]; под ред. Л.С. Казаринова. - Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, издатель Т. Лурье, 2011. - 208 с.: ил.
- 4 Кнорринг, Г.М. Справочная книга для проектирования электрического освещения / Г.М. Кнорринг, И.М. Фадин, В.Н. Сидоров. - 2-е изд., перераб. и доп. — Санкт-Петербург: Энергоатомиздат, 1992. — 448 с.
- 5 Морозов, А.П. Электротехника и энергетические системы обеспечения жизнедеятельности человека. Энергосбережение при освещении: монография / А.П. Морозов, А.С. Карандаев, Т.П. Ларина. – Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2004. – 186 с.
- 6 Правила устройства электроустановок (ПУЭ). – 7-е изд. – СПб.: УВ-СИЗ, 2005.
- 7 Свод правил СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95. – Введ. 2017-05-08. – М.: Стандартинформ, 2017. – 36 с.